

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

**BIOELECTROREMEDIACIÓN DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE LA
INDUSTRIA HIDROCARBURÍFERA MEDIANTE CELDA DE
ELECTRÓLISIS MICROBIANA (MEC) DE UNA MUESTRA DEL CAMPO
PUNGARAYACU**

**IDENTIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES ELECTROQUÍMICAS DE LA
MUESTRA DE CRUDO DEL CAMPO PUNGARAYACU Y EVALUACIÓN
DE LAS PROPIEDADES ELECTROQUÍMICAS DE LA CELDA DE
ELECTRÓLISIS MICROBIANA (MEC)**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN PETRÓLEOS**

KAROLA IVONNE QUINALUIZA GARCÍA

karola.quinaluiza@epn.edu.ec

DIRECTOR: MSc. PABLO BENALCAZAR

pablo.benalcazar@epn.edu.ec

DMQ, octubre 2023

CERTIFICACIONES

Yo, KAROLA IVONNE QUINALUIZA GARCÍA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

KAROLA IVONNE QUINALUIZA GARCÍA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por KAROLA IVONNE QUINALUIZA GARCÍA, bajo mi supervisión.

MSc. PABLO DANIEL BENALCAZAR FLORES
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como los productos resultantes del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

KAROLA IVONNE QUINALUIZA GARCÍA

DEDICATORIA

*A Dios por guiarme en el camino, darme la sabiduría
y capacidades necesarias para permitirme culminar mi proyecto*

*Dedicado a mis padres Sandra y David, este logro es por y para ustedes,
por su amor y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.*

*A mi papá Juan, este proyecto es para usted
por su amor y apoyo incondicional.*

*A mi ñaño Wilson, por su amor y apoyo incondicional
a lo largo de toda mi vida.*

A “Mi Sol” Cristian, por estar en la finalización de este proceso.

*Al PhD Johnny Zambrano, por su guía y consejos
durante todo mi proceso de graduación.*

AGRADECIMIENTO

*A Dios por darme la fuerza y capacidad
de culminar esta importante meta en mi vida.*

*A mis padres Sandra y David gracias por todo su apoyo incondicional,
sus ánimos, su comprensión, su amor incondicional y nunca dejarme caer,
a lo largo de toda mi vida y cada una de mis etapas;
sin ustedes esto no habría sido posible.*

*A mi papá Juan gracias por su apoyo incondicional desde que era pequeña,
por todos sus consejos e historias de la vida;
que me motivaban a siempre seguir superándome.*

*A mi ñaño Wilson gracias por tu amor y apoyo incondicional,
desde que me viste crecer, por siempre estar aconsejándome en cada etapa de mi vida
y querer lo mejor para mí.*

*A “Mi Sol” Cristian, amor de mi vida, gracias, por tanto,
por tu infinita paciencia, por tu infinita comprensión, por tu infinita ayuda,
por llenarme de amor y siempre estar motivándome a dar lo mejor de mí,
sin ti esto no habría sido posible “Mi Todo”, TE AMO...*

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
SIMBOLOGÍA.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT	XII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Alcance	1
2 MARCO TEÓRICO	2
2.1 Generalidades	2
2.1.1 Efectos de la Contaminación por Hidrocarburos en el Ser Humano	2
2.1.2 Daños a la Fauna y Flora.....	3
2.2 Emulsiones	3
2.2.1 Tipos de Emulsiones.....	3
2.2.2 Formulación de Emulsiones: Método HLB	6
2.2.3 Otros Métodos de Equilibrio Hidrófilo – Lipófilo.....	7
2.2.4 Selección de Surfactante: Tween 80	7
2.3 Bioelectroremediación Ambiental.....	8
2.4 Voltametría.....	10
2.4.1 Principio de Funcionamiento.....	11
2.4.2 Voltamperograma Cíclico.....	11
2.4.3 Curva I/E.....	12
2.4.4 Elementos de un Ensayo de Voltametría	13
2.4.5 Tipos de Voltametría	15
2.5 Celda de Electrólisis Microbiana (MEC)	17
2.5.1 Microorganismos Electrogénicos en la MEC.....	18

2.5.2	Aplicaciones de la MEC	18
3	METODOLOGÍA	19
3.1	Preparación de la Mezcla Crudo-Aceite	20
3.2	Preparación de la Emulsión Crudo-Aceite-Emulsificante	21
3.3	Preparación de las Emulsiones.....	23
3.4	Preparación de los ElectrodoS	24
3.4.1	Configuración 1	25
3.4.2	Configuración 2	25
3.5	Preparación del Equipo de Voltametría	26
3.5.1	Potenciostato.....	26
3.5.2	Celda Voltamétrica 50 ml.....	26
3.6	Preparación de los Caldos Bacteriológicos	27
3.7	Sistema Bioelectro-Químico.....	29
3.7.1	Celda Electrólisis Microbiana (MEC)	29
3.7.2	Preparación de los ElectrodoS para la MEC.....	30
3.8	Diseño Experimental	31
3.8.1	Celda de Electrólisis Microbiana (MEC)	31
3.8.2	Prueba de Voltametría Cíclica	32
4	RESULTADOS.....	33
4.1	Punto de Ebullición Mezcla Crudo-Aceite.....	33
4.2	Pruebas de Viscosidad Mezcla Crudo-Aceite.....	34
4.3	Cálculo de los gramos de Tween 80 para formar la emulsión crudo/aceite	36
4.4	Pruebas de Voltametría Cíclica.....	37
4.4.1	Análisis Cualitativo:	38
4.5	Evaluación de la Celda de Electrólisis Microbiana	42
5	CONCLUSIONES	51
6	RECOMENDACIONES.....	53
7	BIBLIOGRAFÍA	54
8	ANEXOS	57
8.1	ANEXO I Equipo y materiales para la preparación de Emulsiones	57
8.2	ANEXO II Materiales de la celda de Electrolisis Microbiana (MEC)	60
8.3	ANEXO III Equipo de Voltametría Cíclica	62
8.4	ANEXO IV Resultados de las pruebas de Voltametría Cíclica.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades Físico-Químicas del Campo Pungarayacu	2
Tabla 2.2 Concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTO) en Comunidades Rodeadas por Pozos y Estaciones de Petróleo	3
Tabla 2.3 Nivel de Oscilación Diferentes Sistemas	6
Tabla 2.4 Tipos de Factores que Influyen en la Efectividad del Proceso de Bioremediación	9
Tabla 2.5 Tipos de Factores que Afectan al Proceso de Bioremediación	10
Tabla 3.1 Equipos.....	19
Tabla 3.2 Material de Laboratorio	19
Tabla 3.3 Reactivos Químicos.....	20
Tabla 3.4 Concentraciones Crudo/Aceite Vegetal	20
Tabla 3.5 Concentración Mezcla/Tween 80.....	21
Tabla 3.6 Concentraciones Mezcla/AGE	22
Tabla 3.7 Concentraciones Agua, Minerales, Crudos, Aceite, Tween 80 para Elaboración de Emulsiones.....	23
Tabla 3.8 Arreglo de Electrodo Configuración 1	25
Tabla 3.9 Arreglo de Electrodo Configuración 2	25
Tabla 3.10 Parámetros Para el Barrido de la Voltametría Cíclica	27
Tabla 3.11 Reactivos Químicos Caldo Bacteriológico sin Melaza.....	28
Tabla 3.12 Reactivos Químicos Caldo Bacteriológico con Melaza	28
Tabla 3.13 Materiales de la Celda de Electrólisis Microbiana (MEC)	29
Tabla 3.14 Frecuencia de toma de Datos de la Celda de Electrólisis Microbiana (MEC)	31
Tabla 3.15 Frecuencia de Toma de Muestras y Pruebas de Voltametría Cíclica.....	32
Tabla 4.1 Punto de Ebullición de la Mezcla Crudo-Aceite	33
Tabla 4.2 %Tween 80 y Pruebas de Viscosidad en la Mezcla Crudo-Aceite.....	34
Tabla 4.3 %AGE y Pruebas de Viscosidad en la Mezcla Crudo-Aceite	34
Tabla 4.4 %Tween 80 y Viscosidad de las Emulsiones Con Y Sin Melaza	36
Tabla 4.5 Resumen de Resultados de Voltametría Cíclica	37
Tabla 4.6 Parámetros del Pico Catódico Obtenido en la Voltametría Cíclica	42
Tabla 4.7 Parámetros de Evaluación de la Celda 1	42
Tabla 4.8 Parámetros de Evaluación de la Celda 2	43
Tabla 4.9 Prueba "t" para Sólidos Totales TDS	46
Tabla 4.10 Prueba "t" para Temperatura	47
Tabla 4.11 Prueba "t" para Resistividad Eléctrica.....	47
Tabla 4.12 Prueba "t" para Salinidad.....	48
Tabla 4.13 Prueba "t" para Conductividad	49
Tabla 4.14 Prueba "t" para pH	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Emulsiones O/W , W/O.....	4
Figura 2.2 Emulsión W/O	4
Figura 2.3 Emulsión O/W	5
Figura 2.4 Voltamperograma Cíclico	12
Figura 2.5 Potencial vs Corriente.....	13
Figura 2.6 Celda de Trabajo para Voltametría	14
Figura 2.7 Diagrama Potenciostato	14
Figura 2.8 Voltamperogramas Cíclicos Ay B.....	15
Figura 2.9 Voltamperograma de Onda Cuadrada	16
Figura 2.10 Voltametría de Redisolución.....	17
Figura 2.11 Diagrama de la Celda de Electrolisis Microbiana (MEC).....	18
Figura 3.1 Mezclas Crudo/Aceite vegetal	21
Figura 3.2 Mezcla Crudo-Aceite y Tween 80	22
Figura 3.3 Mezcla Crudo-Aceite y %AGE.....	22
Figura 3.4 Viscosímetro con la muestra en "Baño María"	23
Figura 3.5 Emulsiones sin melaza y con melaza	24
Figura 3.6 Electrodo de trabajo (grafito y plata)	25
Figura 3.7 Potenciostato	26
Figura 3.8 Celda voltamétrica acoplada con los electrodos.....	27
Figura 3.9 Celda de Trabajo y Electrodo de Grafito	29
Figura 3.10 Flujoograma MEC.....	30
Figura 3.11 Electrodo de Grafito	31
Figura 3.12 Sistema Bioelectroquímico "Melaza y Sin Melaza"	32
Figura 4.1 Punto de Ebullición de la Mezcla Crudo-Aceite	33
Figura 4.2 Gráfica Viscosidad vs %Tween 80.....	35
Figura 4.3 Gráfica Viscosidad vs %Tween 80 con y sin Melaza	37
Figura 4.4 Voltograma Sistema Sin Melaza-Electrodos Plata-Grafito	38
Figura 4.5 Voltograma Sistema Sin Melaza-Electrodos Plata-Plata.....	39
Figura 4.6 Voltograma Sistema Melaza-Electrodos Plata-Grafito	40
Figura 4.7 Voltograma Sistema Melaza-Electrodos Plata-Plata	41
Figura 8.1 Husillo del Viscosímetro	57
Figura 8.2 Pantalla Viscosímetro.....	57
Figura 8.3 Muestra del Crudo de Pungarayacu.....	58
Figura 8.4 Muestra de Aceite Vegetal	58
Figura 8.5 Mezcladora	59
Figura 8.6 Balanza Analítica y Plancha de Calentamiento	59
Figura 8.7 Reactivos Químicos.....	60
Figura 8.8 Fuente de Voltaje y Amperaje	60
Figura 8.9 Cubeta Plástica.....	60
Figura 8.10 Placas de Grafito	61
Figura 8.11 Cables de Corriente y Lagartos.....	61
Figura 8.12 Caldos Bacteriológicos con y sin Melaza.....	62
Figura 8.13 Contraelectrodo Barra de Grafito	62
Figura 8.14 Contraelectrodo Barra de Grafito	63
Figura 8.15 Electrodo de Trabajo Mina de Grafito	63

Figura 8.16 Celda de Trabajo con Muestra	64
Figura 8.17 Emulsiones con Melaza.....	64
Figura 8.18 Prueba 1 Muestra Crudo 1 Sin Melaza	66
Figura 8.19 Prueba 1 Muestra Crudo 1 con Melaza	66
Figura 8.20 Prueba 2 Muestra Crudo 2 sin Melaza.....	67
Figura 8.21 Prueba 2 Muestra Crudo 2 con Melaza	67
Figura 8.22 Prueba 3 Muestra Crudo 3 sin Melaza.....	68
Figura 8.23 Prueba 3 Muestra Crudo 3 con Melaza	68
Figura 8.24 Prueba 4 Muestra Crudo 4 sin Melaza.....	69
Figura 8.25 Prueba 4 Muestra Crudo 4 con Melaza	69
Figura 8.26 Prueba 5 Muestra Crudo 5 sin Melaza.....	70
Figura 8.27 Prueba 5 Muestra Crudo 5 con Melaza	70
Figura 8.28 CV-0 Días-Melaza-Grafito	71
Figura 8.29 CV-0 Días-Melaza- Plata.....	71
Figura 8.30 CV-0 Días-sin Melaza-Grafito	72
Figura 8.31 CV-0 Días- sin Melaza-Plata	72
Figura 8.32 CV-3 Días-Melaza-Grafito	73
Figura 8.33 CV-3 Días-Melaza-Plata.....	73
Figura 8.34 Altura del Pico- CV-3 Días-Sin Melaza-Plata.....	74
Figura 8.35 CV-3 Días-sin Melaza-Grafito	74
Figura 8.36 CV-3 Días-sin Melaza-Plata	75
Figura 8.37 CV-9 Días-Melaza-Grafito	75
Figura 8.38 CV-9 Días-Melaza-Plata.....	76
Figura 8.39 Altura del Pico- CV-9 Días Sin Melaza-Plata.....	76
Figura 8.40 CV-9 Días-sin Melaza-Grafito	77
Figura 8.41 CV-9 Días-sin Melaza-Plata	77
Figura 8.42 CV-15 Días-Melaza-Grafito	78
Figura 8.43 CV-15 Días-Melaza-Plata.....	78
Figura 8.44 Altura del Pico- CV-15 Días Sin Melaza-Plata.....	79
Figura 8.45 CV-15 Días-sin Melaza-Grafito	79
Figura 8.46 CV-15 Días-sin Melaza-Plata	80
Figura 8.47 CV-21 Días-Melaza-Grafito	80
Figura 8.48 CV-21 Días-Melaza-Plata.....	81
Figura 8.49 Altura del Pico- CV-21 Días Sin Melaza-Plata.....	81
Figura 8.50 CV-21 Días-sin Melaza-Grafito	82
Figura 8.51 CV-21 Días-sin Melaza-Plata	82

SIMBOLOGÍA

Símbolo	Significado
CV	Voltametría Cíclica.
MEC	Celda de Electrólisis Microbiana.
W/O	Emulsión agua en aceite.
O/W	Emulsión aceite en agua.
W/O/W	Emulsión múltiple agua en aceite en agua.
O/W/O	Emulsión múltiple aceite en agua en aceite.
ET	Electrodo de trabajo.
ER	Electrodo de referencia.
AGE	Ácido graso epóxilado.
CMC	Concentración crítica micelar.
TDS	Sólidos totales disueltos.

RESUMEN

El trabajo se realizó con el objetivo de estudiar el funcionamiento de la celda de electrólisis microbiana para identificar sus variables bioelectroquímicas de operación, y su interacción voltamétrica en presencia de bacterias. Estos parámetros permiten evaluar la bioelectroremediación de aguas contaminadas con efluentes de la industria hidrocarburífera.

Para el proyecto se utilizó una muestra de crudo del campo Pungarayacu emulsionado con aceite vegetal y Tween 80. El punto óptimo de la emulsión se encuentra mediante la concentración micelar crítica en las gráficas viscosidad - % Tween 80. Las formulaciones de las emulsiones con crudo pesado permiten establecer un sistema para el desarrollo de la actividad microbiana.

El sistema bioelectroquímico se acondicionó con dos celdas de electrólisis microbiana, placas de grafito (electrodos), caldos bacteriológicos minerales preparados con y sin melaza, fuente de poder a voltaje e intensidad constantes, mientras que el equipo para las pruebas de voltametría se conformó por un potencióstato, celda de trabajo de 50 ml, a la que se acopló los electrodos de trabajo. Las configuraciones mecánicas de trabajo establecidas son las siguientes: electrodo de referencia plata, contraelectrodo de grafito y electrodo de trabajo grafito para la configuración 1 y electrodo de referencia plata, contraelectrodo de grafito y electrodo de trabajo de plata para la configuración 2.

Los resultados experimentales muestran que la concentración micelar crítica se encuentra al 15% de Tween 80 y con resultados positivos en el sistema A, sin melaza configuración de electrodos plata-plata, se determinó que la melaza no es un buen sustrato para el crecimiento de los microorganismos, los voltamperogramas muestran la presencia del pico de reducción (catódico) que incrementa a medida que transcurren los días de evaluación en la celda de electrólisis microbiana, debido a la actividad de los microorganismos y la intensidad del potencial. Originando resultados a partir del día 3 con un pico ubicado a -0.164 V y una altura de 7.250 mA, 9 días ubicado a -0.213 V y una altura de pico de 16.610 mA, 15 días ubicado a -0.346 V y 26.110 mA, y la última prueba a los 21 días ubicación del pico a -0.304 V y altura 28.380 mA.

PALABRAS CLAVE: Tween 80, MEC, voltametría, electrodo de trabajo, contraelectrodo.

ABSTRACT

The work was carried out with the objective of studying the functioning of the microbial electrolysis cell to identify its bioelectrochemical variables of operation, and its voltammetric interaction in the presence of bacteria. These parameters allow evaluating the bioelectroremediation of water contaminated with effluents from the hydrocarbon industry.

For the project, a sample of crude from the Pungarayacu field emulsified with vegetable oil and Tween 80 was used. The optimal point of the emulsion is found by means of the critical micellar concentration in the viscosity-% Tween 80 graphs. The formulations of the emulsions with heavy crude oil allow establishing a system for the development of microbial activity

The bioelectrochemical system was conditioned with two microbial electrolysis cells, graphite plates (electrodes), mineral bacteriological broths prepared with and without molasses, a constant voltage and intensity power source, while the voltammetry test equipment consisted of a potentiostat, 50 ml work cell, to which the work electrodes were attached. The established mechanical working configurations are the following: silver reference electrode, graphite counter electrode and graphite working electrode for configuration 1 and silver reference electrode, graphite counter electrode and silver working electrode for configuration 2.

The experimental results show that the critical micellar concentration is found at 15% of Tween 80 and with positive results in system A, without silver-silver electrode configuration, it was determined that molasses is not a good substrate for the growth of micelles. microorganisms, the voltammograms show the presence of the reduction peak (cathode) that increases as the evaluation days pass in the microbial electrolysis cell, due to the activity of the microorganisms and the intensity of the potential. Originating results from day 3 with a peak located at -0.164 V and a height of 7.250 mA, 9 days located at -0.213 V and a peak height of 16.610 mA, 15 days located at -0.346 V and 26.110 mA, and the last test at 21 days peak location at -0.304 V and height 28.380 mA.

KEY WORDS: Tween 80, MEC, voltammetry, working electrode, counter electrode.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Con la evaluación voltamétrica electroquímica de la muestra del crudo del campo Pungarayacu vamos a obtener productos resultantes del tratamiento que nos permitirá evidenciar la funcionalidad microbiana.

Para obtener la información requerida se realizará un análisis de las diferentes disoluciones de aceite-petróleo a diversas concentraciones, para determinar la que mejor se ajuste a la muestra a tratar durante el desarrollo del proceso de electrólisis microbiana, cuya importancia está implícita en el procesamiento y tratamiento de la bioelectroremediación de efluentes líquidos de la industria hidrocarburífera.

1.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades de voltametría de la muestra de crudo Pungarayacu que aflora en la cuenca Amazónica del Ecuador.

1.2 Objetivos específicos

1. Evaluar de las propiedades electroquímicas del (MEC).
2. Obtener la disolución aceite-petróleo óptima para la MEC.

1.3 Alcance

Determinar las propiedades voltamétricas y las condiciones bajo las cuales trabaja la celda de electrolisis microbiana (MEC); que permita un proceso de actividad bioelectroquímico óptimo.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades

El campo Pungarayacu ubicado en la provincia de Napo (bloque 20) a 120 km de la ciudad de Quito, en la parte oeste de la cuenca oriental ecuatoriana, tiene un área de 1100 km². Contiene la mayor acumulación de crudo pesado y viscoso con aproximadamente 4000 millones de barriles, estructuralmente está caracterizado por un sinclinal marginal hacia el oeste paralelo a la cordillera de los andes y ser un anticlinal fallado cuyo eje baja hacia el sur, espacio en el cual se ha entrampado crudo (Andrango & Castro, 2009).

Las propiedades físico - químicas del campo son exclusivas de arenas bituminosas con crudo extra-pesado y densidad entre 6 a 14 grados API. En la tabla 2.1 se describe de manera específica las características de dicho campo (Andrango & Castro, 2009).

Tabla 2.1 Propiedades Físico-Químicas del Campo Pungarayacu

Características	Unidad	Valor
Peso Específico a 15.5 °C	G/cm ³	1,07
Densidad	°API	8
Densidad relativa	60/60	1,0328
Punto de Inflamación	°C	170,7
Punto de Combustión	°C	179,3
Calor específico	Kcal. /kg.	9.887,4
Contenido de Sedimentos	% peso	61,0
Humedad	% Vol.	0,23
Penetración*	L/10 mm	45
Punto de Ablandamiento	°C	42,2
Ductibilidad*	Cm	35

Fuente: (Andrango & Castro, 2009)

2.1.1 Efectos de la Contaminación por Hidrocarburos en el Ser Humano

Según algunos estudios realizados en las poblaciones aledañas a instalaciones petroleras y zonas donde existe contaminación por hidrocarburos en el Ecuador, se afirma que existe una relación directa entre la exposición a los hidrocarburos con una mayor prevalencia de enfermedades, las mismas que se pueden manifestar a corto y largo plazo en la población (Moran de la Torre, 2021).

2.1.2 Daños a la Fauna y Flora

La contaminación por hidrocarburos afecta a los animales desde los mamíferos, aves, peces, las almejas, los moluscos e insectos; cuando los derrames de petróleo son sobre cursos de agua estos afectan de manera especial a la fauna acuática, impidiéndoles nadar y alimentarse como podemos observar en la tabla 2.2 en un estudio basado por (Amunárriz, 2004); (Moran de la Torre, 2021).

Tabla 2.2 Concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTO) en Comunidades Rodeadas por Pozos y Estaciones de Petróleo

Nombre del Afluente Hídrico	Hidrocarburos Totales de Petróleo (ppm).	Incremento sobre el Límite Permitido.
Comunidad 1 Toachi	0	0
Comunidad 2 Pozo 66	0.04	4
Comunidad 3 Victoria 1	0.051	5
Comunidad 4 Itaya 1	0.043	4
Comunidad 5 Escuela 18-N	0.036	3
Comunidad 6 Huamayacu	1.444	144
Comunidad 7 Dayuma	0.066	14

Fuente: (Amunárriz, 2004)

El límite permitido para hidrocarburos totales en agua potable según la normativa de la Unión Europea es 0,01 partes por millón (ppm) (Amunarriz, 2004).

2.2 Emulsiones

Las emulsiones son líquidos inmiscibles de sistemas dispersos, termodinámicamente inestables (siendo cada uno de naturaleza apolar y polar), en la que uno de ellos forma gotas de pequeño tamaño en el seno del otro en el orden de los micrones (denominándose fase dispersa), y el otro constituye la fase continua en la que su estructura es estabilizada por un agente surfactante llamado emulgente (Vian, 1972).

2.2.1 Tipos de Emulsiones

Esencialmente existen tres tipos de emulsiones que las podemos agrupar en: agua en aceite (W/O), aceite en agua (O/W) y emulsiones complejas como agua, aceite y agua (W,O,W). Una emulsión compleja es conocida como una emulsión múltiple. Los tres tipos de emulsiones se muestran a continuación en la siguiente figura 2.1 (Hernandez & Carbonell, 2003).

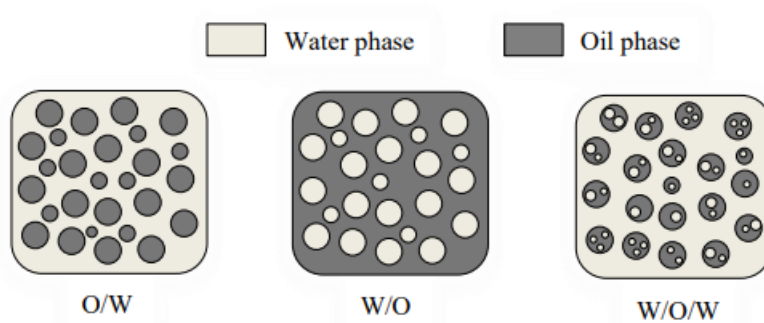


Figura 2.1 Emulsiones O/W , W/O

Fuente: (Hernandez & Carbonell, 2003)

Usualmente, si el aceite está en fase dispersa la emulsión es llamada O/W, pero si el medio acuoso está en fase dispersa es llamado W/O.

2.2.1.1 Emulsión Agua en Aceite (W/O)

Este tipo de emulsión en la cual la fase continua es hidrofóbica y la fase dispersa es el agua, más del 95% de crudo en los yacimientos petrolíferos son de este tipo, las emulsiones W/O contienen estas tres sustancias: disolvente, tensioactivo y agua, como se muestra en la figura 2.2 (Hernandez & Carbonell, 2003).

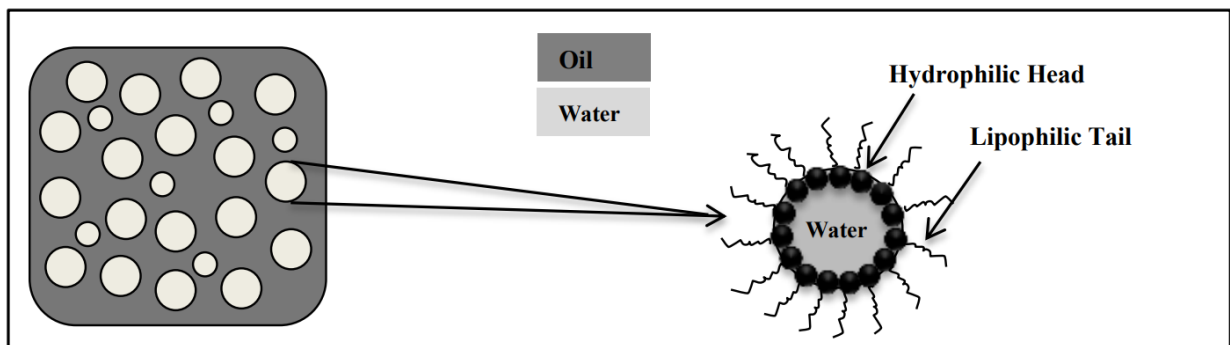


Figura 2.2 Emulsión W/O

Fuente: (Hernandez & Carbonell, 2003)

2.2.1.2 Emulsión Aceite en Agua (O/W)

Una emulsión de aceite en agua es aquella en la que el aceite existe en fase dispersa y el agua se encuentra como medio disperso o fase continua como se muestra en la figura 2.3 (Hernandez & Carbonell, 2003).

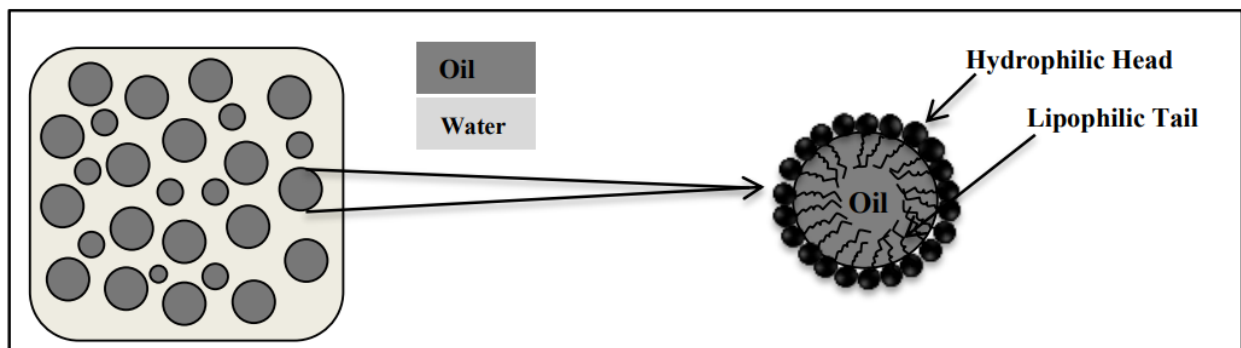


Figura 2.3 Emulsión O/W

Fuente: (Hernandez & Carbonell, 2003)

2.2.1.3 Emulsiones Múltiples

Emulsiones múltiples como agua en aceite en agua (W/O/W) y aceite en agua en aceite (O/W/O) se pueden encontrar en algunos casos. Por lo general, las emulsiones múltiples se estabilizan usando una combinación de tensoactivos hidrofílicos e hidrofóbicos. Las emulsiones múltiples son más complejas y contienen microgotas muy pequeñas suspendidas en microgotas que también se dispersan en una fase continua. Estas emulsiones requieren al menos dos emulsionantes que se presenten en el sistema, un emulsionante debe tener un bajo (HLB), y otro un alto (HLB) (Hernandez & Carbonell, 2003).

2.2.1.4 Agentes Emulsionantes

El agente emulsionante juega un papel primordial en la estabilidad de la emulsión. Se clasifican los tres principales agentes emulsionantes de la siguiente manera: (Vian, 1972):

- Productos tensoactivos
- Materiales presentes en la naturaleza
- Sólidos finamente divididos

2.2.1.5 Productos Tensoactivos

Este tipo de agentes emulsionantes son los más comunes y se clasifican según grupos hidrofílicos de la molécula (Vian, 1972).

Agente Emulsionante Aniónico Tensoactivo

Son sustancias que presentan sales de los ácidos grasos de largas cadenas, derivados de grasas encontradas en la naturaleza, en cuyo caso están formados de una mezcla de ácidos grasos (Vian, 1972).

Agente Emulsionante Catiónico Tensoactivo

Se caracterizan porque un grupo hidrofóbico se encuentra entre el catión, estos compuestos son aminas o sales de amonio cuaternario (Vian, 1972).

Agente Emulsionante Tensoactivo no iónicos

Este aditivo emulsionante presenta resistencia a la dureza y pH del agua. Su concepto hidrofóbico e hidrofílico se acopla a la estructura molecular de las fases dispersa y dispersante, llegando a modificar la reología del sustrato (Vian, 1972).

2.2.2 Formulación de Emulsiones: Método HLB

Según este método se asigna un número HLB a cada agente tensoactivo y se relaciona mediante una escala establecida en la tabla 2.3, la cual señala la oscilación HLB requerida para varios sistemas (Vian, 1972).

Tabla 2.3 Nivel de Oscilación Diferentes Sistemas

Oscilación	Aplicación
3-6	Emulsionante W/O
7-9	Agente de mojado
8-18	Emulsionante O/W
13-15	Detergente
15-18	Solubilizante

Fuente: Vian, 1972

Como se observa productos con número HLB que oscilan únicamente entre 4 – 6 son adecuados para generar emulsiones W/O, mientras que aquellos que oscilan de 8 – 18 son adecuados para la preparación de emulsión O/W (Vian, 1972).

La fórmula para calcular el HLB puede estar basada en datos analíticos o de composición, por lo cual se usa una fórmula en función de la composición del agente tensoactivo.

Esteres poli-hídricos de alcoholes de ácidos grasos y oxitilenos se calcula con las siguientes ecuaciones 1 y 2 (Vian, 1972):

$$HLB = 20 \left(1 - \frac{S}{A} \right) \quad (1)$$

Donde:

S: índice de saponificación del Ester.

A: índice del ácido

$$HLB = \left(\frac{E - P}{5} \right) \quad (2)$$

Donde:

E: porcentaje en peso del contenido de oxitileno.

P: porcentaje en peso del contenido de alcohol poli hídrico.

Estas ecuaciones no pueden ser empleadas para materiales tensoactivos no iónicos.

2.2.2.1 Número HLB Requerido

El número HLB es una escala de uno a cuarenta, introducido por Griffin (1949-1954), basado en un modelo empírico empleando un sistema de tablas para predecir sus propiedades surfactantes y proporcionar la estructura molecular (Vian, 1972).

2.2.3 Otros Métodos de Equilibrio Hidrófilo – Lipófilo

Se utiliza para el cálculo de determinados grupos de agentes emulsionantes del tipo polioxietileno y se calcula su aplicación con la siguiente ecuación (Vian, 1972):

$$\frac{H}{L} = \frac{\text{Número de unidades } E_0 \times 100}{\text{Número } C \text{ de átomos en lipófilo}} \quad (3)$$

2.2.4 Selección de Surfactante: Tween 80

Es un éster de polietileno sorbitol, con un peso molecular aproximado de 1,310 daltons (Da), por lo general está compuesto de un 70% de ácido oleico con varios otros ácidos grasos como ácido palmítico (NGUYEN BA, 2017).

2.2.4.1 Aplicaciones

En la industria petrolera los tanques almacenan efluentes que están compuestos por petróleo, agua y sedimentos. Las cadenas de hidrocarburos más pesadas se sedimentan en conjunto con agua y partículas sólidas presentes en el crudo, hasta formar una emulsión estable debido a la absorción de hidrocarburos por parte de estas últimas, lo que permite disminuir la viscosidad de la mezcla para lograr una mejor separación; mientras más finas sean las partículas mejor será la estabilidad de la emulsión (Gonzales & Pucci, 2022).

El Tween 80 es un emulsificante ampliamente utilizado en formulas farmacéuticas, cosméticos, productos alimenticios. También se utilizan para incrementar la absorción de la dieta grasa en casos de trastornos celíacos. Se usan como surfactantes en sprays insecticidas y pesticidas (NGUYEN BA, 2017).

En el caso puntual de esta investigación el Tween 80 sirve como vehículo emulsificante de la muestra: aceite, petróleo, Tween 80, agua y facilita la bioelectroremediación de hidrocarburos (Quinaluiza, 2023).

2.3 Bioelectroremediación Ambiental

Es una técnica *in situ* que unifica la bioremedación convencional con la electrocinética para generar una biodegradación de diversos contaminantes orgánicos mediante la acción de microorganismos favorecidos por la transferencia de materia y energía entre el sistema de contaminantes, microorganismos y nutrientes (Barba, 2018).

La Bioremediación comprende una gama de sistemas que trabajan con organismos vivos como: plantas, hongos, bacterias que bioestimulan e inducen la circulación de soluciones acuosas al interior de la celda electroquímica en donde se remueve, degrada y simplifica los contaminantes logrando que el proceso sea exitoso (Volke & Velasco, 2002).

El proceso de Bioelectroremediación es particular para cada microorganismo electrófilo, presente en la celda de electrolisis microbiana y participa del proceso de degradación mediante la oxidación y reducción de los contaminantes, en conjunto con los nutrientes seleccionados. (Eweis, Ergas, Chang, & Schroeder, 1998).

La Bioelectro-cinética aumenta el potencial de degradación de los contaminantes orgánicos utilizando bacterias y nutrientes, mediante la generación de un campo eléctrico y flujo de

electrones, lo que induce a los microorganismos a la conversión de los contaminantes en metabolitos (De la Rosa, Teutli, & Ramírez, 2007).

Las bacterias que son responsables de biodegradar los hidrocarburos presentan carga negativa y afectadas por el cambio de pH del suelo establecen su migración por electroforesis hacia uno de los electrodos. A $\text{pH} \geq 7$ se genera una carga negativa que permite la migración de los microorganismos en dirección al ánodo. La velocidad de migración bajo un campo eléctrico en un medio acuoso es 5 cm/h (Acuña, Pucci, Tonín, Wick, & Pucci, 2016).

Tabla 2.4 Tipos de Factores que Influyen en la Efectividad del Proceso de Bioremediación

Nutrientes	Aportan al crecimiento y reproducción de microorganismos debiendo controlarse las concentraciones de fosfatos y nitrógeno, que podrían inhibir el crecimiento y metabolismo de los microorganismos.
Materia orgánica	Tiene influencia en la adsorción del contaminante en suelo y su degradación.
Salinidad	La población bacteriana presente en el suelo, no necesariamente es a fin a los cambios en la salinidad.
p H	Valores de pH extremos inhiben los procesos de biodegradación. La funcionalidad correcta de los microorganismos depende de valores óptimos.
Temperatura	Rangos próximos a 45 °C de temperatura influyen en el crecimiento microbiano y la capacidad de degradación de éstos, así como en la desmineralización del suelo.
Humedad	Valores bajos de humedad limitan el crecimiento microbiológico y su metabolismo; mientras que valores elevados dificultan la aireación del suelo, afectando al transporte de los contaminantes y su degradación.
Oxígeno	Bajas concentraciones de oxígeno limitan el crecimiento de los microorganismos y su capacidad de metabolizar el contaminante.

Fuente: (Boopathy, 2000)

La bioelectroremediación es una tecnología emergente cuyas principales ventajas son la combinación de las tecnologías biológicas in situ de bajo costo con la movilidad electrocinética (Barba, 2018).

Entre las principales ventajas de la bioelectroremediación tenemos las siguientes:

- Las técnicas electrocinéticas pueden introducir nutrientes en los suelos que aceleran la biodegradación de los contaminantes de origen orgánico.
- Combina los procesos de oxidación y reducción microbiano del sistema, para promover de una manera rápida y eficaz la descomposición de los contaminantes orgánicos.
- Una técnica de alta versatilidad (Barba, 2018).

En la tabla 2.5 se detallan los factores que afectan al proceso de Bioremediación.

Tabla 2.5 Tipos de Factores que Afectan al Proceso de Bioremediación

Microbiológicos	Crecimiento crítico de la biomasa
	Mutación y transferencia horizontal de genes
	Producción de metabolitos tóxicos
	Interacciones microbianas (competencia, depredación).
Medioambientales	Agotamiento de los sustratos preferenciales
	Falta de nutrientes
	Condiciones ambientales (pH, temperatura, concentración de oxígeno).
Contaminante	Concentración contaminante/sustrato
	Estructura química contaminante- Biodegradabilidad
	Co-metabolismo
	Toxicidad
	Solubilidad
Interacción proceso biológico aerobio/anaerobio	Potencial de oxidación/reducción
	Disponibilidad de aceptores de electrones
	Población microbiana
Limitaciones en la transferencia de materia en la matriz	Biodisponibilidad
	Incorporar en materia húmica
	Difusión y solubilidad del oxígeno en la matriz
	Difusión nutrientes en la matriz

Fuente: (Gothalwal, 2013)

2.4 Voltametría

Es un procedimiento analítico que mide la corriente que desplaza a los electrones entre los electrodos sumergidos en una solución electrolítica, al establecer un diferencial de potencial entre estos (Garrido, 2011).

El equipo que mide la voltametría, está compuesto por el electrodo de trabajo (cátodo) y el electrodo auxiliar (ánodo). Cuenta con la capacidad de aplicar un potencial ligado al circuito eléctrico creando un flujo de corriente en el instante que los componentes presentes en la solución se polarizan; de esta manera, se genera una respuesta que permitirá encontrar la curva E vs i (Garrido, 2011).

La voltametría en los sistemas bioelectroquímicos se realiza con diferentes configuraciones teniendo en cuenta que a velocidades bajas de barrido (1 Mv/S) se necesita que el sistema se recupere del cambio del potencial para minimizar el efecto de la corriente capacitiva, debido que al ser una velocidad más baja la voltametría es mayor evidenciando cambios significativos en el sistema electrobioquímico y en la comunidad de microorganismos (Sane, Buisman, & Bitter, 2021).

2.4.1 Principio de Funcionamiento

Utiliza la aplicación de una señal de potencial sobre un electrodo. La señal conforma un ciclo que puede ser repetido “n” veces durante el cual se dan procesos de inversión de dirección del barrido en potenciales específicos que reciben el nombre de potenciales de inversión, el intervalo se escoge teniendo en cuenta los valores de oxidación y reducción del analito de interés en la muestra (Protti, 2001).

2.4.2 Voltamperograma Cíclico

Técnica que permite electrolizar un fluido e invertir su potencial para comprobar su par redox, y determinar reacciones anódicas o catódicas, este método se caracteriza por aplicación de una señal de potencial eléctrico en el tiempo sobre un electrodo y sin agitación (Garrido, 2011).

En la figura 2.4 se observa la escala donde existe pico catódico y anódico, estos se miden desde referencia de la línea base de oxidación.

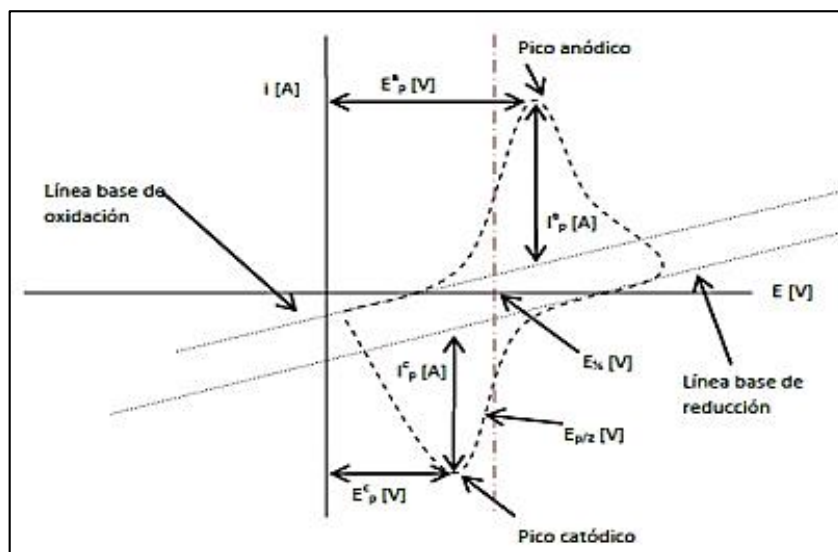


Figura 2.4 Voltamperograma Cíclico

Fuente: (Baeza & García, 2011)

E_p^a : potencial de pico anódico.

E_p^c : potencial de pico catódico.

i_p^a : Intensidad de corriente de pico anódico.

i_p^c : Intensidad de corriente de pico catódico.

2.4.3 Curva I/E

EL Voltamperograma es el resultado gráfico de la aplicación de un potencial para generación de flujo de una determinada corriente. En la figura 2.5 se desglosa la curva A y B, la primera se relaciona con un electrodo ideal polarizado (ET), debido a un cambio considerable de potencial motivado por un cambio infinitesimal de corriente y la segunda con el electrodo ideal no polarizado de referencia (ER), donde no hay cambios derivados por el paso de la corriente (Baeza & García, 2011).

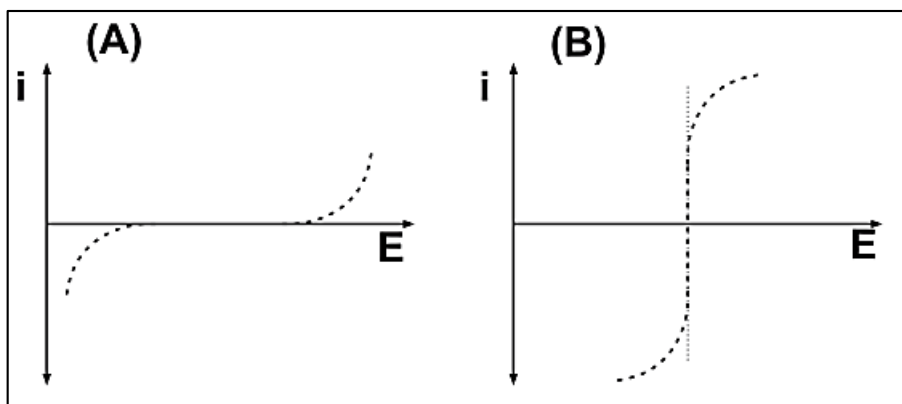


Figura 2.5 Potencial vs Corriente

Fuente: (Baeza & García, 2011)

2.4.4 Elementos de un Ensayo de Voltametría

2.4.4.1 Electrodo

El electrodo puede ser un elemento conductor o semiconductor en una celda electroquímica, donde cumple como un terminal o fase conductora; el cual es el medio de transferencia de electrones (Garrido, 2011).

Electrodo de trabajo:

Este electrodo corresponde al cátodo en el equipo de trabajo y es aquel donde ocurren las reacciones. Está constituido de un material inerte como: platino, oro o carbón vitrificado (Flores, 1995). Este electrodo de tamaño pequeño, tiene suficiente área externa que facilita la medición del potencial (Garrido, 2011).

Electrodo de referencia:

Este electrodo tiene un potencial conocido y necesita un potencial de equilibrio estable y conocido (Bard, 1980). Corresponde al ánodo y puede ser de plata o cloruro de plata; permite generar o establecer una respuesta siguiendo un patrón conocido (Flores, 1995).

Contraelectrodo:

También conocido como electrodo auxiliar, es un electrodo inerte y generalmente constituido de platino, es aquí donde ocurre la reacción complementaria (Flores, 1995).

2.4.4.2 Celda

La celda está construida en material de vidrio o teflón. Tiene volumen determinado, en su interior se materializa el circuito cerrado conformado por los electrodos y la solución electrolítica (Garrido, 2011).

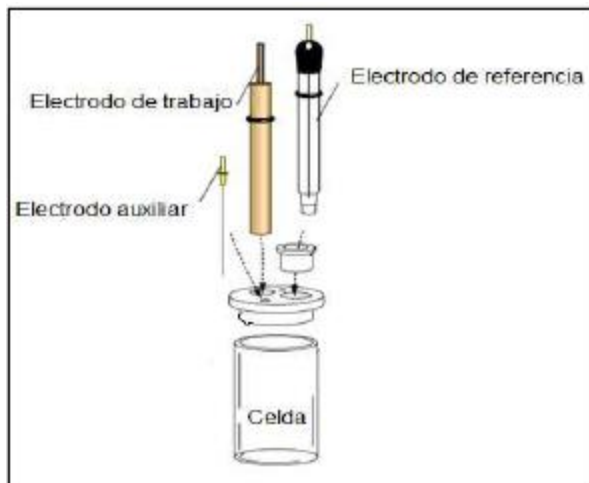


Figura 2.6 Celda de Trabajo para Voltametría

Fuente: (Garrido, 2011)

2.4.4.3 Potenciostato

Es un instrumento que controla el potencial del electrodo de trabajo y mide la corriente resultante, este aplica una rampa lineal de potencial al electrodo de trabajo y luego invierte su sentido regresando a la posición original (Flores, 1995).

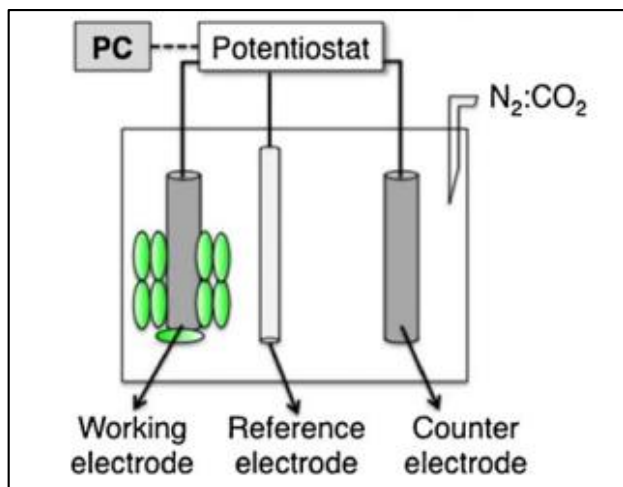


Figura 2.7 Diagrama Potenciostato

Fuente: (Patil, Hagerhall, & Gorton, 2012)

2.4.5 Tipos de Voltametría

2.4.5.1 La voltametría cíclica

Es una técnica que se utiliza para obtener información de los mecanismos de reacción electroquímicos del sistema redox. Se basa en las variaciones de potencial sobre un electrodo de trabajo en varias direcciones, donde se obtiene como resultado la señal de un triángulo en el gráfico E vs t, como se observa la figura 2.8 A. En esta metodología se mantienen “n” ciclos sobre el electrodo estacionario sin agitación en la celda y en régimen de difusión. La gráfica de respuesta de corriente en función del potencial eléctrico, se denomina voltamograma cíclico (Flores, 1995).

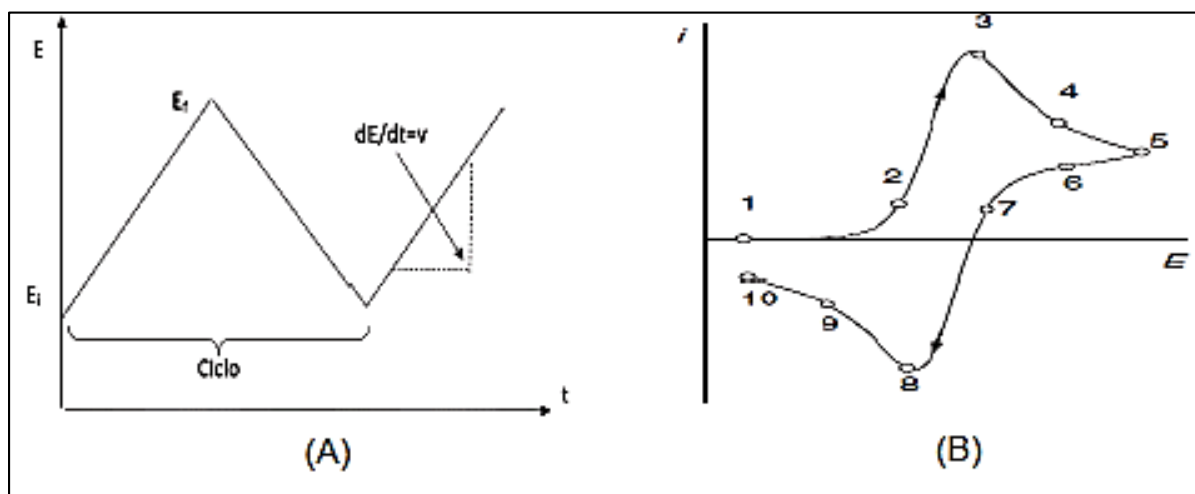


Figura 2.8 Voltamperogramas Cíclicos Ay B

Fuente: (Denuault, Sosna, & Williams, 2007)

Aplicaciones de Voltametría Cíclica

La voltametría cíclica se utiliza en el análisis cuantitativo en una variedad diversa de muestras, según (Sane, Buisman, & Bitter, 2021) la voltametría cíclica sirve para estudiar los mecanismos:

- Cinética e irreversibilidad de reacciones homogéneas.
- Cinética y composición de los electrodos.
- Rendimiento del catalizador.

Una aplicación utilizada con frecuencia es la detección de analitos (elemento químico) en sistemas de flujo, cuya presencia o concentración se desea conocer, cuando este es un elemento desconocido (Richards, 2009).

Otra aplicación de la voltametría cíclica son las pruebas electroquímicas, para comprobar el rendimiento de los condensadores y cuantificar su porcentaje en ciclos de carga y descarga (Richards, 2009).

2.4.5.2 Voltametría de Onda Cuadrada

Técnica que consiste en la combinación de barrido y pulsos de alta frecuencia, mientras que la voltametría de pulso diferencial mide la corriente antes y después de la aplicación de cada pulso, la voltametría de onda cuadrada mide la corriente de respuesta al final de dos periodos de onda, asegurando así que la amplitud de la onda se la adecuada, durante el primer semiciclo, el analito puede ser reducido mientras que en el segundo semiciclo puede ser oxidado. La respuesta puede determinar la concentración e información de una especie en solución, suprimiendo el background de fondo y la diferencia de pulsos (Bard, 1980).

En la figura 2.9 se observa un voltamograma obtenido al aplicar onda cuadrada, en el cual se diferencia dos parámetros principales, la intensidad (Altura de pico máximo) y el área de pico, ambos se miden a partir del punto de referencia que es su línea base de reducción y oxidación, la forma similar a la voltametría cíclica de esta curva es en respuesta del transporte de electrones desde el electrodo hacia la solución, junto a un proceso de pre-concentración. El área, altura, forma de pico, potencial y la línea base se establecen por los parámetros determinados y mencionados en la SWV (Bard, 1980).

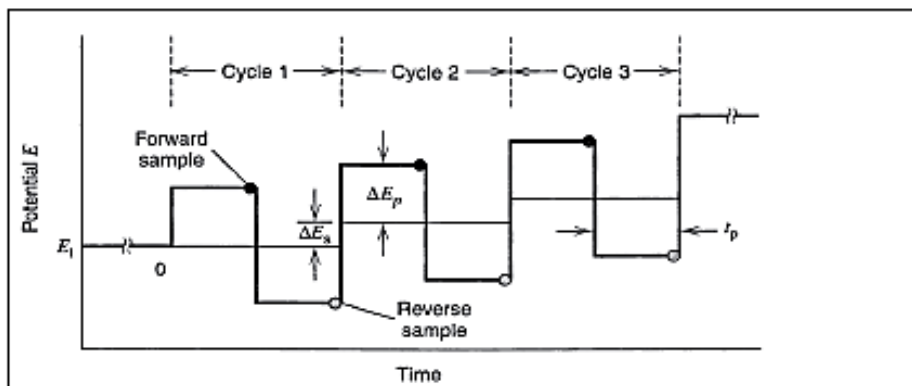


Figura 2.9 Voltamperograma de Onda Cuadrada

Fuente: (Bard, 1980)

2.4.5.3 Voltametría de Redisolución

La voltametría de redisolución es un método analítico que usa en una pre-electrólisis para reconcentrar una sustancia de una solución sobre la superficie de un electrodo, a continuación, la sustancia es disuelta desde el electrodo usando alguna técnica específica de voltametría. Se utiliza para la determinación cuantitativa y la especiación de ciertos metales y complejos metálicos con una sensibilidad de hasta $(10^{-12} \text{ mol L}^{-1})$ (Bertrand, 1998).

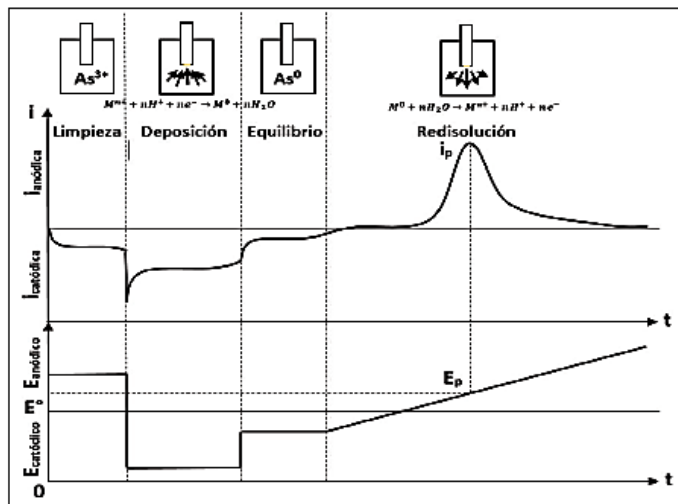


Figura 2.10 Voltametría de Redisolución

Fuente: (Baeza & García, 2011)

La figura 2.10 representa el voltamperograma clásico generado al aplicar un PWM (pulso de ancho de banda), del cual se obtienen dos parámetros uno es la intensidad o altura de pico y área de pico, se toma como referencia la línea base de oxidación reducción para ser medidos, de manera similar a la voltametría cíclica, se debe al movimiento de los electrones a través de los electrodos y la solución, previo a un proceso de saturación, tanto en altura y área (Garrido, 2011).

2.5 Celda de Electrólisis Microbiana (MEC)

Una MEC es una celda que mediante la utilización de microorganismos (bacterias) permite generar energía eléctrica a partir de la conversión de las reacciones químicas presentes en los sustratos, bajo ciertos parámetros y condiciones del medio establecidos, para permitir que los microorganismos transfieran el flujo de electrones producidos durante su actividad metabólica al electrodo del ánodo, promoviendo así el proceso de degradación de materia orgánica presente en la celda (Revelo, Hurtado, & Ruiz, 2013).

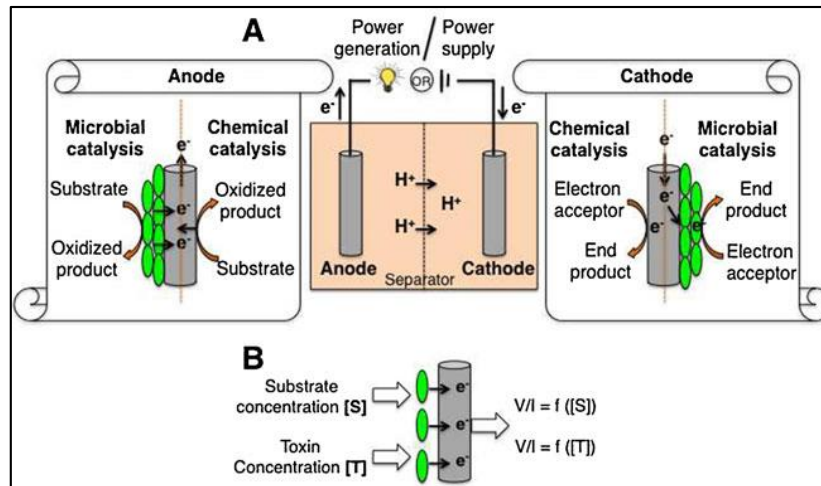


Figura 2.11 Diagrama de la Celda de Electrolisis Microbiana (MEC)

Fuente: (Patil, Hagerhall, & Gorton, 2012)

Las Celdas de Electrolisis Microbianas son un tipo de tecnología en desarrollo que está enfocada en dar soluciones a los problemas más críticos de la actualidad relacionados a la crisis energética y la remediación ambiental de aguas contaminadas por la industria hidrocarburífera (Revelo, Hurtado, & Ruiz, 2013).

2.5.1 Microorganismos Electrogénicos en la MEC

Son organismos con la capacidad de descomponer, degradar la materia orgánica mediante la producción de protones y electrones para obtener su propia energía, el crecimiento y reproducción de los microorganismos está ligado al tipo de reacciones de oxidación y reducción que se den en el medio para así poder tener la transferencia de electrones, mientras mayor sea el potencial mayor será el flujo de electrones (Valdivieso, 2017); (Velazquez, 2017); (Amunárriz, 2004).

2.5.2 Aplicaciones de la MEC

Principales aplicaciones de la celda de electrólisis microbiana (Valdivieso, 2017):

- Bioremediación de suelos y ambientes contaminados.
- Procesos de bioelectro-remediación ambiental.
- Remoción de contaminantes en suelos y aguas residuales.

3 METODOLOGÍA

Equipos y Materiales de Laboratorio

En el desarrollo de la investigación se utilizaron los siguientes equipos y material de laboratorio detallado a continuación en las tablas 3.1 y 3.2.

Tabla 3.1 Equipos

Equipos	Características
Balanza Analítica	Ohaus Gold Series
Plancha de calentamiento	Ohaus Gold Series
Vasos de precipitación	100 ml, 250 ml, 500 ml, 1000 ml
Probetas	10 ml, 50 ml, 100 ml
Pipetas	50 ml
Baño María	MKLAB
Viscosímetro de crudo	Visco QC 300/Anton Paar
Mezcladora	Hamilton Beach

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Tabla 3.2 Material de Laboratorio

Material De Laboratorio	Características
Vasos de precipitación	100 ml, 250 ml, 500 ml, 1000 ml
Vidrios de reloj	25 ml
Probetas	10 ml, 50 ml, 100 ml
Pipetas	50 ml
Termómetro	100 °C

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Reactivos Químicos

En la tabla 3.3 se indican los reactivos utilizados en el sistema electroquímico.

Tabla 3.3 Reactivos Químicos

Reactivos Químicos:		
Ácido Bórico	0.5	gr
Tripolifosfato de Sodio	1	gr
Sulfato de Amonio	1	gr
Melaza	200	ml
Aceite vegetal	350	ml

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

3.1 Preparación de la Mezcla Crudo-Aceite

La preparación de la mezcla crudo-aceite se realizó de la siguiente manera:

- Se utilizó muestra de crudo de Pungarayacu (sólida) y aceite vegetal en diferentes volúmenes que se detallan en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Concentraciones Crudo/Aceite Vegetal

Crudo Pungarayacu (gr)	Aceite vegetal (ml)
50	50
50	100
50	150
50	200
50	250

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

- Pesar 50 gr de crudo sólido de Pungarayacu en la balanza analítica.
- Medir los diferentes volúmenes de aceite y se reservar en vasos de precipitación.
- Agregar la muestra de crudo al aceite y agitar a velocidad constante sobre la plancha de calentamiento con la temperatura seteada a 300 ° C, hasta observar como el aceite disolvía a la muestra sólida de crudo.

Después de realizar la secuencia mencionada, se obtuvo 5 mezclas de crudo-aceite a diferentes volúmenes de aceite como se muestra en la figura 3.1, observando que a un mayor volumen de aceite obtenemos mayor mezcla y mayor fluidez.



Figura 3.1 Mezclas Crudo/Aceite vegetal

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

3.2 Preparación de la Emulsión Crudo-Aceite-Emulsificante

Para preparar la emulsión se utilizó la mezcla de 100 gr de crudo / 350 ml de aceite, obtenido previamente.

- Se distribuyó la mezcla para agregar los dos tipos de emulsificante (Tween 80 y Ácido graso epoxilado) de la siguiente manera.

Tabla 3.5 Concentración Mezcla/Tween 80

Mezcla (gr)	Tween 80 (gr)	Tween 80 (%)
25	0.07	0.25
25	0.11	0.43
25	0.15	0.59
25	0.18	0.7
25	0.25	0.98

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 3.2 Mezcla Crudo-Aceite y Tween 80

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Tabla 3.6 Concentraciones Mezcla/AGE

Mezcla (gr)	AGE (gr)	AGE (%)
25	0.06	0.23
25	0.12	0.47
25	0.15	0.59
25	0.22	0.87
25	0.26	1.035

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 3.3 Mezcla Crudo-Aceite y %AGE

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

- Agitar durante 5 minutos cada muestra hasta obtener una emulsión estable.
- Medir la viscosidad de la emulsión utilizando el viscosímetro de crudo como se indica en la figura 3.4 para lo cual se llena la cámara del viscosímetro con fluido, se acopla en el equipo, colocar el uso para el tipo de crudo e iniciar la medición durante 1 minuto hasta que la viscosidad se estabilice, todo esto se realizó a “Baño María” con una temperatura constante seteada a 25 °C.

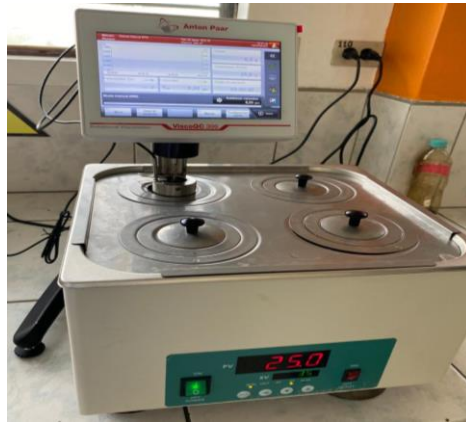


Figura 3.4 Viscosímetro con la muestra en “Baño María”

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

3.3 Preparación de las Emulsiones

La preparación de la emulsión se realizó de la siguiente manera:

- Se usó los reactivos químicos, muestra crudo/aceite, agua y Tween 80 en diferentes porcentajes detallados en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Concentraciones Agua, Minerales, Crudos, Aceite, Tween 80 para Elaboración de Emulsiones

Agua + Minerales (ml)	Crudo-Aceite (gr)	Tween 80	Tween 80 (%)
200	7.5	20.75	10
200	7.5	25.93	12.5
200	7.5	31.125	15
200	7.5	36.31	17.5
200	7.5	41.5	20

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Donde:

- La muestra crudo-aceite se preparó anteriormente.
- Se empleó aceite vegetal de grado alimenticio.
- Se utilizó Tween 80 que es un emulsificante de grado alimenticio.
- Melaza comercial.

Después de pesar todos los reactivos, se procedió a mezclar en un litro de agua con y sin melaza como se muestran en la figura 3.5 durante 10 minutos hasta obtener una emulsión estable, a diferentes % Tween 80.

Se observó que las mezclas preparadas presentan una emulsión de grado leve, debido a que el crudo de Pungarayacu es un crudo muy pesado también se evidencia la presencia de material orgánico que no se disolvió por completo, motivo por el cuál al momento de emulsificar la muestra de crudo con: aceite, agua y Tween 80 no se disuelve por completo dando como resultado una emulsión leve, se evidenció en varias preparaciones de emulsiones de prueba previas.



Figura 3.5 Emulsiones sin melaza y con melaza

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

3.4 Preparación de los Electroodos

Para realizar las pruebas de voltametría se establecieron 2 escenarios de configuración de electrodos detalladas a continuación en las tablas 3.8 y 3.9.

3.4.1 Configuración 1

Tabla 3.8 Arreglo de Electrodo Configuración 1

	Electrodo	Material	Largo (mm)	Diámetro(mm)
Rojo	Trabajo	Mina de Grafito	75	0.7
Blanco	Referencia	Alambre de Plata	75	1.1
Azul	Contraelectrodo	Carboncillo (Grafito)	150	6

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

3.4.2 Configuración 2

Tabla 3.9 Arreglo de Electrodo Configuración 2

	Electrodo	Material	Largo (mm)	Diámetro(mm)
Rojo	Trabajo	Alambre de Plata	75	1.1
Blanco	Referencia	Alambre de Plata	75	1.1
Azul	Contraelectrodo	Carboncillo (Grafito)	150	6

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 3.6 Electrodo de trabajo (grafito y plata)

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Para determinar el estado de los electrodos se realizó un barrido de caracterización, mediante una prueba de voltametría cíclica con los parámetros seteados como se indica en la tabla 3.10, se preparó una solución de HCl 0.5 M y se aforó a 50 ml de agua destilada (el volumen de la celda de trabajo).

El voltamperograma que se obtuvo para el HCL0.5 M no mostró picos visibles lo que comprobó el perfecto estado de los electrodos, así como de la celda y el equipo.

3.5 Preparación del Equipo de Voltametría

3.5.1 Potenciostato

BioLogic SP-300 Science Instruments



Figura 3.7 Potenciostato

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

3.5.2 Celda Voltamétrica 50 ml

Se acopló la celda voltamétrica en un recipiente de plástico para no contaminar la celda original con la muestra de crudo, se colocó 50 ml de las emulsiones preparadas anteriormente (con y sin melaza).

Se colocaron los electrodos, el de color rojo representa el electrodo de trabajo y para la configuración 1 corresponde a la lámina de grafito y en la configuración 2 al alambre de plata, el blanco o electrodo de referencia corresponde al alambre de plata y el azul o contraelectrodo a la

barra de grafito (carboncillo) como se indica en la figura 3.8, se conectó a la fuente, se abrió el software de trabajo “BioLogic” EC-Lab y se dio inició a la corrida de las pruebas de voltametría, estableciendo así nuestro blanco referencial de emulsiones con y sin melaza, para su posterior comparación con la muestra con bacterias.



Figura 3.8 Celda voltamétrica acoplada con los electrodos

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Tabla 3.10 Parámetros Para el Barrido de la Voltametría Cíclica

Parámetros	Valor	Unidades
$E_i=$	-0.6	V
$dE/dt=$	1	V/s
$E_{1=}$	0.6	V
$E_{2=}$	-0.6	V
$n_c=$	2	s
$N=$	10	Voltage steps
$E\ Range=$	(-2.5 ; 2.5)	V

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

3.6 Preparación de los Caldos Bacteriológicos

Para esta parte del procedimiento se procedió a preparar 1,5 L de caldo bacteriológico sin melaza para el escenario A y 1.5 L de caldo bacteriológico con melaza para el escenario B, como se detalla a continuación en las tablas 3.11 y 3.12.

Escenario A: Caldo Bacteriológico sin Melaza

La preparación de los caldos bacteriológicos del escenario A, se realizó de la siguiente manera, se usó los reactivos químicos detallados en la tabla 3.11 (Moran de la Torre, 2021).

Tabla 3.11 Reactivos Químicos Caldo Bacteriológico sin Melaza

Reactivos Químicos:		
Ácido Bórico	0.75	gr
Tripolifosfato de Sodio	1.5	gr
Sulfato de Amonio	1.5	gr
Caldo de bacterias	2500	ml
Muestra Petróleo-Aceite	56.25	gr
Agua	1500	ml
Tween 80 al 15%	233.437	gr

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Escenario B: Caldo Bacteriológico con Melaza

La preparación de los caldos bacteriológicos del escenario B, se realizó de la siguiente manera, se usó los reactivos químicos detallados en la tabla 3.12 (Moran de la Torre, 2021).

Tabla 3.12 Reactivos Químicos Caldo Bacteriológico con Melaza

Reactivos Químicos:		
Ácido Bórico	0.75	gr
Tripolifosfato de Sodio	1.5	gr
Sulfato de Amonio	1.5	gr
Melaza	250	ml
Caldo de bacterias	2500	ml
Muestra Petróleo-Aceite	56.25	gr
Agua	1500	ml
Tween 80 al 15%	233.437	gr

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Donde:

- La muestra crudo-aceite se preparó anteriormente.
- Se utilizó Tween 80 al 15% de concentración, puesto que en pruebas anteriores presento mejores resultados a esta concentración.

- El caldo de bacterias se preparó anteriormente.
- Melaza comercial.

Después de pesar todos los reactivos, se procedió a mezclar en un 1.5 litros de agua con y sin melaza durante 10 minutos hasta obtener una emulsión del caldo bacteriológico estable.

3.7 Sistema Bioelectro-Químico

3.7.1 Celda Electrólisis Microbiana (MEC)

Materiales

Para la construcción de la celda de electrólisis microbiana se utilizaron los siguientes materiales detallados en la tabla 3.13.

Tabla 3.13 Materiales de la Celda de Electrólisis Microbiana (MEC)

Materiales	Cantidad	Dimensiones
Cubeta plástica	2	5 litros
Placas Grafito	12	9x1x7 cm
Generador de voltaje y amperaje	1	Baku BK-305 D
Lagartos	10	5 positivos y 5 negativos
Cables de corriente	10	Positivo y negativo
Material conductivo	4	Anillos tubo PVC

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

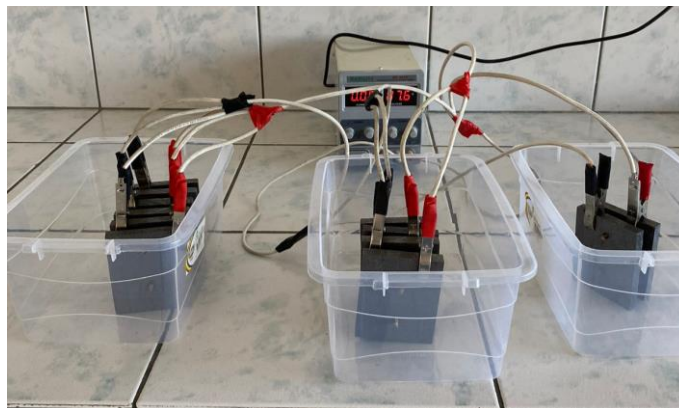


Figura 3.9 Celda de Trabajo y Electrodo de Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

3.7.1.1 Flujograma de Preparación la Celda de Electrólisis Microbiana (MEC)

Se armó la celda como se muestra en el flujograma de la figura 3.10, se acopló la fuente de generador de voltaje junto con los electrodos de grafito y se colocó el caldo bacteriológico previamente preparado (con y sin melaza), para la puesta en marcha de la celda de electrólisis microbiana (MEC), para su posterior evaluación.

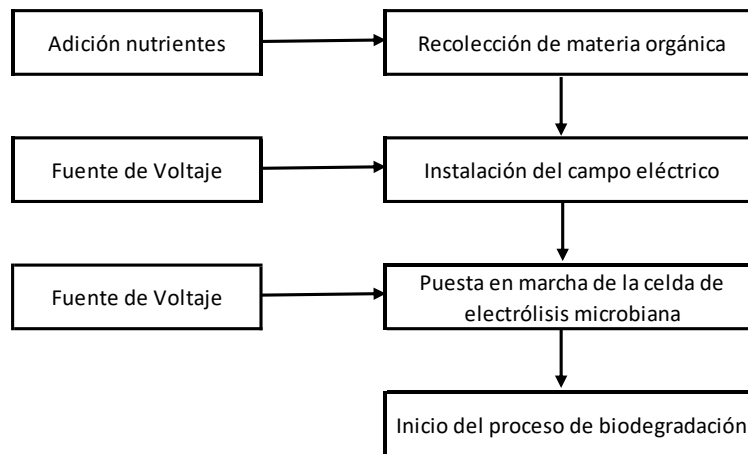


Figura 3.10 Flujograma MEC

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

3.7.2 Preparación de los Electrodo para la MEC

Los electrodos de grafito fueron maquinados en una carpintería y las dimensiones de las placas son:

- Ancho: 7 cm
- Largo: 9 cm
- Espesor: 1 cm

El área total de los 12 electrodos de grafito maquinados es de 756 cm².

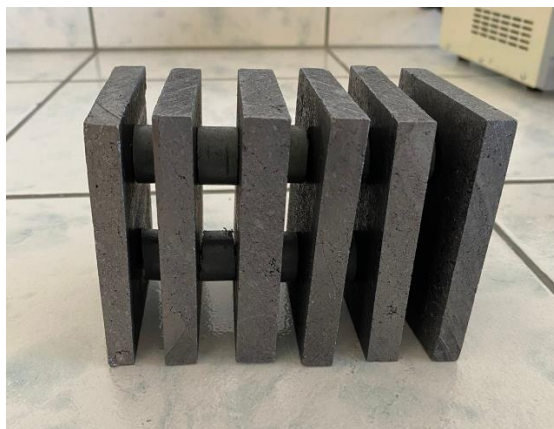


Figura 3.11 Electrodo de Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

3.8 Diseño Experimental

3.8.1 Celda de Electrólisis Microbiana (MEC)

Durante un período de 3 semanas (21 días) se evaluaron y monitorearon las variables bioelectroquímicas de la celda de electrólisis microbiana (MEC) como son: resistencia, sólidos totales, salinidad y conductividad a un voltaje constante de 0.56 V en los 2 sistemas bioelectroquímicos con y sin melaza, con una frecuencia de toma de datos de 1 vez al día.

Tabla 3.14 Frecuencia de toma de Datos de la Celda de Electrólisis Microbiana (MEC)

Tiempo	Frecuencia	Descripción
Semana 1	1 vez al día	Resistencia, TDS, Salinidad, Conductancia, Temperatura, pH
Semana 2	1 vez al día	Resistencia, TDS, Salinidad, Conductancia, Temperatura, pH
Semana 3	1 vez al día	Resistencia, TDS, Salinidad, Conductancia, Temperatura, pH

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 3.12 Sistema Bioelectroquímico "Melaza y Sin Melaza"

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

3.8.2 Prueba de Voltametría Cíclica

La toma de muestras y las pruebas de Voltametría Cíclica (CV) se realizó de acuerdo a la descripción de la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Frecuencia de Toma de Muestras y Pruebas de Voltametría Cíclica

Muestra	Tiempo	Sistema	Electrodo Trabajo	Descripción
1A	0 Días	Sin melaza	Grafito	Voltametría Cíclica
			Plata	Voltametría Cíclica
1B	0 Días	Melaza	Grafito	Voltametría Cíclica
			Plata	Voltametría Cíclica
2A	3 Días	Sin melaza	Grafito	Voltametría Cíclica
			Plata	Voltametría Cíclica
2B	3 Días	Melaza	Grafito	Voltametría Cíclica
			Plata	Voltametría Cíclica
3A	9 Días	Sin melaza	Grafito	Voltametría Cíclica
			Plata	Voltametría Cíclica
3B	9 Días	Melaza	Grafito	Voltametría Cíclica
			Plata	Voltametría Cíclica
4A	15 Días	Sin melaza	Grafito	Voltametría Cíclica
			Plata	Voltametría Cíclica
4B	15 Días	Melaza	Grafito	Voltametría Cíclica
			Plata	Voltametría Cíclica
5A	21 Días	Sin melaza	Grafito	Voltametría Cíclica
			Plata	Voltametría Cíclica
5B	21 Días	Melaza	Grafito	Voltametría Cíclica

4 RESULTADOS

4.1 Punto de Ebullición Mezcla Crudo-Aceite

La tabla 4.1 muestra los resultados de la medición del punto de ebullición (°C) en la mezcla crudo-aceite.

Tabla 4.1 Punto de Ebullición de la Mezcla Crudo-Aceite

Crudo Pungarayacu (gr)	Aceite vegetal (ml)	Punto de Ebullición (°C)
50	50	67
50	100	69
50	150	73
50	200	79
50	250	83

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Como se observa en la figura 4.1 tenemos un aumento exponencial en la tendencia del punto de ebullición, este incrementa debido a que el volumen de la concentración de la mezcla Crudo-Aceite es mayor.

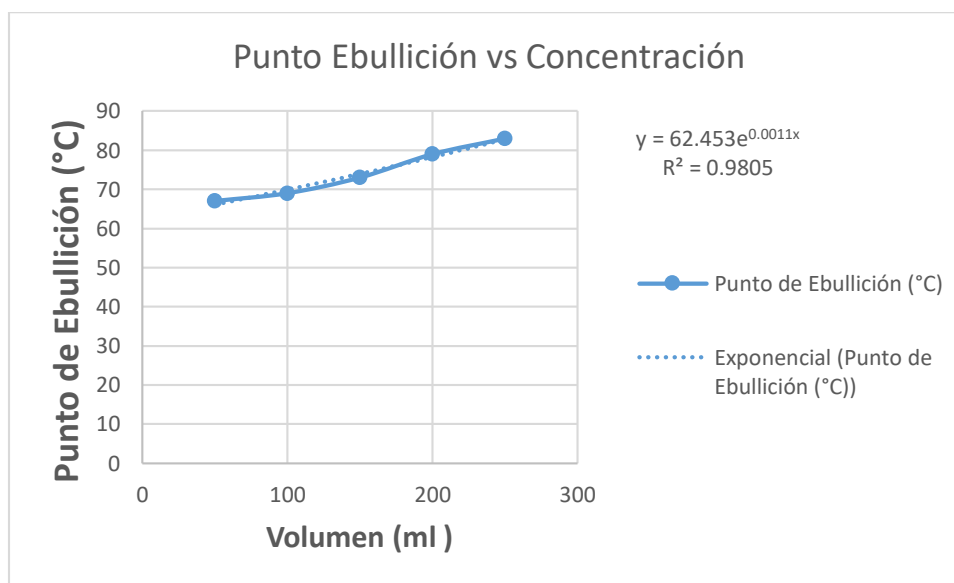


Figura 4.1 Punto de Ebullición de la Mezcla Crudo-Aceite

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

4.2 Pruebas de Viscosidad Mezcla Crudo-Aceite

Previo varias pruebas realizadas, se determinó que la mejor viscosidad con una tendencia a estabilizarse, se da con surfactante Tween 80 a diferencia del AGE, por lo que queda descartado, como se observa en las tablas 4.2 y 4.3.

Tabla 4.2 %Tween 80 y Pruebas de Viscosidad en la Mezcla Crudo-Aceite

Mezcla (gr)	Prueba 1			Prueba 2		Prueba 3
	Tween 80 (gr)	Tween 80 %	Viscosidad (cp)	Tween 80 %	Viscosidad (cp)	Viscosidad (cp)
25	0.07	0.25	123	0.24	152.5	152
25	0.11	0.43	113.5	0.43	152.3	151.8
25	0.15	0.59	119.5	0.635	152	151.5
25	0.18	0.7	113	0.832	145	144.5
25	0.25	0.98	115.5	1.08	147	147.5

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Tabla 4.3 %AGE y Pruebas de Viscosidad en la Mezcla Crudo-Aceite

Mezcla	AGE (gr)	%AGE	Viscosidad (cp)
25 gr	0.06	0.23	121.5
25 gr	0.12	0.47	126
25 gr	0.15	0.59	139.5
25 gr	0.22	0.87	149
25 gr	0.26	1.035	137

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Al comparar los valores de viscosidad obtenidas con Tween 80 y AGE se concluye que el surfactante más adecuado para preparar las emulsiones es el Tween 80, ya que a diferentes concentraciones en la misma muestra base presenta resultados proporcionales cómo podemos observar en la figura 4.2; donde la prueba 1 y 2 que corresponden a las muestras con Tween 80 presentan valores similares y no se observan picos tan dispersos como ocurre con la muestra de AGE.

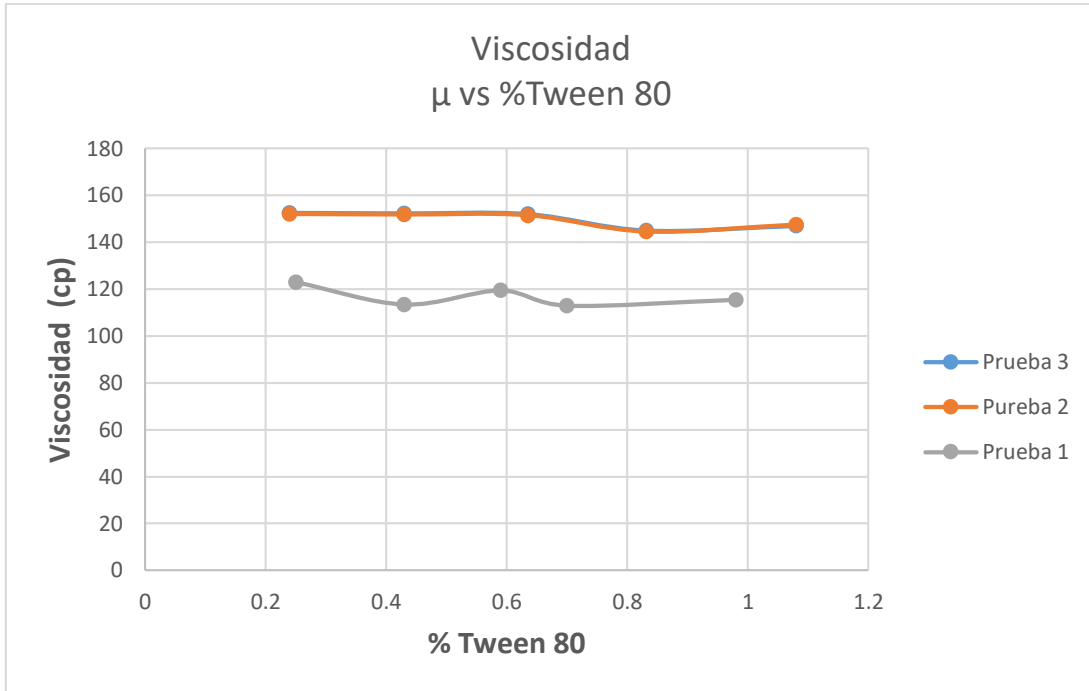


Figura 4.2 Gráfica Viscosidad vs %Tween 80

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Cálculo de la gravedad específica del petróleo GE

$$GE = \frac{141.5}{\text{°API} + 131.5} \tag{4}$$

El °API del crudo de Pungarayacu es 8

$$GE = \frac{141.5}{8 + 131.5}$$

Por lo tanto:

$$GE = 1.01434 \frac{g}{cm^3}$$

Una vez determinada la GE del crudo, se procedió a la preparación de las emulsiones especificadas anteriormente.

4.3 Cálculo de los gramos de Tween 80 para formar la emulsión crudo/aceite

$$\% Tween\ 80 = \frac{Masa\ Tween\ 80}{Masa\ Agua + Masa\ Crudo/Aceite + Masa\ Tween\ 80} \times 100 \quad (5)$$

$$10\% = \frac{\chi}{200 + 7.5 + \chi} \times 100$$

$$0.1(200 + 7.5 + \chi) = \chi$$

$$20 + 0.75 + 0.1\chi = \chi$$

$$\chi = 23.055$$

Las cantidades respectivas calculadas se encuentran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 %Tween 80 y Viscosidad de las Emulsiones Con Y Sin Melaza

Agua + Minerales (ml)	Crudo/Aceite (gr)	Tween 80	Tween 80 (%)	Muestra sin Melaza	Muestra con Melaza
				Viscosidad (cp)	Viscosidad (cp)
200	7.5	23.055	10	3.109	4.465
200	7.5	25.93	12.5	4.241	5.393
200	7.5	31.125	15	5.54	7.161
200	7.5	36.31	17.5	6.601	7.554
200	7.5	41.5	20	6.984	8.327

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

En la tabla 4.4 se observa que existe una relación directamente proporcional entre el porcentaje de Tween 80 y la viscosidad; a medida que incrementa el porcentaje de Tween 80 añadido a la muestra con melaza y sin melaza su viscosidad aumenta como podemos observar en la figura 4.3.

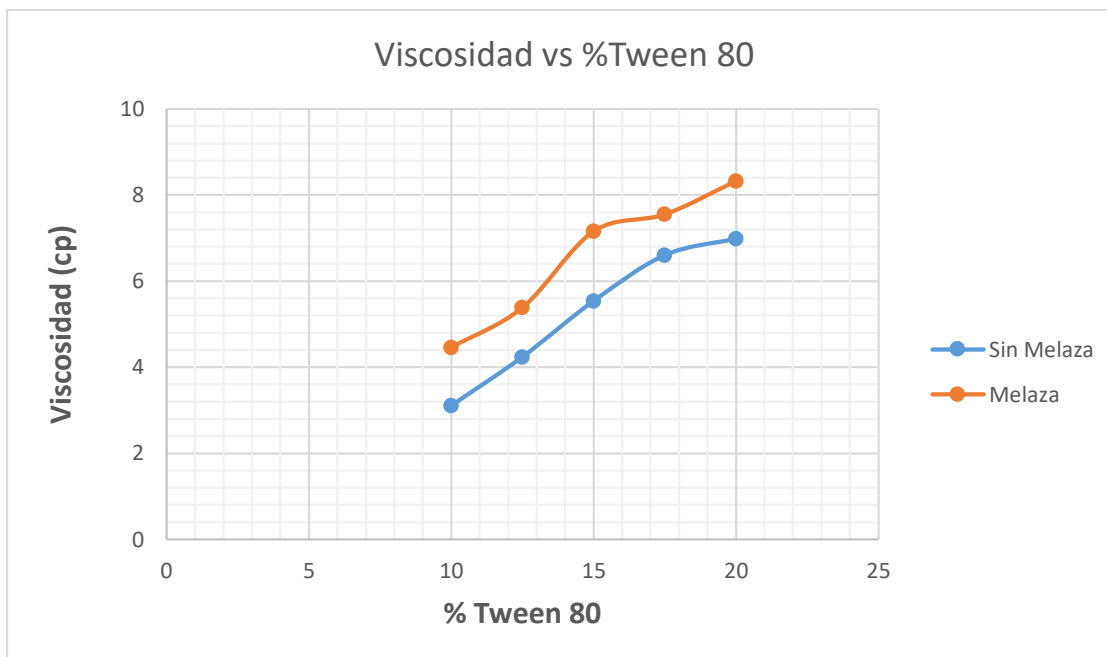


Figura 4.3 Gráfica Viscosidad vs %Tween 80 con y sin Melaza

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

4.4 Pruebas de Voltametría Cíclica

Para el ensayo voltamétrico se evaluaron los escenarios propuestos, escenario A (sin melaza) y escenario B (con melaza) y con las diferentes configuraciones de electrodos establecidas Plata-Grafito y Plata - Plata.

Tabla 4.5 Resumen de Resultados de Voltametría Cíclica

Muestra	Tiempo	Sistema	Electrodo Trabajo	Resultado
1A	0 Días	Sin melaza	Grafito	Negativo
			Plata	Negativo
1B	0 Días	Melaza	Grafito	Negativo
			Plata	Negativo
2A	3 Días	Sin melaza	Grafito	Negativo
			Plata	Positivo
2B	3 Días	Melaza	Grafito	Negativo
			Plata	Negativo
3A	9 Días	Sin melaza	Grafito	Negativo
			Plata	Positivo
3B	9 Días	Melaza	Grafito	Negativo
			Plata	Negativo

4A	15 Días	Sin melaza	Grafito	Negativo
			Plata	Positivo
4B	15 Días	Melaza	Grafito	Negativo
			Plata	Negativo
5A	21 Días	Sin melaza	Grafito	Negativo
			Plata	Positivo
5B	21 Días	Melaza	Grafito	Negativo
			Plata	Negativo

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

En la tabla 4.5 se muestran los resultados de las pruebas de voltametría realizadas en los escenarios: A (sin melaza) y escenario B (melaza) con las diferentes configuraciones de electrodos plata-grafito y plata-plata, durante 21 días. Se realizaron 5 pruebas a los 0, 3, 9, 15 y 21 días, obteniéndose así 4 pruebas positivas en el sistema A sin melaza configuración plata-plata a los 3, 9, 15 y 21 días, el resultado de las pruebas se muestra en el anexo IV.

4.4.1 Análisis Cualitativo:

A continuación, se presenta la recopilación de los voltagramas de la voltametría cíclica del Escenario A, sin melaza, configuración de electrodos Plata-Grafito:

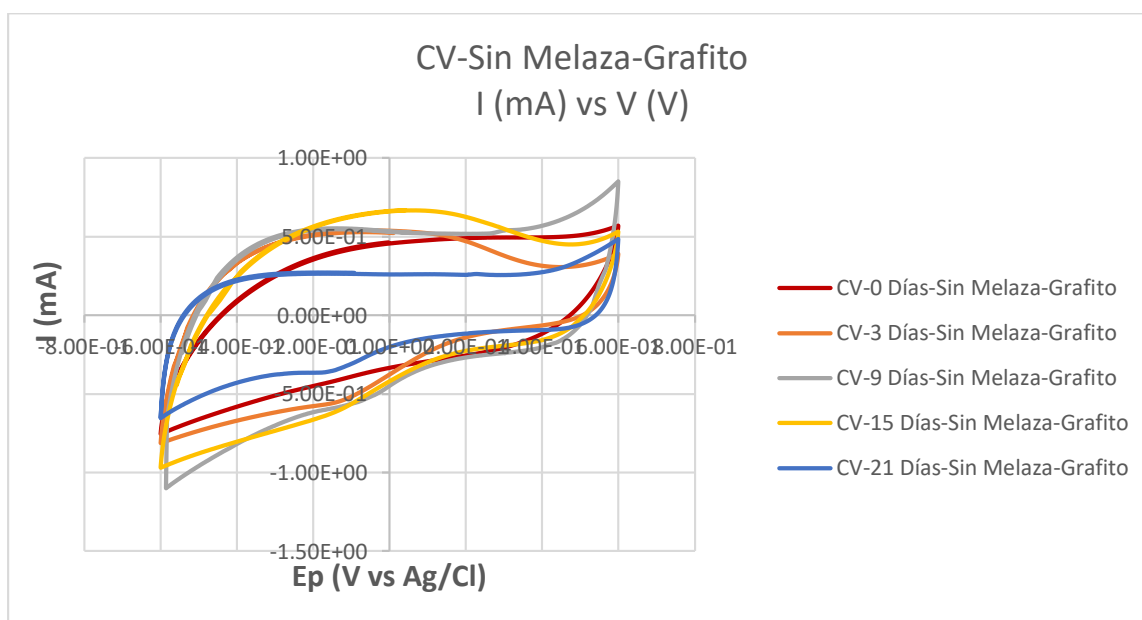


Figura 4.4 Voltagrama Sistema Sin Melaza-Electrodos Plata-Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

En la figura 4.4 se verifica en el tiempo que no existe cambios en los voltamperogramas o variaciones de potencial sobre los electrodos de trabajo dando como resultado una señal asigmoidal, la interpretación en las curvas de intensidad de corriente y diferencial de potencial resultantes determina que no existe proceso de reducción u oxidación química en el sistema. Las curvas obtenidas a los 0, 3, 9, 15 y 21 días tienen la misma tendencia la cual refleja solamente flujo de electrones propios del agua como fluido base.

A continuación, se presenta la recopilación de las voltagramas de voltametría cíclica del Escenario A, sin melaza, configuración de electrodos Plata-Plata.

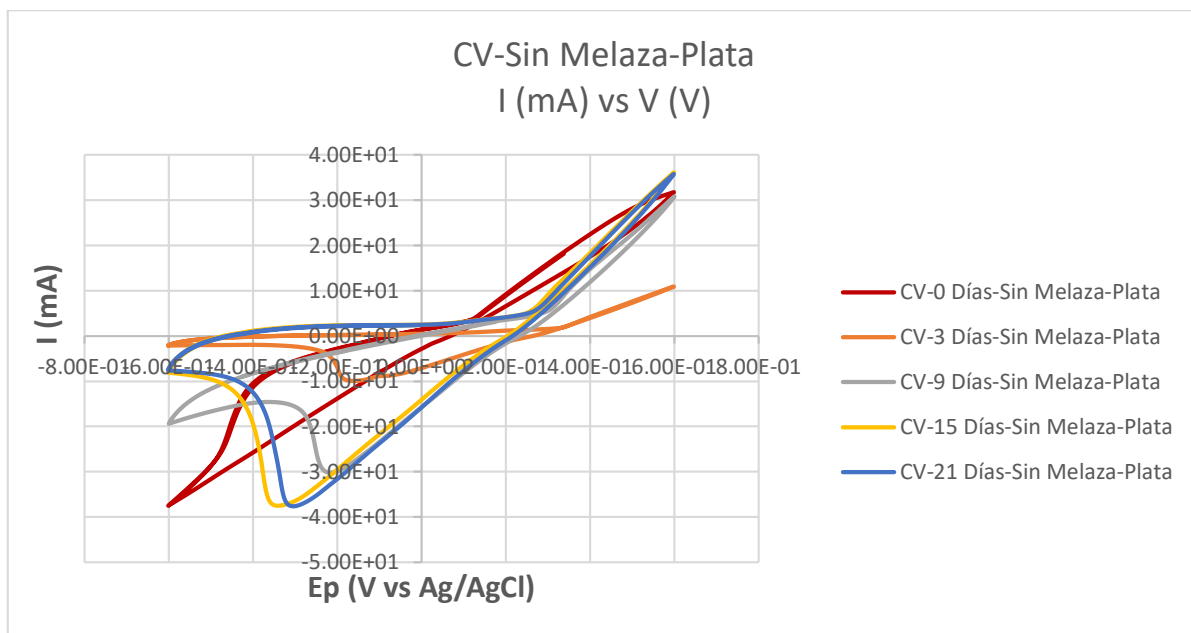


Figura 4.5 Voltagrama Sistema Sin Melaza-Electrodos Plata-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

La técnica de voltametría cíclica permitió observar el incremento de la actividad bioelectroquímica por parte de los microorganismos presentes en el sistema. En la figura 4.5 se presentan los voltamperogramas de las pruebas de voltametría cíclicas realizadas en varias etapas del proceso de biorremediación en el sistema A sin melaza configuración plata-plata de la celda de electrólisis microbiana.

A los 0 días se observa la (curva roja) en el voltamperograma en el sistema Sin Melaza- Plata que no existe ninguna reacción redox en el sistema, únicamente la presencia del flujo de electrones de la línea base propia del agua.

A los 3 días (curva naranja) de forma sigmoïdal, indica la presencia de un pico de reducción (catódico) ubicado a -0.164 V y una intensidad de corriente (altura de pico) de 7.250 mA , determinando la existencia de una reacción redox en un sistema directo o irreversible es decir que no existe un mediador que favorezca las reacciones redox reversibles; no se observa la presencia de picos anódicos debido a que no existe un proceso de oxidación.

Se realizaron 3 pruebas más de voltametría en el transcurso de 9, 15 y 21 días para poder monitorear el comportamiento de la biopelícula. Las gráficas demuestran que la corriente eléctrica va incrementando con el pasar del tiempo, debido principalmente a la actividad de los microorganismos. Así es como a los 9 días (curva gris), 15 días (curva amarilla) y 21 días (curva azul) podemos observar como la altura del pico catódico sigue aumentando en los puntos: -0.213 V , -0.346 V y -0.304 V , respectivamente.

A continuación, se presenta la recopilación de los voltagramas de voltametría cíclica del Escenario B, melaza, configuración de electrodos Plata-Grafito:

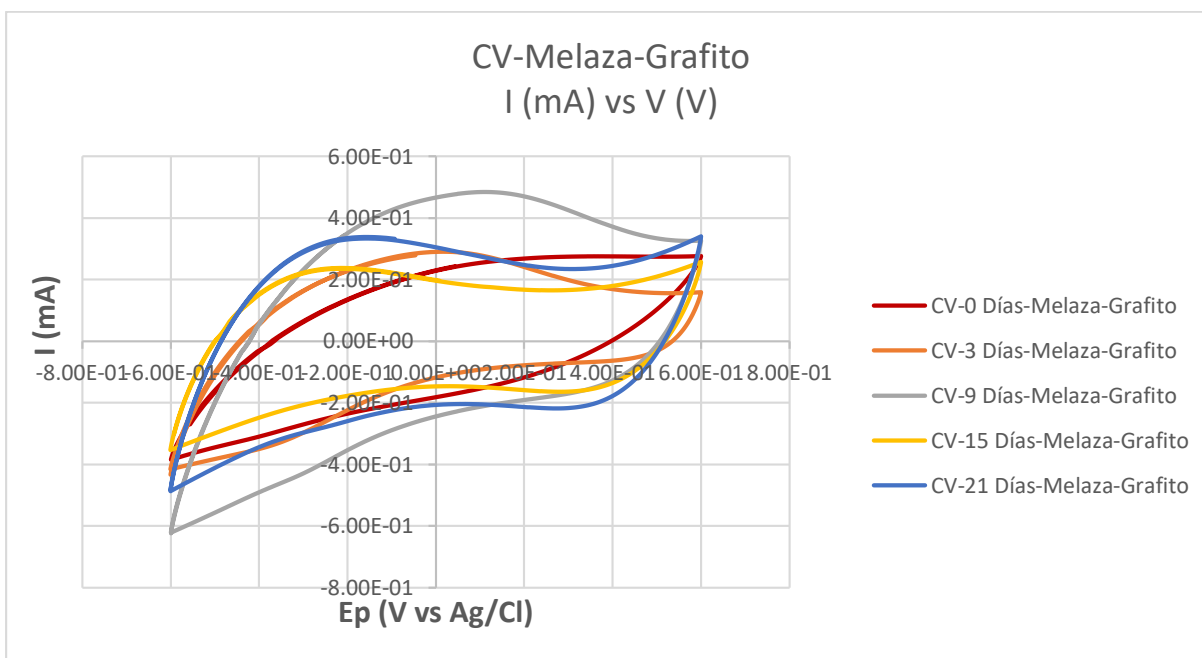


Figura 4.6 Voltagrama Sistema Melaza-Electrodos Plata-Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

En la figura 4.6 se verifica en el tiempo que no existe cambio en los voltamperogramas o variaciones de potencial sobre los electrodos de trabajo dando como resultado una señal asigmoïdal, la interpretación en las curvas de intensidad de corriente y diferencial de potencial

resultantes determina que no existe proceso de reducción u oxidación química en el sistema. Las curvas obtenidas a los 0, 3, 9, 15 y 21 días tienen la misma tendencia la cual refleja solamente flujo de electrones propios del agua como fluido base.

A continuación, se presenta la recopilación de los voltagramas de voltametría cíclica del Escenario B, melaza, configuración de electrodos Plata-Plata:

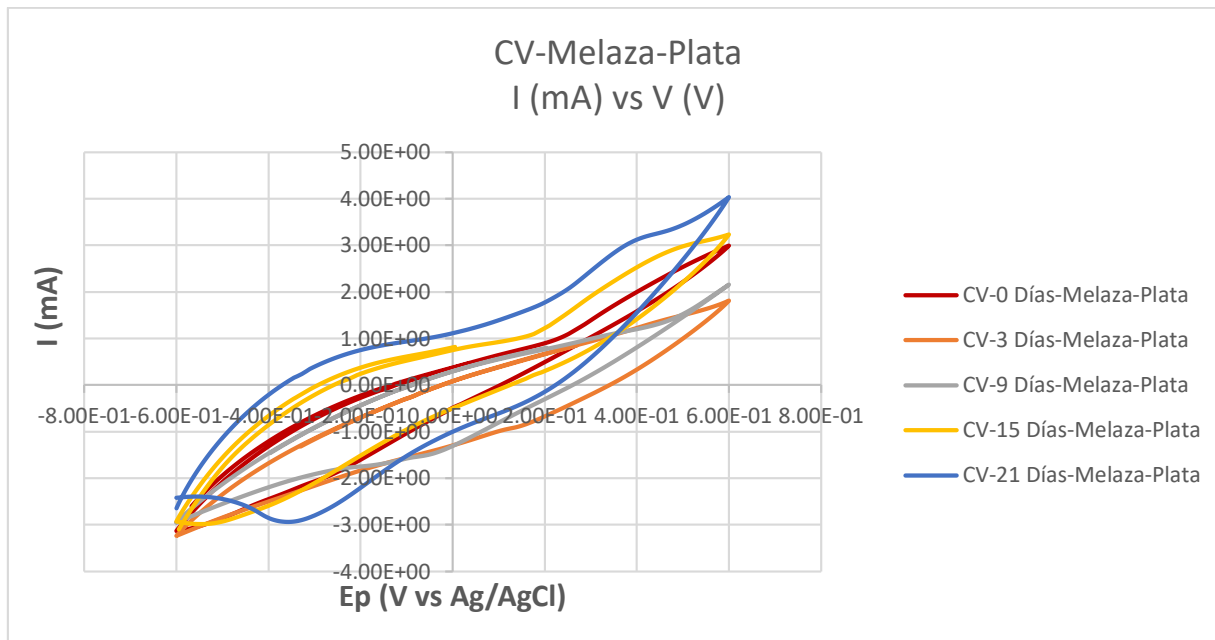


Figura 4.7 Voltagrama Sistema Melaza-Electrodos Plata-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

En la figura 4.7 se verifica en el tiempo que no existe cambio en los voltamperogramas o variaciones de potencial sobre los electrodos de trabajo dando como resultado una señal asigmoidal, la interpretación en las curvas de intensidad de corriente y diferencial de potencial resultantes determina que no existe proceso de reducción u oxidación química en el sistema. Las curvas obtenidas a los 0, 3, 9, 15 y 21 días tienen la misma tendencia la cual refleja solamente flujo de electrones propios del agua como fluido base.

Tabla 4.6 Parámetros del Pico Catódico Obtenido en la Voltametría Cíclica

Sistema A- Sin Melaza-Plata-Plata						
Parámetros del Pico						
Días	Muestra	Posición (V)	Altura (mA)	Ancho (V)	Diferencia Altura (mA)	Diferencia (%)
0	1A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	2A	-0.164	7.250	0.219	7.250	16.115
9	3A	-0.213	16.610	0.189	9.360	20.805
15	4A	-0.346	26.110	0.222	16.750	37.230
21	5A	-0.304	28.380	0.248	11.630	25.850
Total			78.350	0.878	44.990	100.000
Promedio			15.670			

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

En la tabla 4.6 se presentan los resultados de posición, intensidad de corriente (altura) y ancho de los diferentes picos de reducción obtenidos en la prueba de voltametría cíclica de las muestras del sistema A sin melaza y configuración de electrodos plata-plata, en las pruebas positivas a los 3, 9, 15 y 21 días, la intensidad de corriente (altura del pico) va incrementando a medida que transcurren los días en la celda de electrolisis microbiana, el incremento tiene un comportamiento polinomial en el tiempo como resultado del aumento del potencial y la actividad microbiana.

4.5 Evaluación de la Celda de Electrólisis Microbiana

En la siguiente tabla 4.7 se presentan los parámetros de evaluación de la MEC 1

Tabla 4.7 Parámetros de Evaluación de la Celda 1

Semana	Celda	# Medición	T (°C)	P(kΩ*cm)	TDS (mg/l)	Salinidad	μ (us/cm)	pH
1	1 Sistema sin Melaza	1	19	0.1	10.1	9	10	7.62
		2	19.1	0.1	10	8.88	9.87	7.6
		3	19.2	0.1	9.8	8.51	9.6	7.61
		4	19.2	0.11	9.5	8.4	9.4	7.63
		5	19.4	0.1	9.48	7	9.3	7.63
2		1	17	0.051	19.58	16	19.5	7.57
		2	16.9	0.052	19.3	15.55	18.9	7.6
		3	16.9	0.052	18.7	15.7	18.8	7.57
		4	16.8	0.054	18.6	14.5	18.4	7.61
		5	17.2	0.051	17.2	13	18.3	7.46
3		1	19.2	0.036	29	21.6	28.1	7.4

		2	18.5	0.036	27.8	20	27.9	7.42
		3	18.4	0.036	27.6	19.9	27.5	7.44
		4	18.6	0.036	26	18.5	27.4	7.4
		5	16.2	0.042	24	18.6	24	7.5

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023); (Alvarez, 2023)

En la siguiente tabla 4.8 se presentan los parámetros de evaluación de la MEC 2

Tabla 4.8 Parámetros de Evaluación de la Celda 2

Semana	Celda	# Medición	T (°C)	P(kΩ*cm)	TDS (mg/l)	Salinidad	μ (us/cm)	pH
1	2 Sistema con Melaza	1	19.2	0.1	9.94	5.6	9.95	5.15
		2	19	0.11	9.01	4.6	9.012	5.3
		3	18.8	0.17	8.8	3.1	8.4	5.33
		4	18.7	0.18	8.6	2.9	7.21	5.4
		5	18.5	0.19	8.5	2.5	6.5	6
2		1	17.2	0.07	14.17	8.1	14.17	5.7
		2	17.1	0.06	13.5	8	13.1	5.9
		3	17	0.07	13.1	7.5	12.9	6
		4	18	0.07	12.8	7.2	12.8	6.23
		5	18.1	0.07	12.6	6.4	12.7	6.23
3		1	19.2	0.05	22.54	12	22.5	6.5
		2	19.1	0.04	22	11.8	22.2	6.8
		3	19	0.04	21.5	11.5	21.7	6.9
		4	19.1	0.04	20.5	11	20.3	7
		5	18.9	0.05	20.1	10.8	19	6.89

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023); (Alvarez, 2023)

Ejemplo de cálculo para el parámetro de Sólidos Totales TDS

Para el ejemplo de cálculo se tomaron los datos del parámetro de prueba Sólidos totales disueltos (TDS) del monitoreo de las 2 celdas de electrólisis microbiana durante 3 semanas revisar las tablas 4.7 y 4.8.

Para el tratamiento de datos se utilizó el método estadístico Prueba “t” de student para el análisis de varianzas desiguales.

Establecemos las hipótesis de trabajo:

Hipótesis Nula

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Hipótesis Alternativa

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Definimos el tamaño muestral de la población

$$n_1 = 15$$

$$n_2 = 15$$

Varianzas de las muestras:

$$S_{c1}^2 = 28.646$$

$$S_{c2}^2 = 53.601$$

Varianza común:

$$S_c^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (6)$$

$$S_c^2 = \frac{(15 - 1)(28.646) + (15 - 1)(53.601)}{15 + 15 - 2}$$

$$S_c^2 = 41.124$$

Medias Muestrales

$$X_1 = \frac{9.94 + 9.01 + 8.8 + 8.6 + 8.5 + 14.17 + 13.5 + 13.1 + \dots + 22 + 21.5 + 20.5 + 20.1}{15}$$

$$\mathbf{X}_1 = 14.511$$

$$\mathbf{X}_2 = \frac{10.1 + 10 + 9.8 + 9.5 + 9.48 + 19.58 + 19.3 + 18,7 + 18.6 + 17.2 + 29 + 27.8 + 27.6}{15}$$

$$\mathbf{X}_2 = 18.444$$

Estadístico de Prueba:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}} \quad (7)$$

Donde:

$n_1 =$ Población Celda 1

$n_2 =$ Población Celda 2

$\bar{X}_1 =$ Media muestral de la celda 1

$\bar{X}_2 =$ Media muestral de la celda 2

$S_c^2 =$ Varianza común

$t =$ Estadístico "t" calculado

$$t = \frac{14.511 - 18.444}{\sqrt{\frac{41.124}{15} + \frac{41.124}{15}}}$$

$$t = 1.533$$

Grados de Libertad:

$$gl = (n_1 + n_2 - 2) \quad (8)$$

$$gl = 15 + 15 - 2$$

$$gl = 28$$

Nivel de Significancia:

$$\alpha = 0.05$$

Valor Crítico de t (dos colas):

$$t_{(1-\frac{\alpha}{2}), (n_1+n_2-2)} = 2.131 \quad (9)$$

P (T ≤ t) dos colas

$$p - \text{valor} = 2.681E - 07 \quad (10)$$

Tabla 4.9 Prueba "t" para Sólidos Totales TDS

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales	TDS (mg/l)	TDS (mg/l)
Media	14.511	18.444
Varianza	28.647	53.601
Observaciones	15.000	15.000
Diferencia hipotética de las medias	0.000	
Grados de libertad	26.000	
Estadístico t	-1.680	
P(T<=t) una cola	0.052	
Valor crítico de t (una cola)	1.706	
P(T<=t) dos colas	0.105	
Valor crítico de t (dos colas)	2.056	

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Interpretación del método:

Si: $P > \alpha$ Se acepta la **Hipótesis Nula**.

Si: $0.105 > 0.05$

Por lo tanto, se acepta la **Hipótesis Nula**.

Se concluye que la Hipótesis Nula es aceptada, por lo tanto, no existe una variación significativa en los resultados, es decir que todos los datos del parámetro evaluado guardan cierta igualdad de acuerdo al nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Es importante mencionar que, a pesar de aceptar la Hipótesis nula, se evidencia un aumento notorio en los TDS de la celda 1 y 2, lo que podría significar una disolución de los electrodos de grafito presentes en la MEC, haciendo que los restos precipiten en el fondo de la celda.

Tabla 4.10 Prueba "t" para Temperatura

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales	$T (^{\circ}\text{C})$	$T (^{\circ}\text{C})$
Media	18.460	18.107
Varianza	0.627	1.274
Observaciones	15.000	15.000
Diferencia hipotética de las medias	0.000	
Grados de libertad	25.000	
Estadístico t	0.993	
P(T<=t) una cola	0.165	
Valor crítico de t (una cola)	1.708	
P(T<=t) dos colas	0.330	
Valor crítico de t (dos colas)	2.060	

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Interpretación del método:

Si: $P > \alpha$ Se acepta la **Hipótesis Nula**.

Si: $0.330 > 0.05$

Por lo tanto, se acepta la **Hipótesis Nula**.

Se concluye que la Hipótesis Nula es aceptada, por lo tanto, no existe una variación significativa en los resultados, es decir que todos los datos del parámetro evaluado guardan cierta igualdad de acuerdo al nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Lo que significa que la temperatura es constante en el tiempo en las pruebas realizadas durante 3 semanas en las celdas (MEC).

Tabla 4.11 Prueba "t" para Resistividad Eléctrica

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales	$P(\text{k}\Omega\cdot\text{cm})$	$P(\text{k}\Omega\cdot\text{cm})$
Media	0.087	0.064
Varianza	0.003	0.001
Observaciones	15.000	15.000
Diferencia hipotética de las medias	0.000	

Grados de libertad	22.000	
Estadístico t	1.533	
P(T<=t) una cola	0.070	
Valor crítico de t (una cola)	1.717	
P(T<=t) dos colas	0.139	
Valor crítico de t (dos colas)	2.074	

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Interpretación del método:

Si: $P > \alpha$ Se acepta la **Hipótesis Nula**.

Si: $0.139 > 0.05$

Por lo tanto, se acepta la **Hipótesis Nula**.

Se concluye que la Hipótesis Nula es aceptada, por lo tanto, no existe una variación significativa en los resultados, es decir que todos los datos del parámetro evaluado guardan cierta igualdad de acuerdo al nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Lo que significa que la resistividad eléctrica en las pruebas realizadas durante 3 semanas en las celdas (MEC) no presentan una alteración relevante en los resultados.

Tabla 4.12 Prueba "t" para Salinidad

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales	Salinidad	Salinidad
Media	7.533	14.343
Varianza	11.237	24.320
Observaciones	15.000	15.000
Diferencia hipotética de las medias	0.000	
Grados de libertad	25.000	
Estadístico t	-4.423	
P(T<=t) una cola	0.000	
Valor crítico de t (una cola)	1.708	
P(T<=t) dos colas	0.000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.060	

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Interpretación del método:

Si: $P < \alpha$ Se rechaza la **Hipótesis Nula** y se acepta la **Hipótesis Alternativa**.

Si: $0.000 < 0.05$

Por lo tanto, se acepta la **Hipótesis Alternativa**

Se concluye que la Hipótesis Nula es rechazada y se acepta la hipótesis alterna, por lo tanto, existe una variación significativa en los resultados, es decir que todos los datos del parámetro evaluado no guardan una igualdad de acuerdo al nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Lo que significa que la salinidad en las pruebas realizadas durante 3 semanas en las celdas (MEC) presentan una alteración relevante en los resultados, hecho que está ligado al aumento de los TDS.

Tabla 4.13 Prueba "t" para Conductividad

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales	μ (us/cm)	μ (us/cm)
Media	14.163	18.465
HiVarianza	31.661	54.689
Observaciones	15.000	15.000
Diferencia hipotética de las medias	0.000	
Grados de libertad	26.000	
Estadístico t	-1.793	
P(T<=t) una cola	0.042	
Valor crítico de t (una cola)	1.706	
P(T<=t) dos colas	0.085	
Valor crítico de t (dos colas)	2.056	

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Interpretación del método:

Si: $P > \alpha$ Se acepta la **Hipótesis Nula**.

Si: $0.085 > 0.05$

Por lo tanto, se acepta la **Hipótesis Nula**.

Se concluye que la Hipótesis Nula es aceptada, por lo tanto, no existe una variación significativa en los resultados, es decir que todos los datos del parámetro evaluado guardan cierta igualdad de acuerdo al nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Lo que significa que la conductividad en las pruebas realizadas durante 3 semanas en las celdas (MEC) no presentan una alteración relevante en los resultados.

Tabla 4.14 Prueba "t" para pH

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales	<i>pH</i>	<i>pH</i>
Media	6.089	7.537
Varianza	0.400	0.008
Observaciones	15.000	15.000
Diferencia hipotética de las medias	0.000	
Grados de libertad	15.000	
Estadístico t	-8.782	
P(T<=t) una cola	0.000	
Valor crítico de t (una cola)	1.753	
P(T<=t) dos colas	2.680E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2.131	

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

Interpretación del método:

Si: $P < \alpha$ Se rechaza la **Hipótesis Nula** y se acepta la **Hipótesis Alternativa**.

Si: $2.680E-07 < 0.05$

Por lo tanto, se acepta la **Hipótesis Alternativa**

Se concluye que la Hipótesis Nula es rechazada y se acepta la hipótesis alternativa, por lo tanto, existe una variación significativa en los resultados, es decir que todos los datos del parámetro evaluado no guardan una igualdad de acuerdo al nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Lo que significa que el pH en las pruebas realizadas durante 3 semanas en las celdas (MEC) presentan una alteración relevante en los resultados.

5 CONCLUSIONES

- Se determinó que el surfactante más adecuado para la preparación de las emulsiones es el Tween 80, ya que tiene una mayor afinidad y demostró una mejor capacidad de emulsión con la muestra problema, además de que los valores de la viscosidad se encuentran ligeramente dispersos a diferencia del ácido graso epólixado (AGE).
- La formulación de las emulsiones con crudo pesado y la determinación de su número HBL óptimo permiten establecer un sistema para el desarrollo de la actividad microbiana favoreciendo el proceso de bioremediación ambiental.
- Existe un incremento exponencial entre el punto de ebullición y el volumen de la mezcla crudo-aceite, con un $R^2=0.9805$.
- Se determinó que al 15% de concentración de Tween 80 encontramos el punto de concentración micelar crítica, ya que en este punto se observa cambios en la viscosidad de la mezcla crudo-aceite.
- Los voltamperogramas de los sistemas con y sin melaza en ausencia de bacterias, no reflejan ningún pico de alguna reacción redox presente, debido a que las muestras no tienen la presencia de los microorganismos que puedan reaccionar con su entorno, es por este motivo que son el blanco del ensayo.
- El sistema A (sin melaza) configuración plata-plata, presento resultados positivos en la prueba de voltametría cíclica, evidenciando la presencia del pico de reducción en las pruebas realizadas a diferentes días, a medida que aumentan los días en la celda de electrólisis microbiana la altura del pico catódico incrementa.
- Se evidenció que la melaza no es un buen sustrato para los microorganismos presentes en el sistema, ya que la evaluación voltamétrica como la evaluación de los parámetros de la celda de electrólisis microbiana, arrojaron mejores resultados en la celda 1 sin melaza en comparación con la celda 2 con melaza, demostrando que el crudo es un mejor sustrato.
- Los picos de reducción incrementan con el tiempo se encuentran en los puntos -0.164 V con una intensidad de corriente (altura de pico) 7.250 mA, el siguiente pico ubicado en -0.213 V y con una intensidad de corriente de 16.610 mA, el siguiente pico ubicado a

-0.346 V y con una intensidad de corriente de 26.110 mA, y el último pico ubicado a -0.304 V y una intensidad de corriente de 78.350 mA.

- No se obtuvo un pico anódico en el voltamperograma debido a que los microorganismos no colonizaron el electrodo de trabajo (grafito) para el proceso redox de oxidación.
- Los resultados obtenidos de la evaluación del funcionamiento de las variables bioelectroquímicas de las celdas de electrolisis microbianas demostraron que no existe una variación significativa en el conjunto de datos analizado y que guardan cierta similitud con el grado de significancia α .
- El resultado obtenido de las variables bioelectroquímicas Salinidad y pH de las celdas de electrolisis microbianas demostraron que existe una variación significativa en el conjunto de datos analizado y que no guardan similitud con el grado de significancia α .

6 RECOMENDACIONES

- Establecer una transferencia de flujo de electrones homogénea, a una velocidad constante de barrido y evitar contaminar el sistema con cualquier impureza para obtener mejores resultados en los voltamperogramas.
- Estandarizar el uso de procedimientos con emulsiones de crudo pesado, potencializando la biodegradación de estos tipos de hidrocarburos y facilitar la interacción con los microorganismos.
- Expandir el rango de potencial del electrodo establecido y en períodos de aclimatización más largos en la celda de electrolisis microbiana.
- Utilizar técnicas electro analíticas alternativas como la voltamperometría de onda cuadrada que permite amplificar la respuesta de la corriente farádica.
- Emplear un enfoque combinado de técnicas electroquímicas como la voltametría de onda cuadrada con métodos espectroscópicos y modelos matemáticos y biológicos para futuras proyectos de investigación.
- Utilizar minas de grafito de mayor diámetro, para que tenga mejor contacto con el área de estudio y poder asegurar una prueba eficiente y confiable en su repetitividad.
- Preparar las emulsiones con otra variedad de emulsificantes disponibles en el mercado para obtener un mayor grado de emulsión entre la muestra de petróleo con el resto de aditivos.
- Se sugiere incrementar la frecuencia de toma de datos de la (MEC), a dos veces por día para reducir el nivel de dispersión de los datos.
- Se sugiere utilizar frascos y recipientes de vidrio para el almacenamiento y manejo de las muestras de crudo y emulsiones para evitar la contaminación del sistema.
- Se sugiere continuar con la investigación a futuro y poder identificar específicamente el tipo de bacterias electrófilas generadoras del proceso de bioremedación.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, J., Pucci, G., Tonín, N., Wick, L., & Pucci, O. (8 de 2016). *Electrobiorremediación. Una tecnología en desarrollo para la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos*. Obtenido de <http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/tratamientorep/wp-content/uploads/2016/08/Electrobiorremediaci%C3%B3n-2009-AIDIS.pdf>
- Alvarez, E. (2023).
- Amunárriz, M. (2004). *Informe YANA CURI Impacto de la actividad petrolera en la salud de poblaciones rurales de la Amazonía Ecuatoriana*. Coca: CICAME.
- Andrango, C., & Castro, D. (12 de Julio de 2009). "ESTUDIO DE RECUPERACION DE CRUDOS PESADOS EN EL CAMPO PUNGARAYACU MEDIANTE INYECCION DE VAPOR". Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1786/1/CD-2378.pdf>
- Baeza, A., & García, A. (Julio de 2011). *Principios de Electroquímica Analítica*. Obtenido de UNAM: https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/5792/mod_resource/content/0/DOC_APOY_FUNDAMENTOS_ELECTROANALITICA_2011_16333.pdf
- Barba, S. (2018). *ELECTRO-BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PESTICIDAS*. Castilla: Universidad de Castilla-La Mancha.
- Bard, A. y. (1980). "Electrochemical Methods, Fundaments and applications". New York.
- Becerra, S., Paichard, E., Sturma, A., & Laurance, M. (23 de Julio de 2013). "VIVIR CON LA CONTAMINACIÓN PETROLERA EN EL ECUADOR: PERCEPCIONES SOCIALES DEL RIESGO SANITARIO Y CAPACIDAD DE RESPUESTA". Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4959912>
- Bertrand, J. (1998). *Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry Journal of the American Chemical Society*.
- Boopathy, R. (2000). *Factors limiting bioremediation technologies*. . Bioresource technology .
- Chavez, R. (16 de Junio de 1999). "PROTECCION AMBIENTAL Y EXPLOTACION PETROLERA EN LA REGION AMAZONICA ECUATORIANA.". Obtenido de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/289/3/TFLACSO-1999RLCS.pdf>
- De la Rosa, D., Teutli, M., & Ramírez, M. (Agosto de 2007). *ELECTRORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS UNA REVISIÓN TÉCNICA PARA SU APLICACIÓN EN CAMPO*. Obtenido de Scielo : https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992007000300003
- Denuault, G., Sosna, M., & Williams, K. (2007). *Classical Experiments A2-Zoski, Cynthia Handbook of Electrochemistry*. Amsterdam: Elsevier.
- Eweis, J., Ergas, S., Chang, D., & Schroeder, E. (1998). *Bioremediation Principles*. McGraw-Hill International Editions.
- Flores, E. (1995). VOLTAMETRIA CICLICA: LA ESPECTROSCOPIA ELECTROQUIMICA PARTE I. *Revista de Química.*, 165-169.

- García, L., Vargas, R., & Reyes, V. (26 de Febrero de 2011). *Electrorremediación de suelos arenosos contaminados por Pb, Cd y As provenientes de residuos mineros, utilizando agua y ácido acético como electrolitos*. Obtenido de https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_RecCorr/victor_reyes/SV2412411_2.pdf
- Garrido, S. (2011). "VALIDACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE COBRE Y NÍQUEL POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN VISIBLE Y DE MERCURIO Y ARSÉNICO 3+ POR VOLTAMETRÍA, EN MUESTRAS DE AGUAS CLARAS Y RESIDUALES". Quito.
- Gonzales, M., & Pucci, G. (30 de Mayo de 2022). *Aislamiento de bacterias post tratamiento con gasoil-agua y centrifugación de fondo de tanques petroleros*. Obtenido de SCIELO: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332022000200006
- Gothalwal, R. (2013). *Bioremediation*. New York.
- Hernandez, J., & Carbonell, J. (14 de Enero de 2003). "Fuel Emulsions Using Biomass Pyrolysis Products as an Emulsifier Agent". Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ef020030i>
- Moran de la Torre, J. (2 de Febrero de 2021). "BIOELECTRODEGRADACION DE HIDROCARBUROS EN EMULSION O/W". Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22560>
- NGUYEN BA. (7 de Julio de 2017). *TWEEN 80*. Obtenido de <http://nguyenbachemical.com/file/Tween80-Website.pdf>
- Orellana, D. (2016). *CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MICROELECTRODOS NANOPOROSOS DE ORO PARA LA DETERMINACIÓN DE As (III) UTILIZANDO VOLTAMETRÍA DE REDISOLUCIÓN ANÓDICA (ASV) CON APLICACIÓN EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO*. Quito.
- Patil, S., Hagerhall, C., & Gorton, L. (2012). *Electron transfer mechanisms between microorganisms and electrodes in bioelectrochemical systems*. Springer-Verlag Wien.
- Quinaluiza, K. (2023).
- Revelo, D., Hurtado, N., & Ruiz, J. (28 de Junio de 2013). *Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un Reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica*. Obtenido de Scielo: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v24n6/art04.pdf>
- Richards, K. (3 de Octubre de 2009). *Electroquímica Analítica*. Obtenido de [https://batch.libretexts.org/print/url=https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Anal%C3%ADtica/An%C3%A1lisis_Instrumental_\(LibreTextos\)/25%3A_Voltamperometr%C3%ADa/25.07%3A_Aplicaciones_de_Voltamperometr%C3%ADa.pdf](https://batch.libretexts.org/print/url=https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Anal%C3%ADtica/An%C3%A1lisis_Instrumental_(LibreTextos)/25%3A_Voltamperometr%C3%ADa/25.07%3A_Aplicaciones_de_Voltamperometr%C3%ADa.pdf)
- Sane, M., Buisman, C., & Bitter, J. (19 de Agosto de 2021). *Cyclic Voltammetry is Invasive on Microbial Electrosynthesis*. Obtenido de Chemistry Europe: <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/celc.202100914>
- Valdivieso, L. (2017). *EVALUACIÓN DE MECANISMOS DE REACTIVACIÓN EN CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOELECTRICIDAD*. Riobamba.

Velazquez, J. (1 de Junio de 2017). "*Contaminacion de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia*". Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1846/2227>

Vian, A. (1972). "*Elementos de la Ingeniería Química*". Madrid.

Volke, T., & Velasco, J. (2002). *Tecnologías de Remediación Para Suelos Contaminados*. México DF: INE-SEMARNAT.

8 ANEXOS

8.1 ANEXO I Equipo y materiales para la preparación de Emulsiones



Figura 8.1 Husillo del Viscosímetro
Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 8.2 Pantalla Viscosímetro
Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 8.3 Muestra del Crudo de Pungarayacu

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

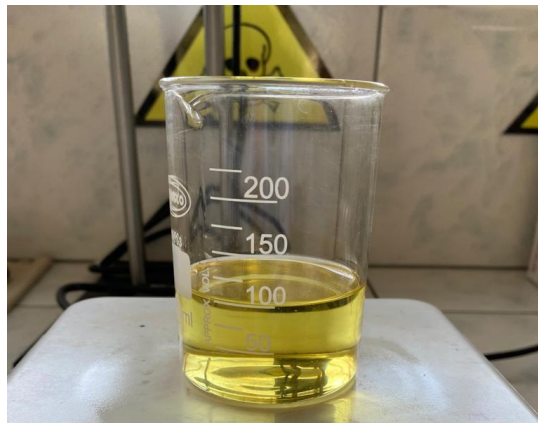


Figura 8.4 Muestra de Aceite Vegetal

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 8.5 Mezcladora

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 8.6 Balanza Analítica y Plancha de Calentamiento

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

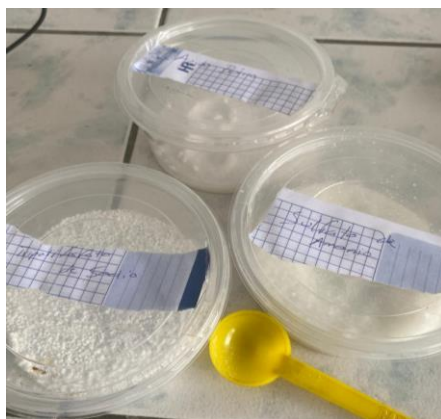


Figura 8.7 Reactivos Químicos
Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

8.2 ANEXO II Materiales de la celda de Electrolisis Microbiana (MEC)



Figura 8.8 Fuente de Voltaje y Amperaje
Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 8.9 Cubeta Plástica
Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

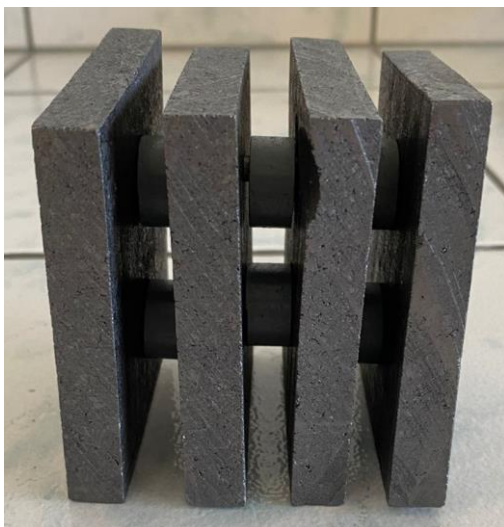


Figura 8.10 Placas de Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 8.11 Cables de Corriente y Lagartos

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 8.12 Caldos Bacteriológicos con y sin Melaza
Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

8.3 ANEXO III Equipo de Voltametría Cíclica



Figura 8.13 Contraelectrodo Barra de Grafito
Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 8.14 Contraelectrodo Barra de Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

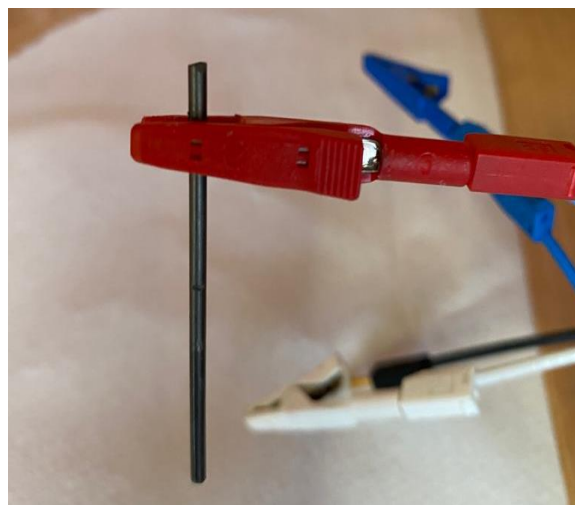


Figura 8.15 Electrodo de Trabajo Mina de Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 8.16 Celda de Trabajo con Muestra

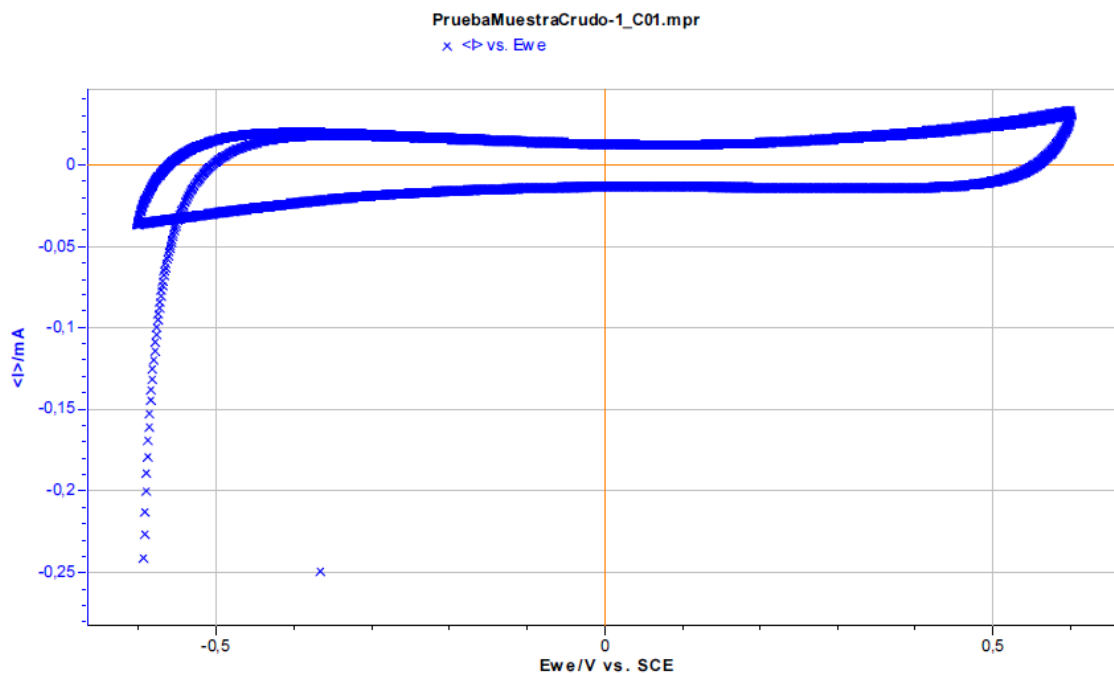
Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)



Figura 8.17 Emulsiones con Melaza

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

8.4 ANEXO IV Resultados de las pruebas de Voltametría Cíclica



LOG

Cyclic Voltammetry

Device : SP-300

Electrode connection : standard

Potential control : Ewe

Ewe ctrl range : min = -2,50 V, max = 2,50 V

Ewe,l filtering : 50 kHz

Safety Limits :

Do not start on E overload

Channel : Grounded

Electrode material :

Initial state :

Electrolyte :

Comments :

Cable : standard

Reference electrode : SCE Saturated Calomel Electrode (0,241 V)

Electrode surface area : 0,001 cm²

Characteristic mass : 0,001 g

Equivalent Weight : 0,000 g/eq.

Density : 0,000 g/cm³

Volume (V) : 0,001 cm³

Cycle Definition : Charge/Discharge alternance

Ei (V) -0,600
 vs. Ref
 dE/dt 100,000
 dE/dt unit mV/s
 E1 (V) 0,600
 vs. Ref
 Step percent 50
 N 10
 E range min (V) -2,500
 E range max (V) 2,500
 I Range 100 μ A
 I Range min Unset
 I Range max Unset
 I Range init Unset
 Bandwidth 8
 E2 (V) -0,600
 vs. Ref
 nc cycles 2
 Reverse Scan 1
 Ef (V) 0,000
 vs. Eoc

Figura 8.18 Prueba 1 Muestra Crudo 1 Sin Melaza

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

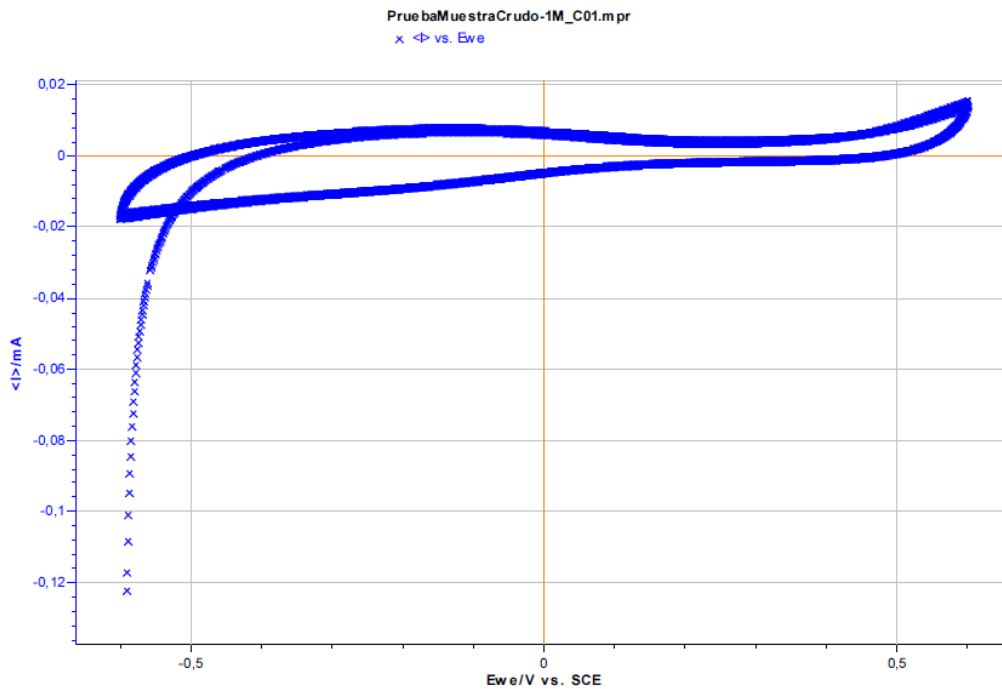


Figura 8.19 Prueba 1 Muestra Crudo 1 con Melaza

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

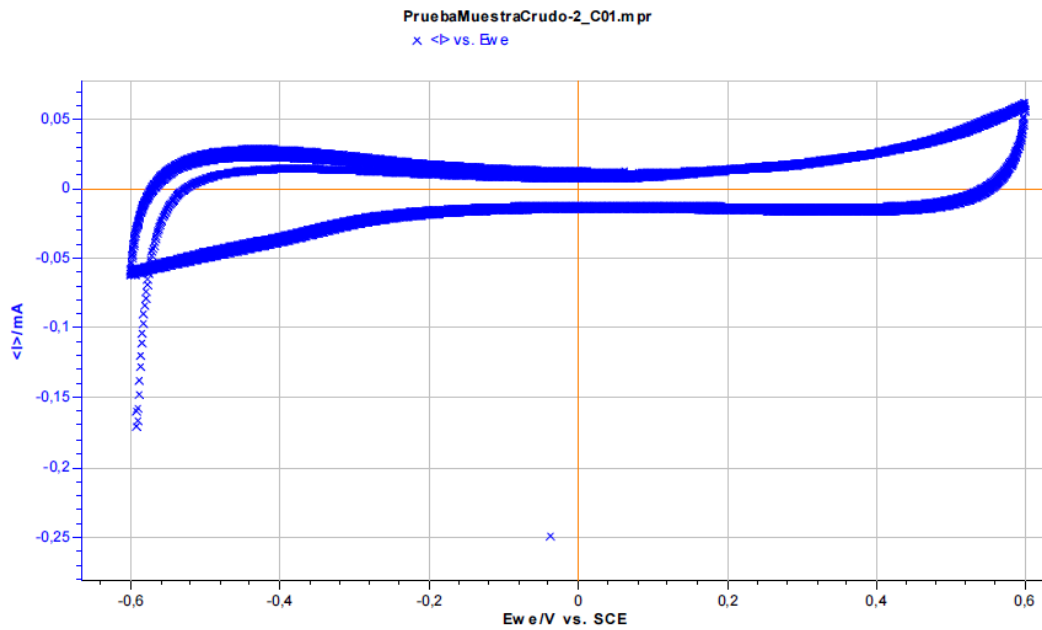


Figura 8.20 Prueba 2 Muestra Crudo 2 sin Melaza

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

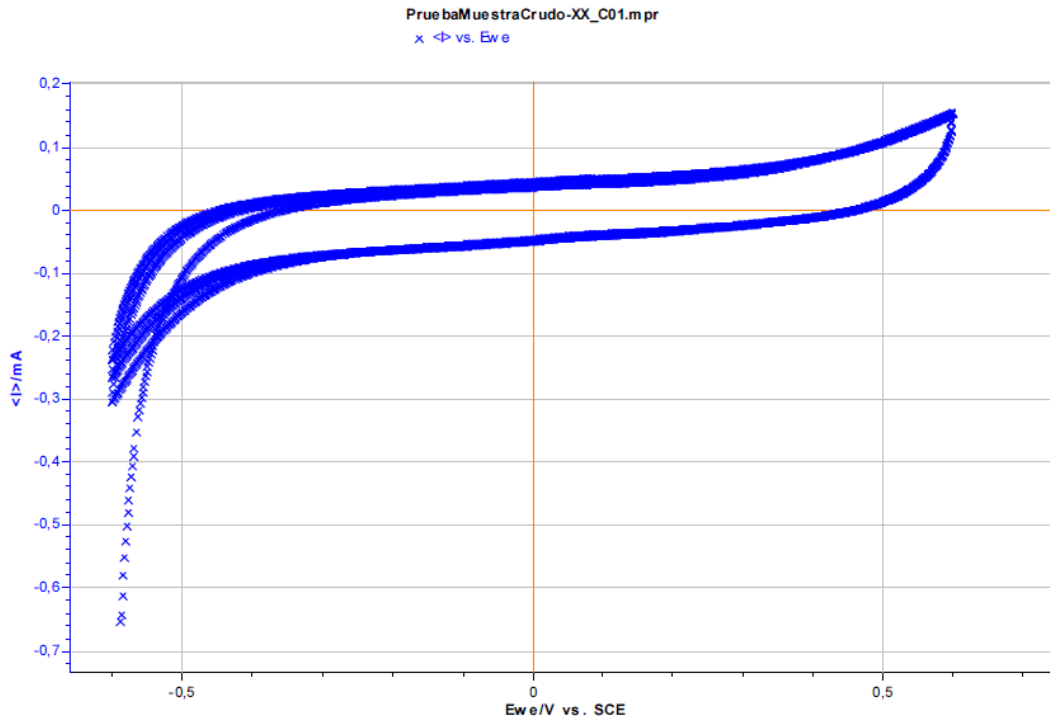


Figura 8.21 Prueba 2 Muestra Crudo 2 con Melaza

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

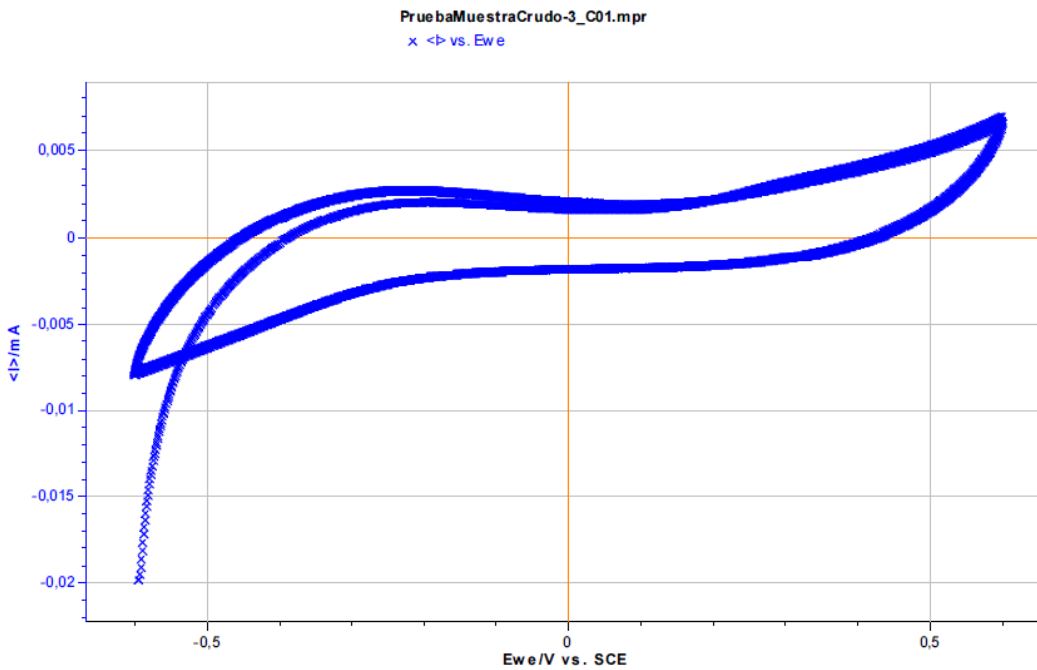


Figura 8.22 Prueba 3 Muestra Crudo 3 sin Melaza
Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

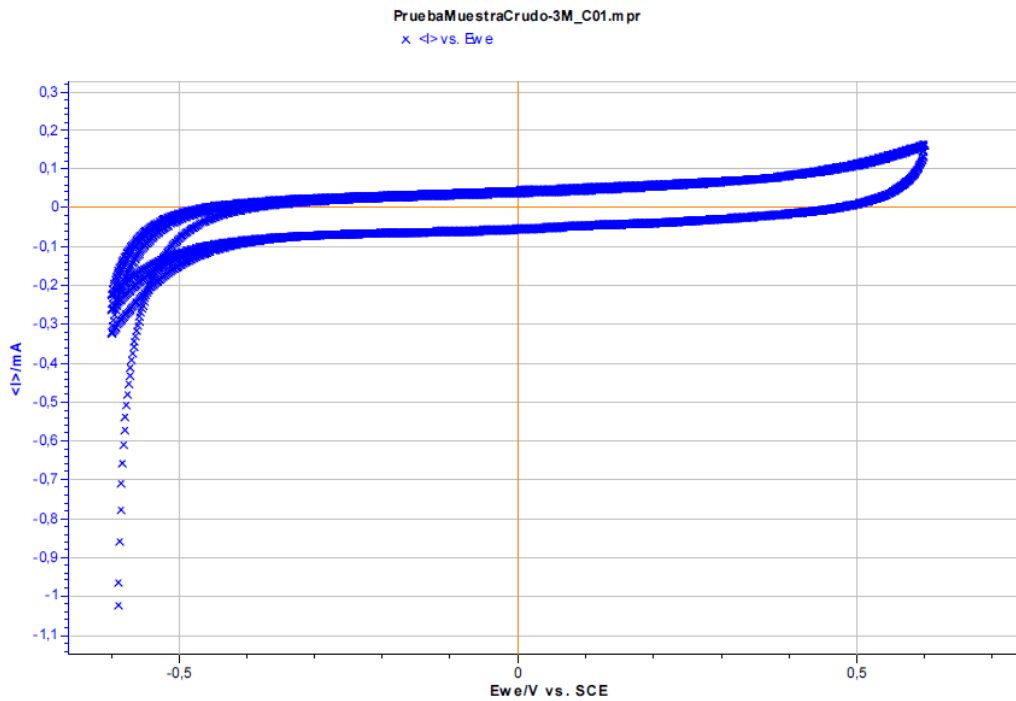


Figura 8.23 Prueba 3 Muestra Crudo 3 con Melaza
Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

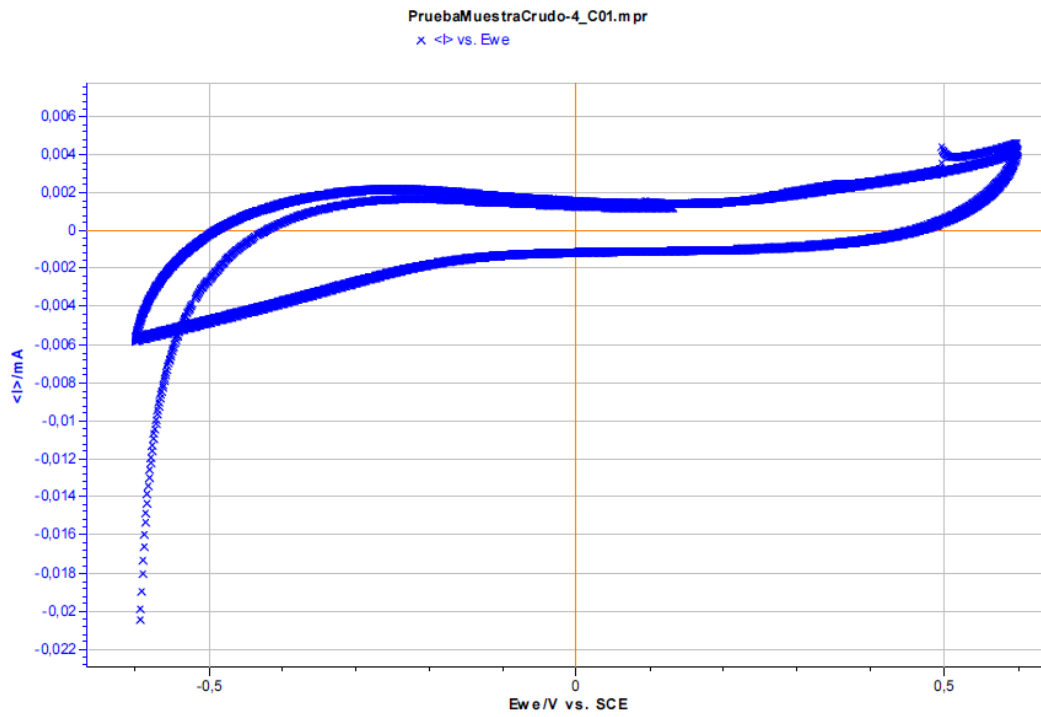


Figura 8.24 Prueba 4 Muestra Crudo 4 sin Melaza

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

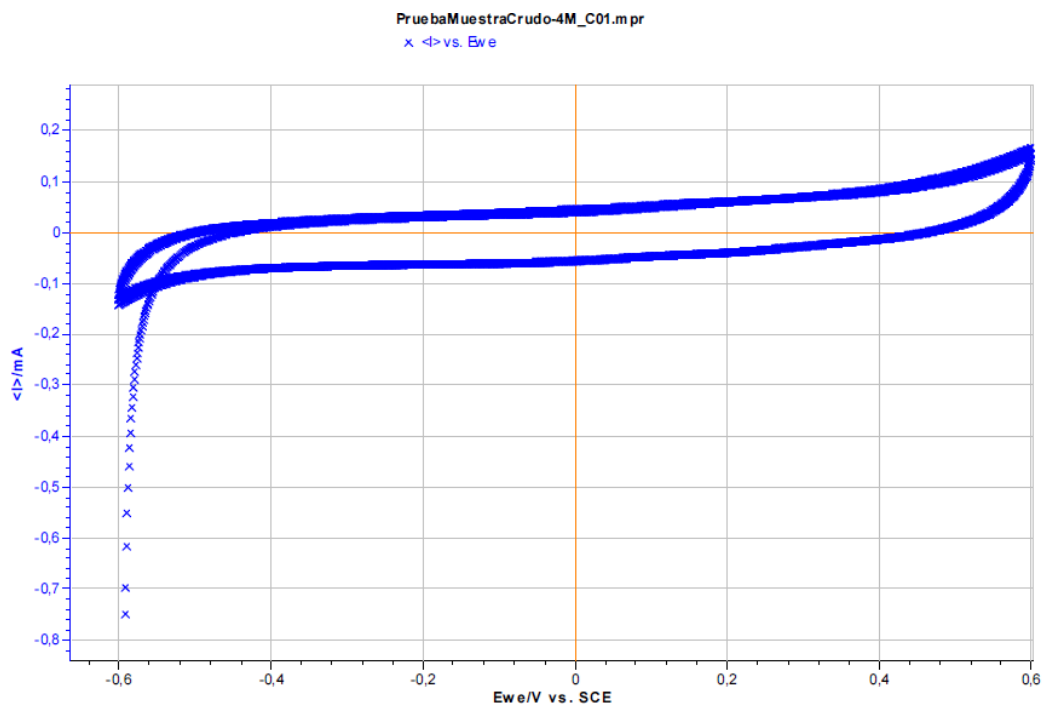


Figura 8.25 Prueba 4 Muestra Crudo 4 con Melaza

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

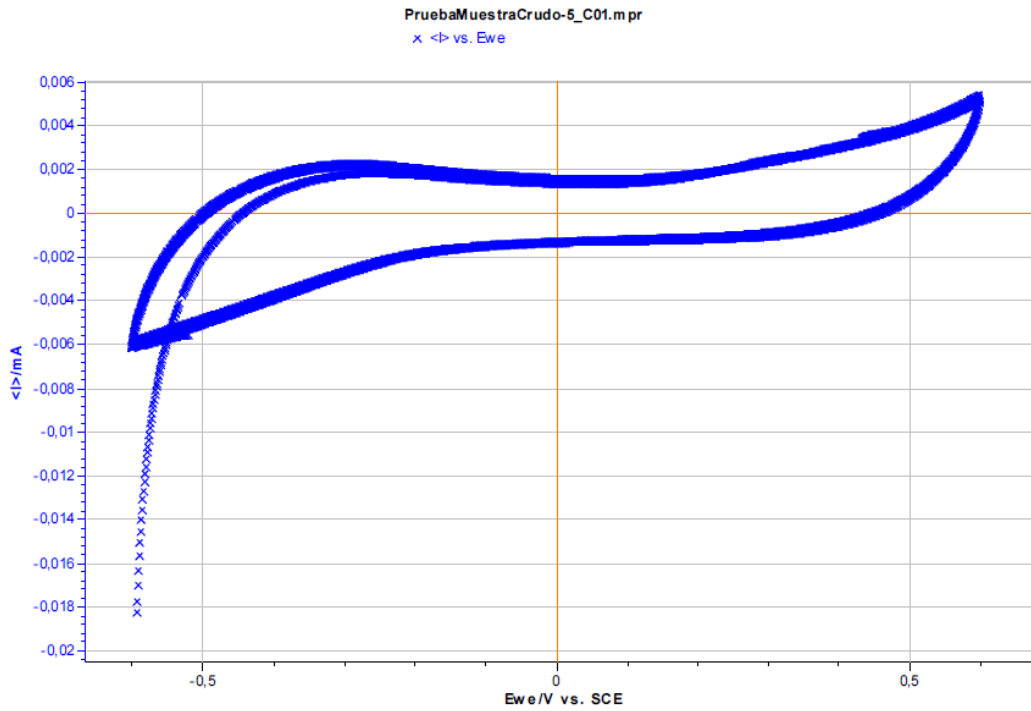


Figura 8.26 Prueba 5 Muestra Crudo 5 sin Melaza

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

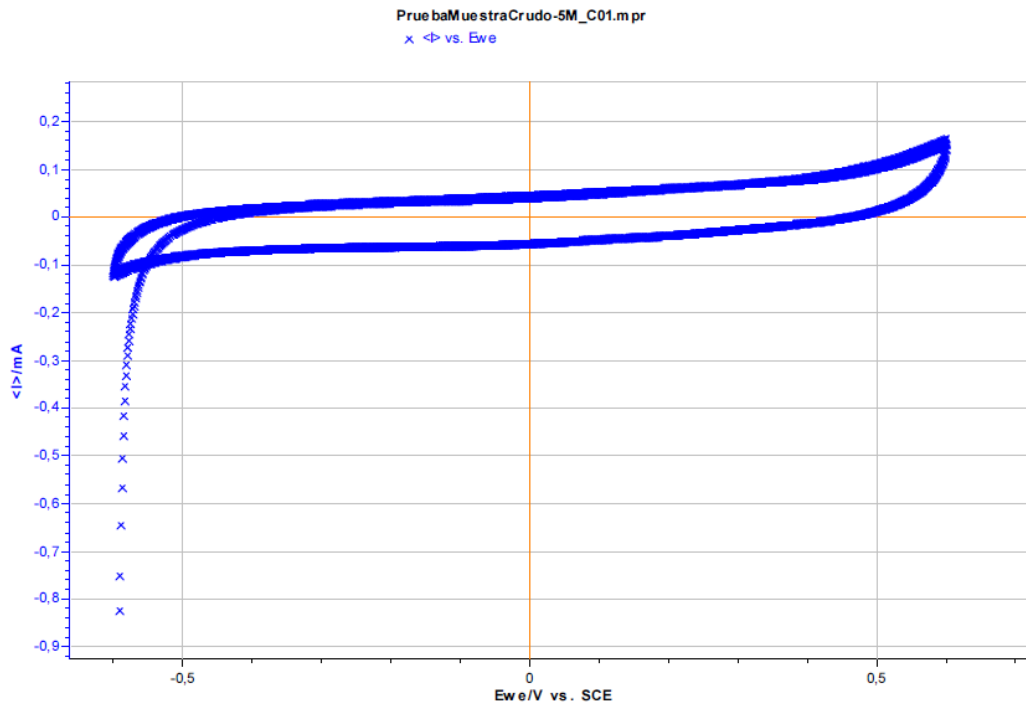


Figura 8.27 Prueba 5 Muestra Crudo 5 con Melaza

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

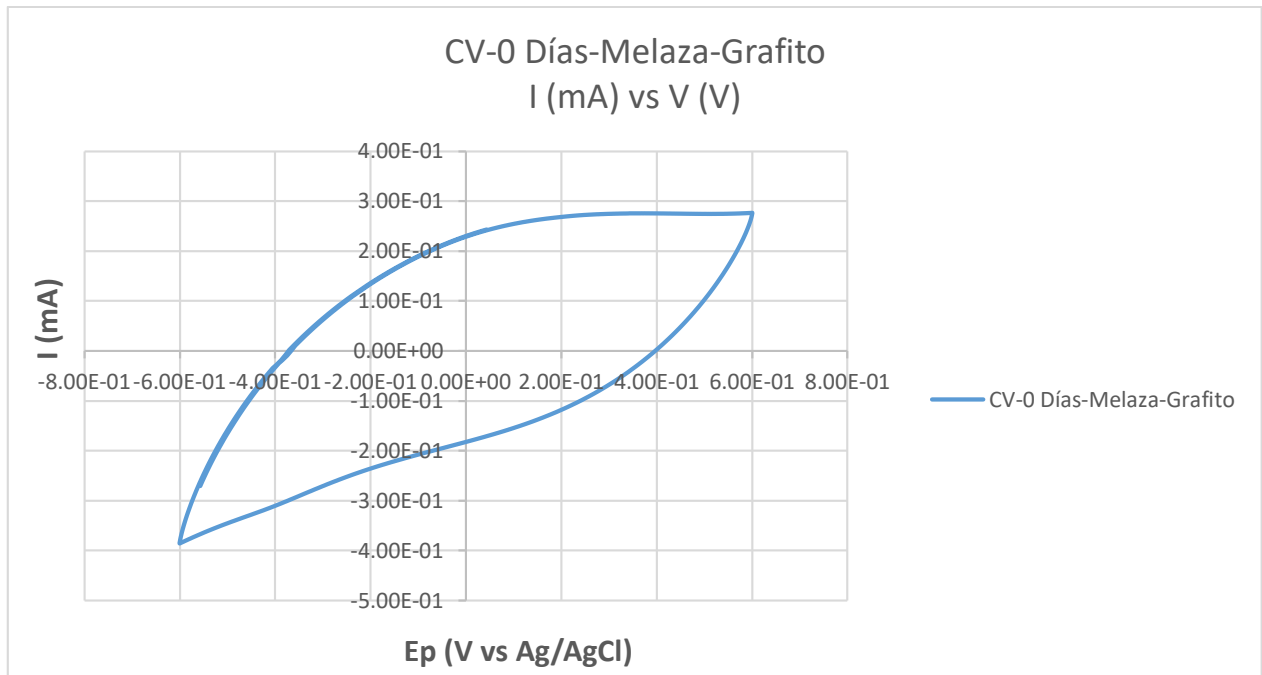


Figura 8.28 CV-0 Días-Melaza-Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

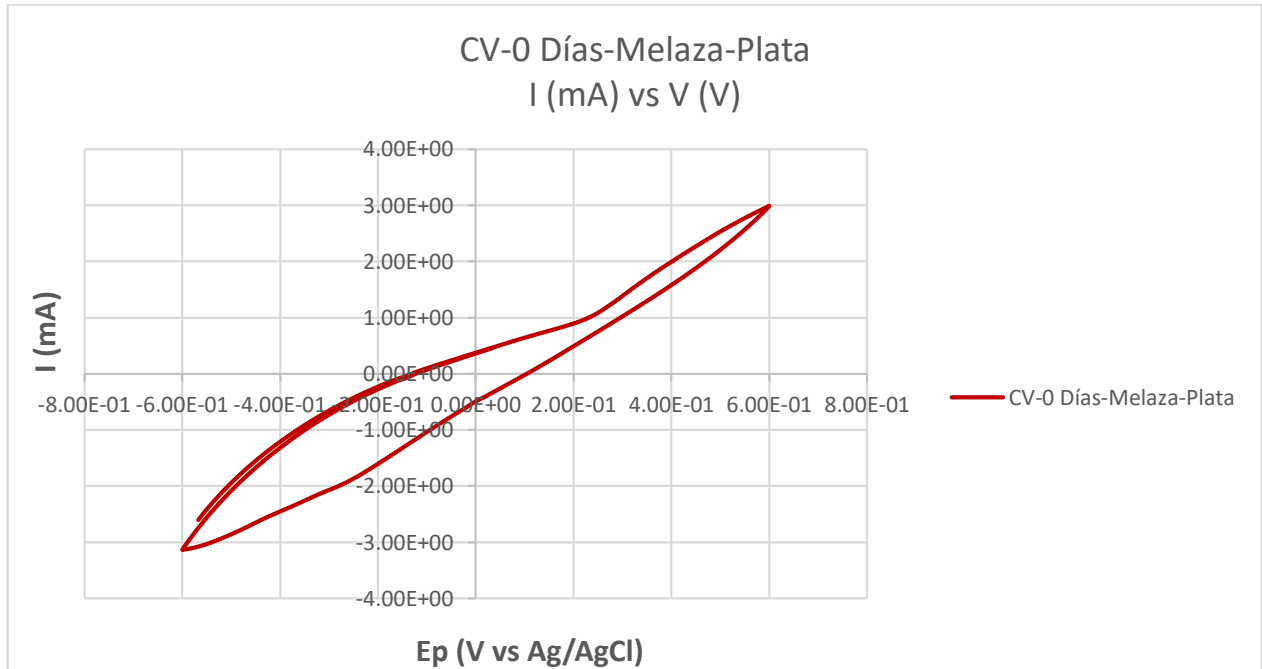


Figura 8.29 CV-0 Días-Melaza- Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

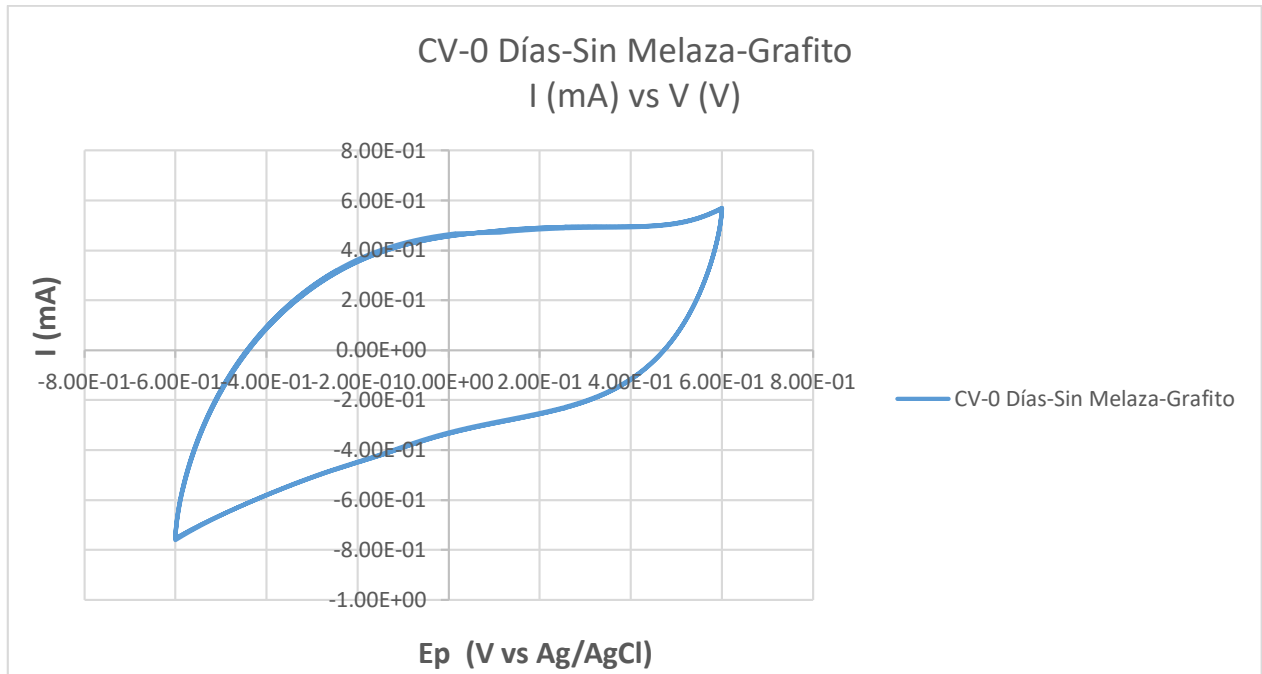


Figura 8.30 CV-0 Días-sin Melaza-Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

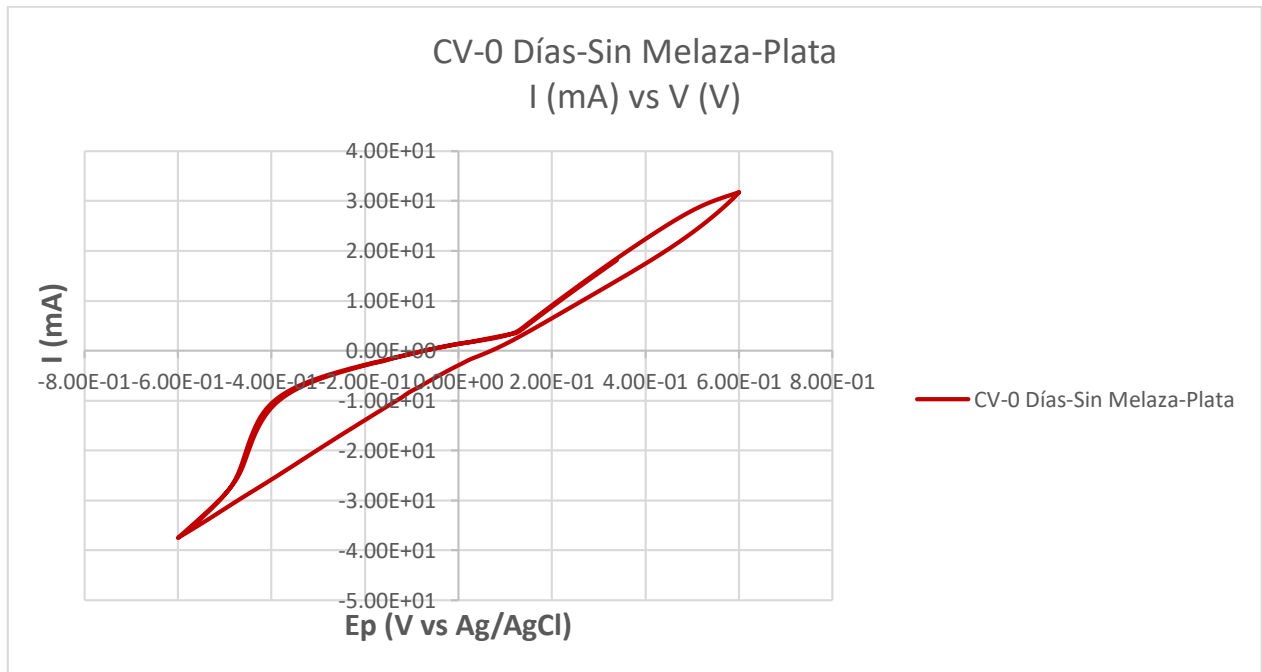


Figura 8.31 CV-0 Días- sin Melaza-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

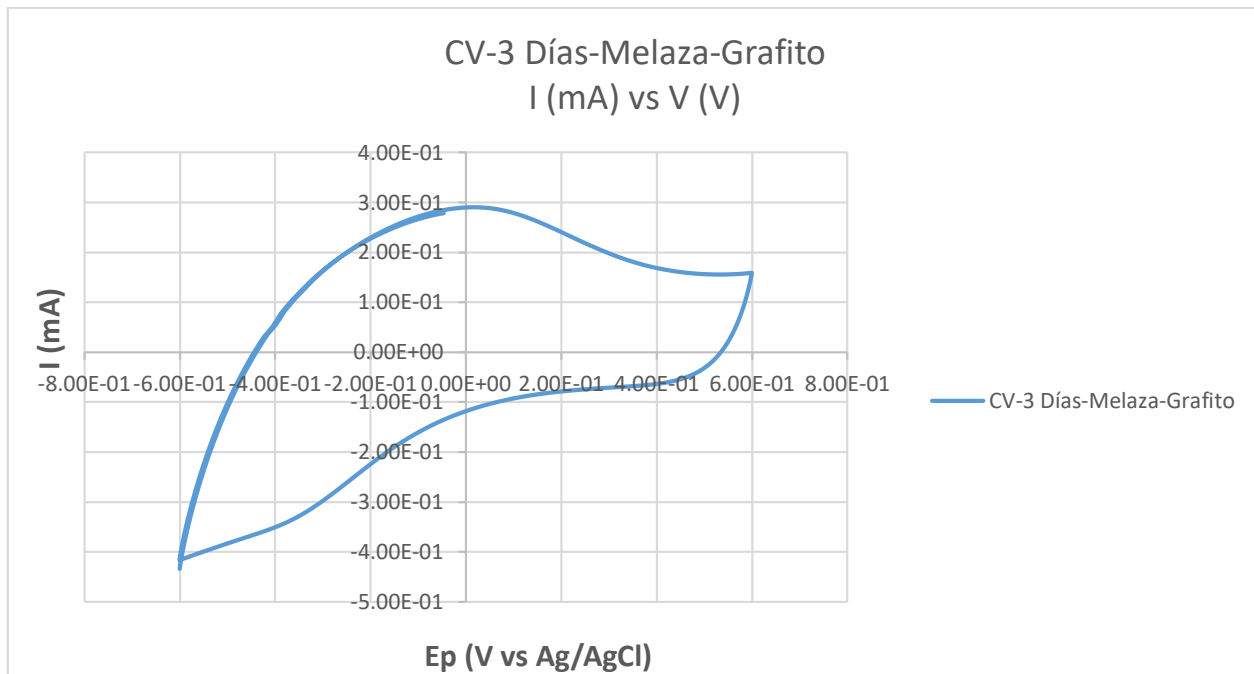


Figura 8.32 CV-3 Días-Melaza-Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

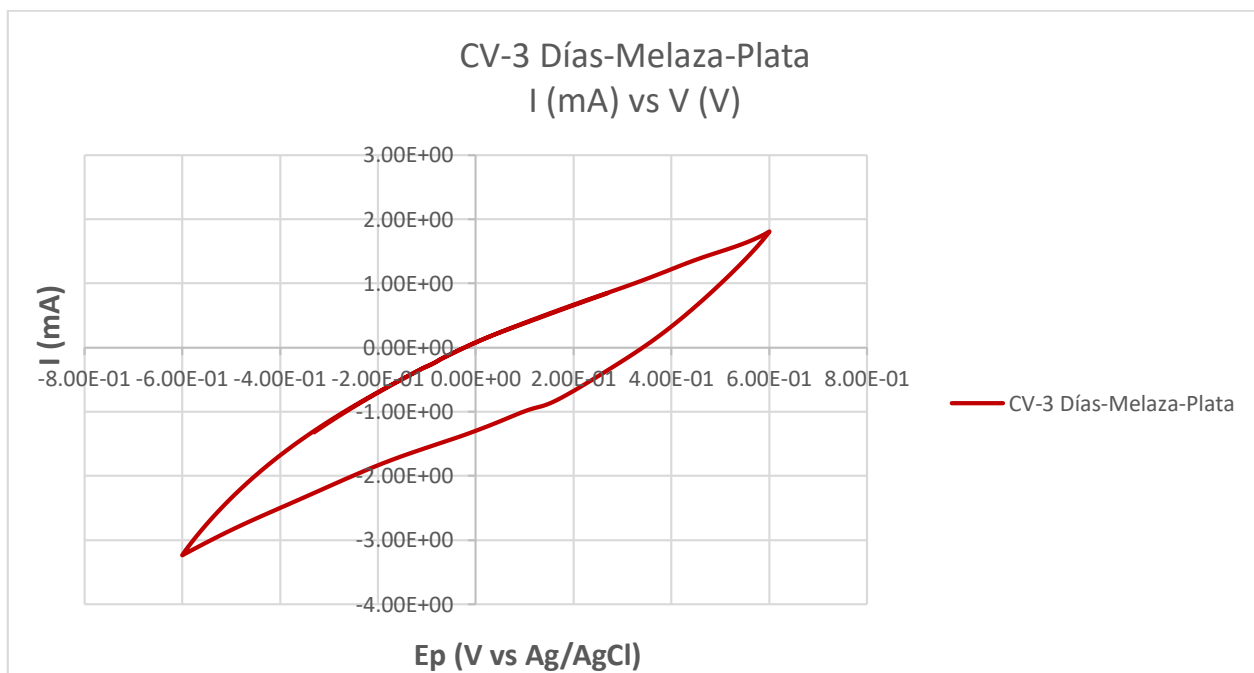


Figura 8.33 CV-3 Días-Melaza-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

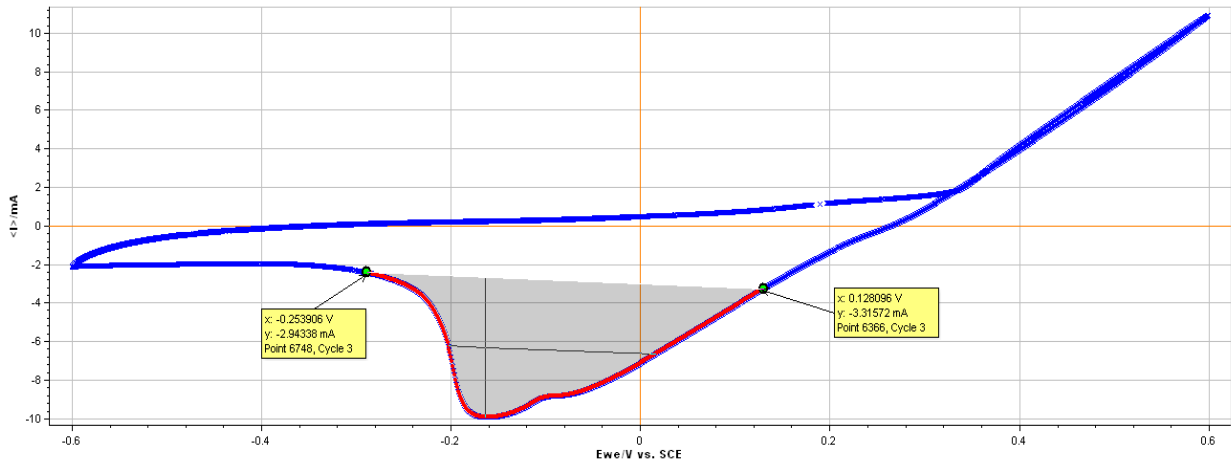


Figura 8.34 Altura del Pico- CV-3 Días-Sin Melaza-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

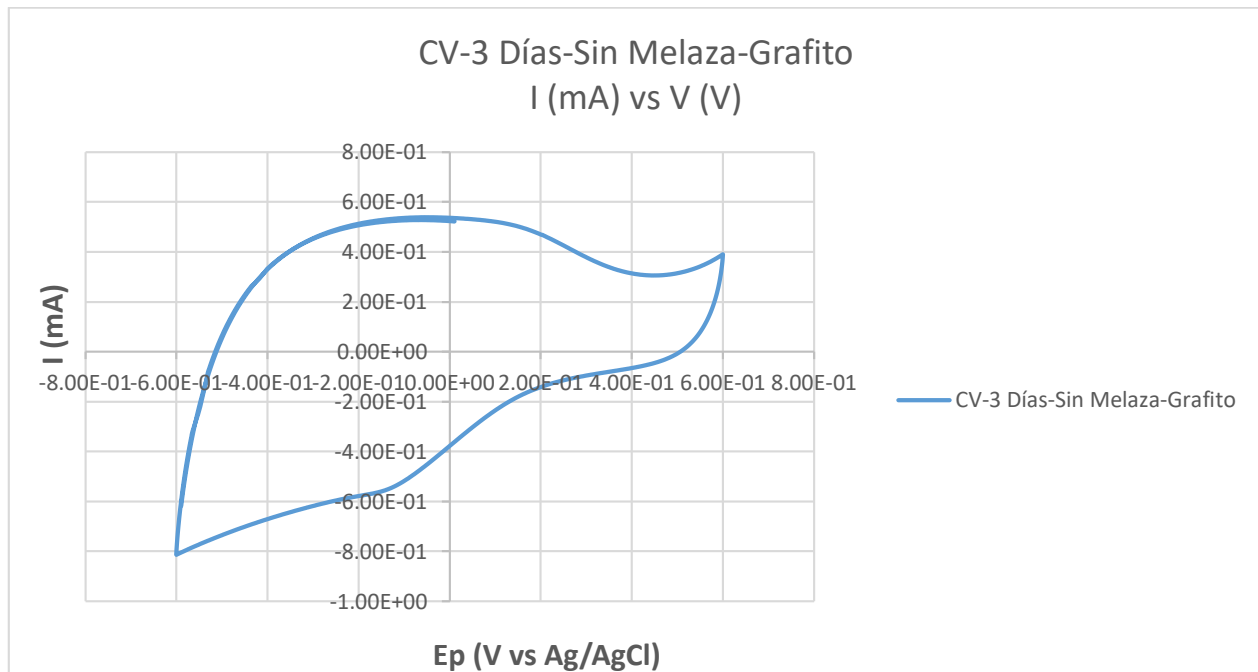


Figura 8.35 CV-3 Días-sin Melaza-Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

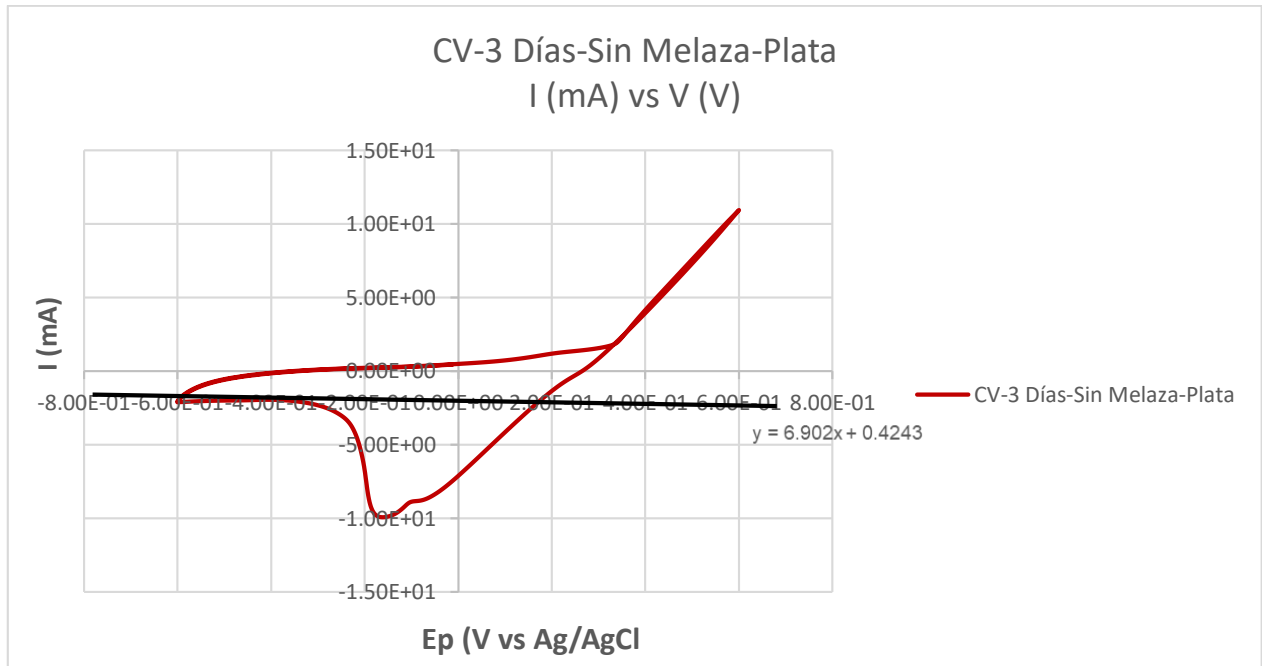


Figura 8.36 CV-3 Días-sin Melaza-Plata
Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

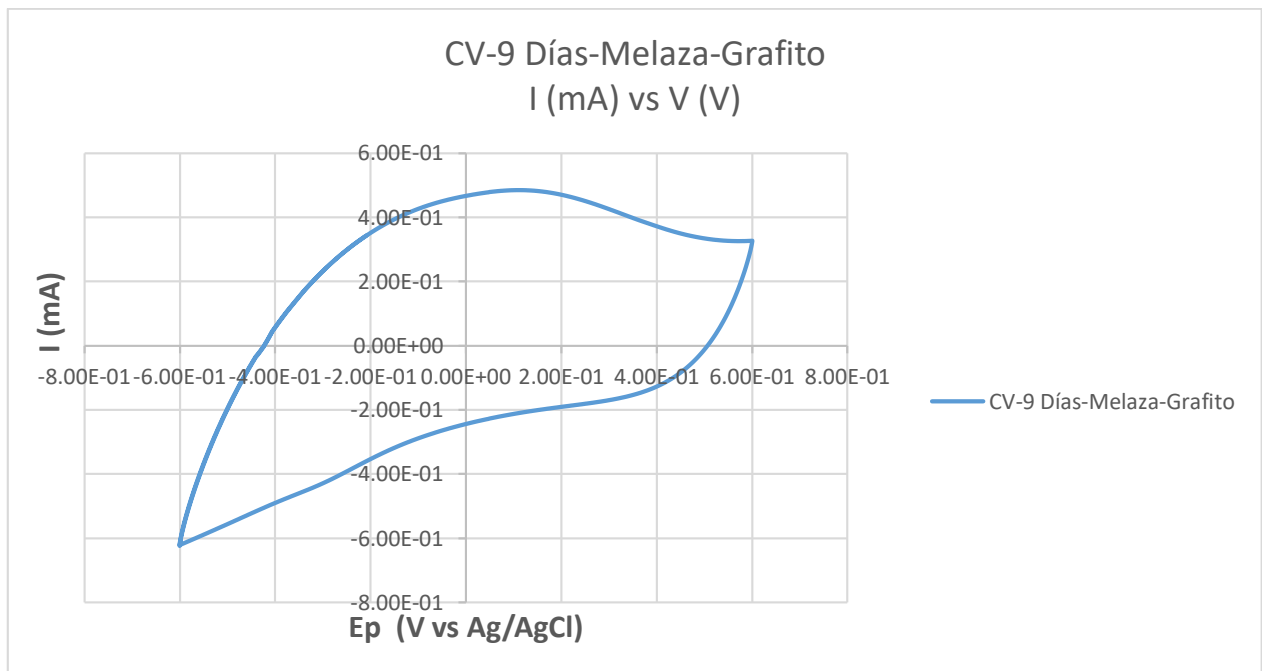


Figura 8.37 CV-9 Días-Melaza-Grafito
Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

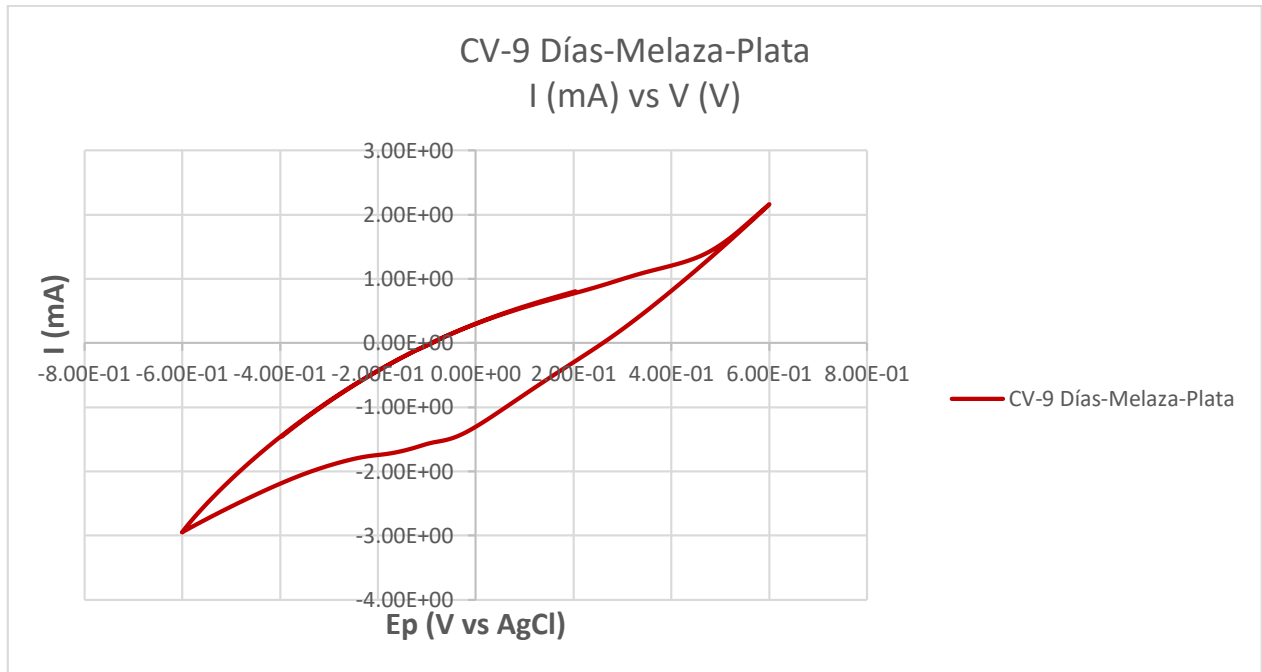


Figura 8.38 CV-9 Días-Melaza-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

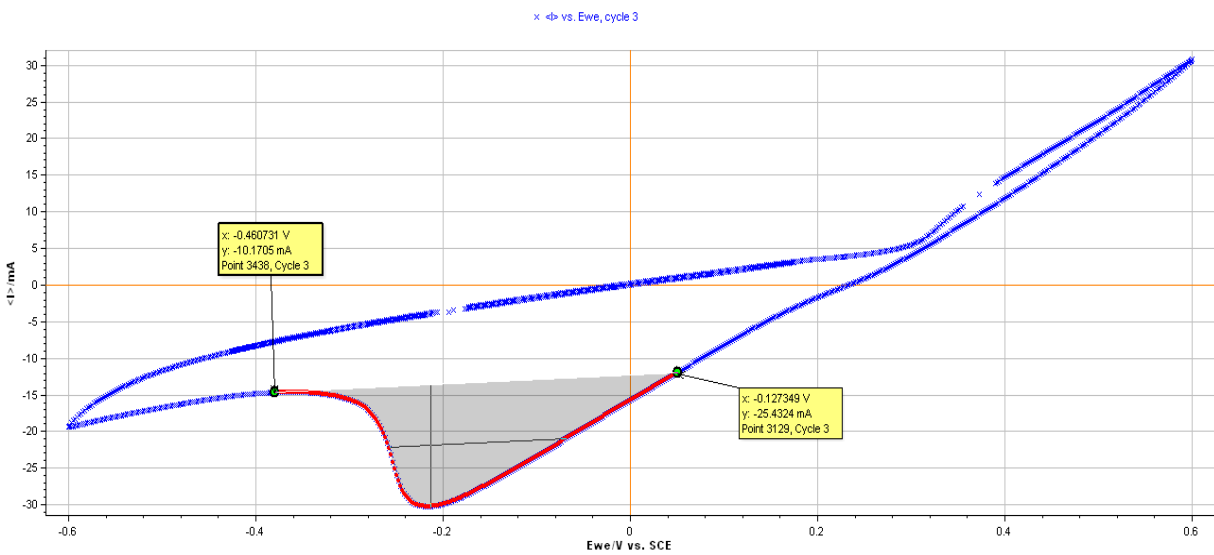


Figura 8.39 Altura del Pico- CV-9 Días Sin Melaza-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

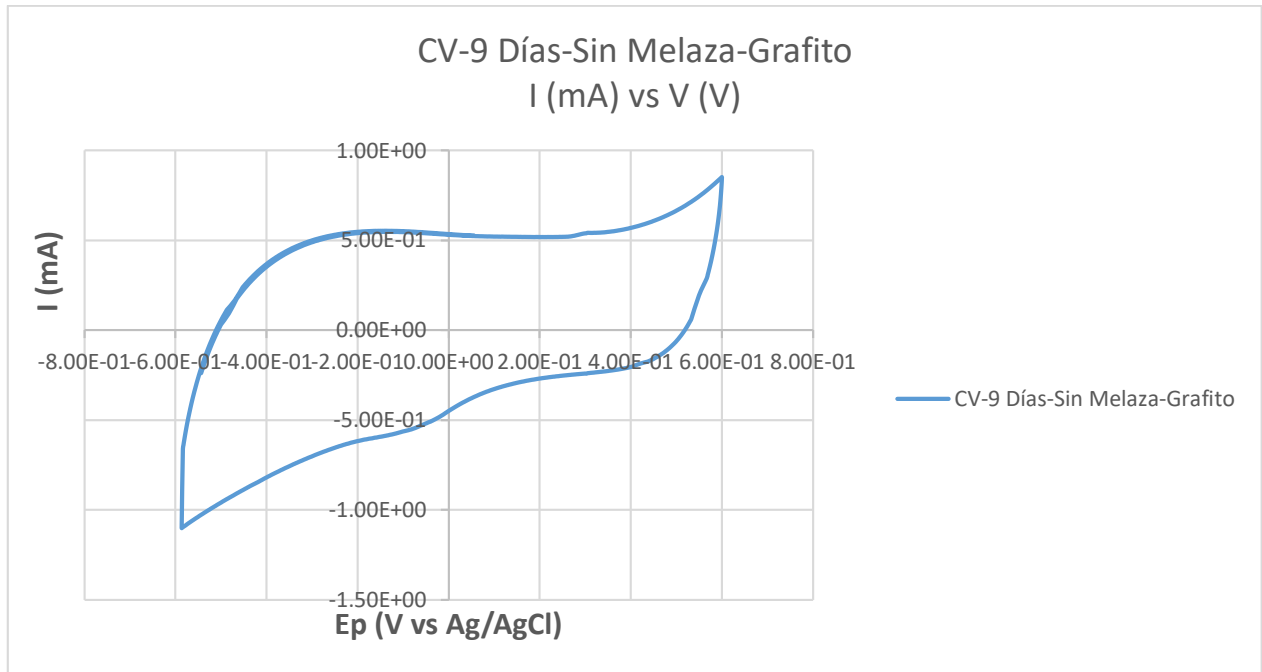


Figura 8.40 CV-9 Días-sin Melaza-Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

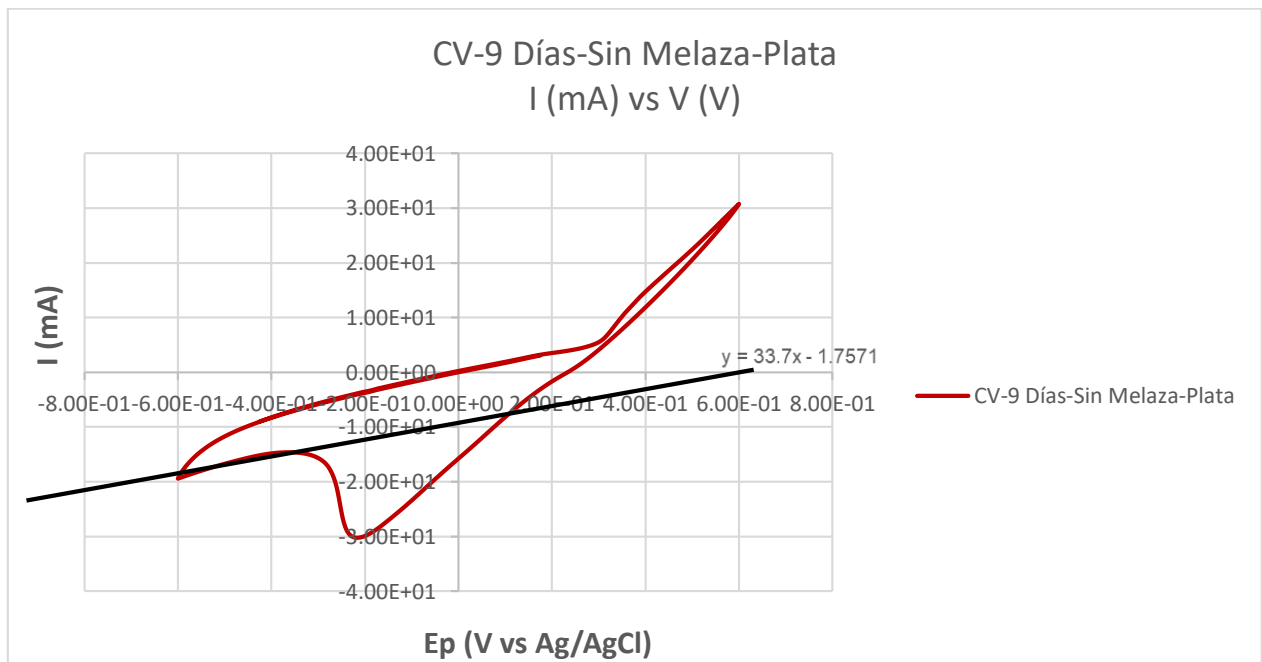


Figura 8.41 CV-9 Días-sin Melaza-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

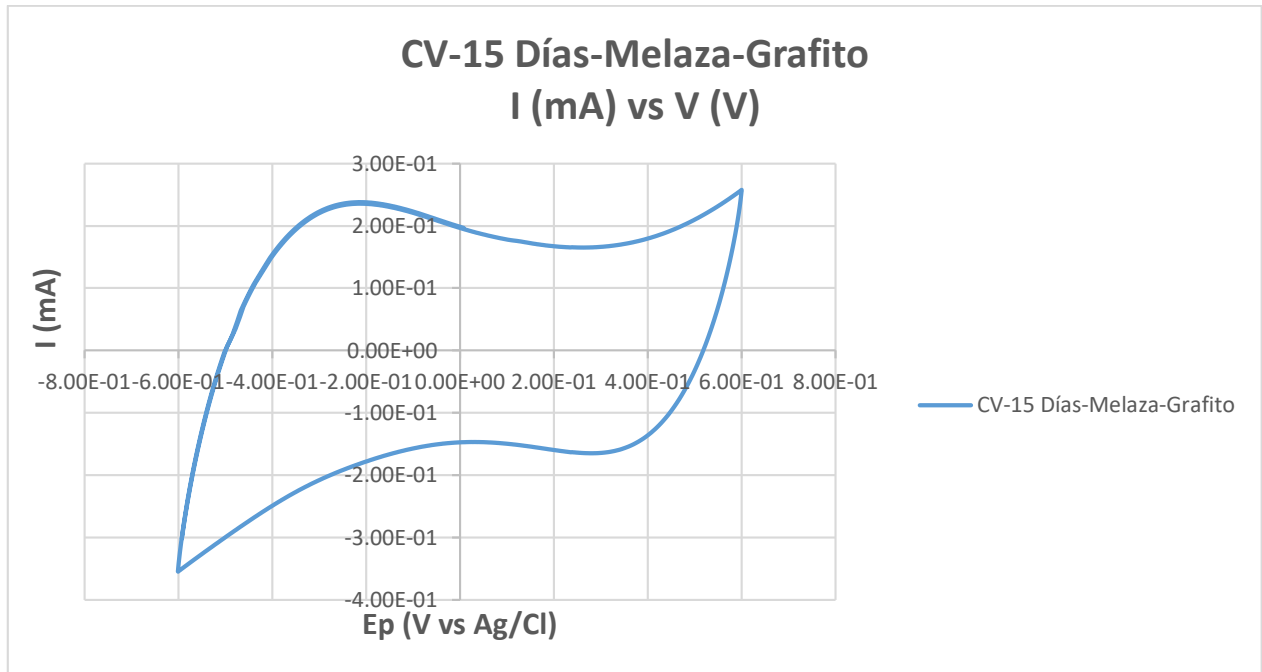


Figura 8.42 CV-15 Días-Melaza-Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

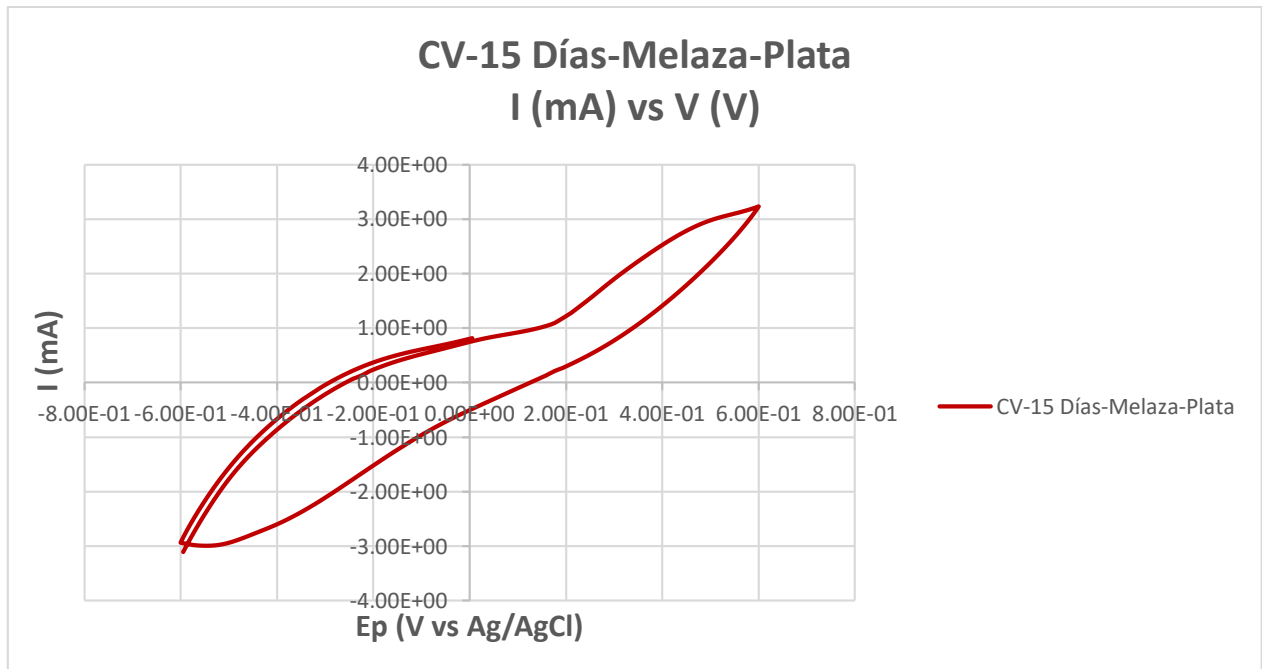


Figura 8.43 CV-15 Días-Melaza-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

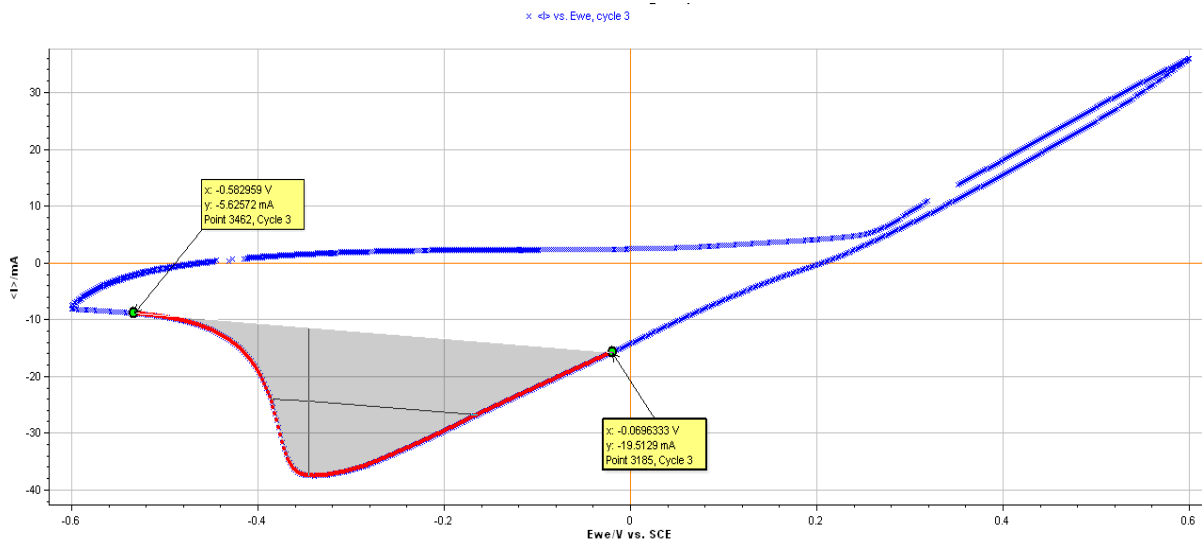


Figura 8.44 Altura del Pico- CV-15 Días Sin Melaza-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

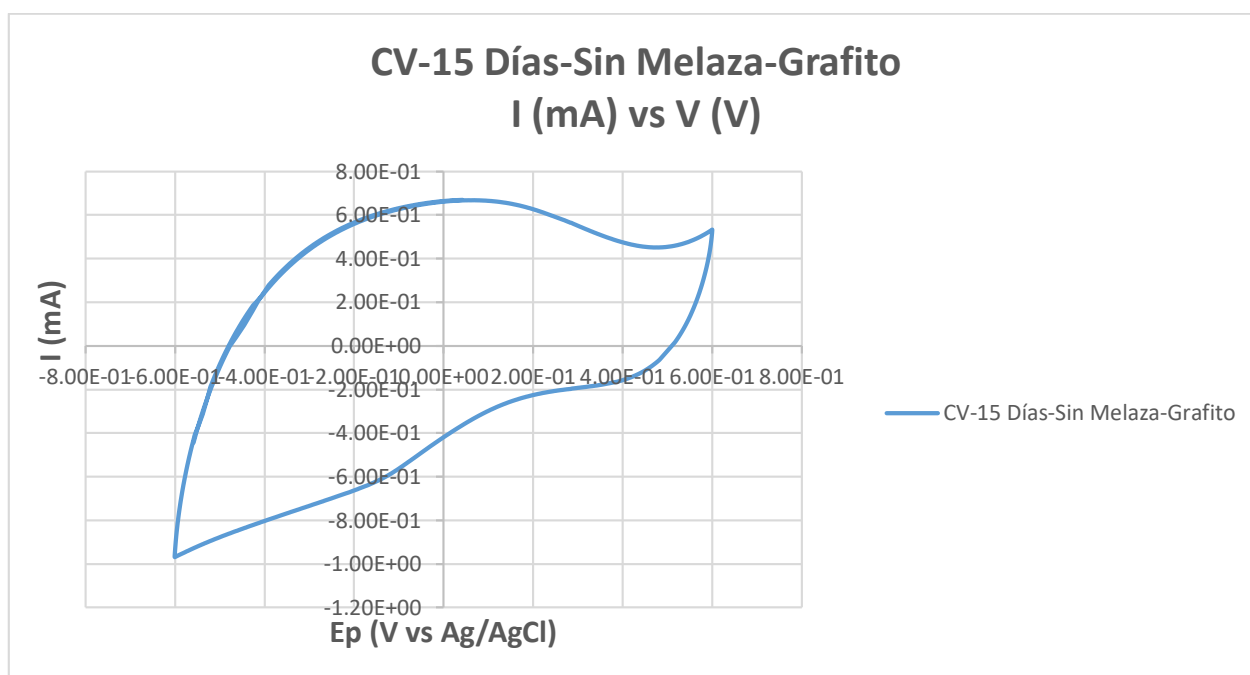


Figura 8.45 CV-15 Días-sin Melaza-Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

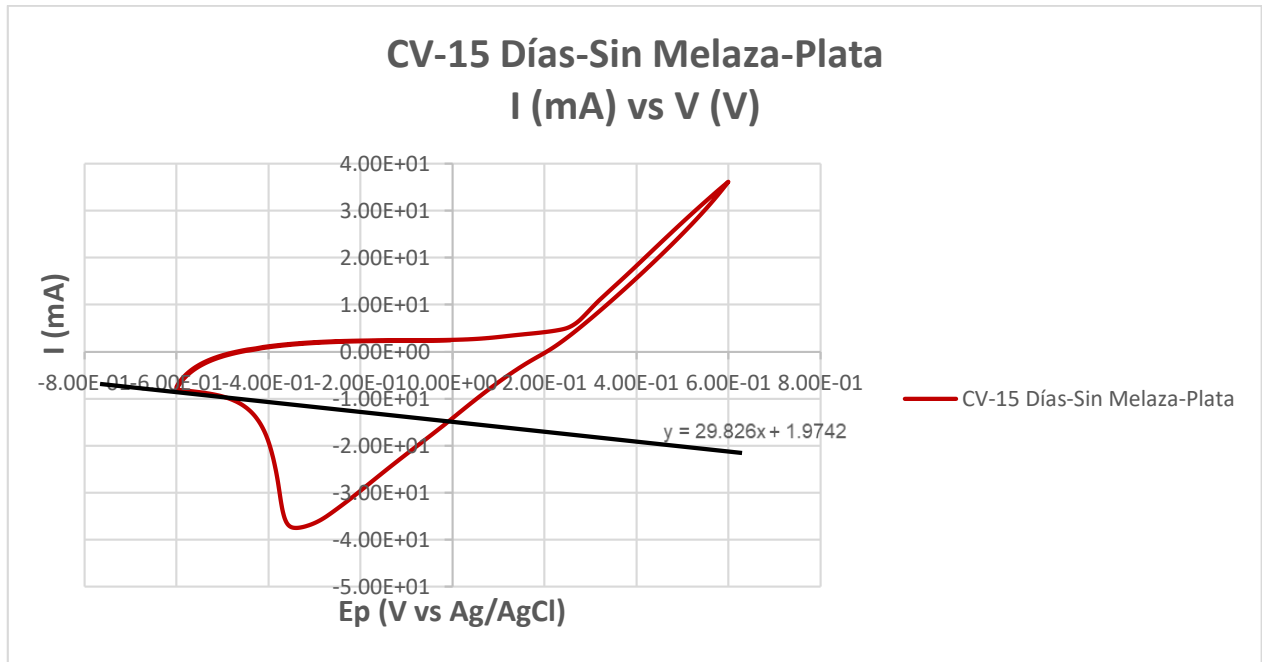


Figura 8.46 CV-15 Días-sin Melaza-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

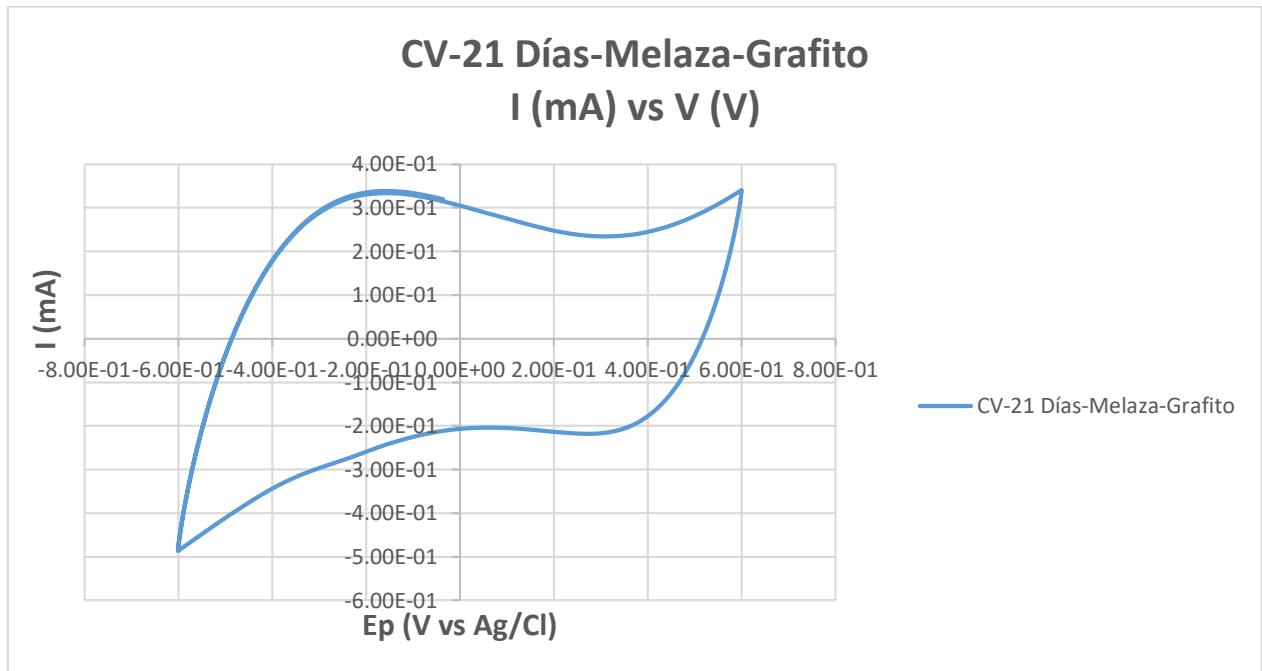


Figura 8.47 CV-21 Días-Melaza-Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

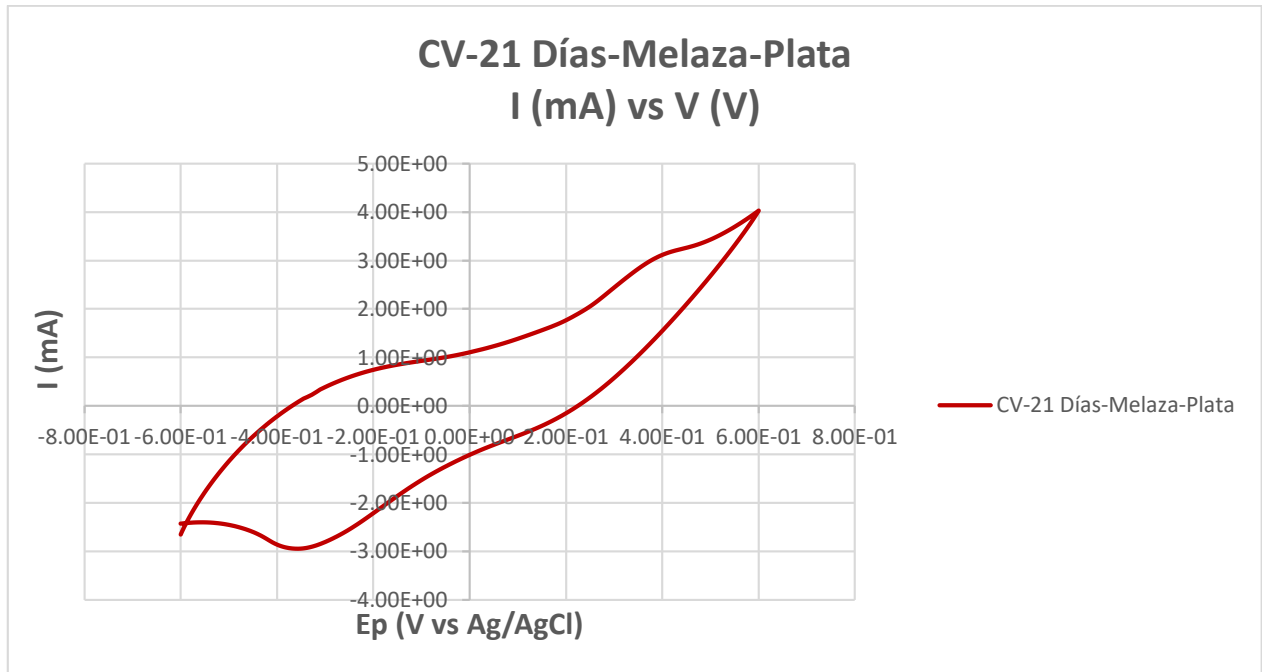


Figura 8.48 CV-21 Días-Melaza-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

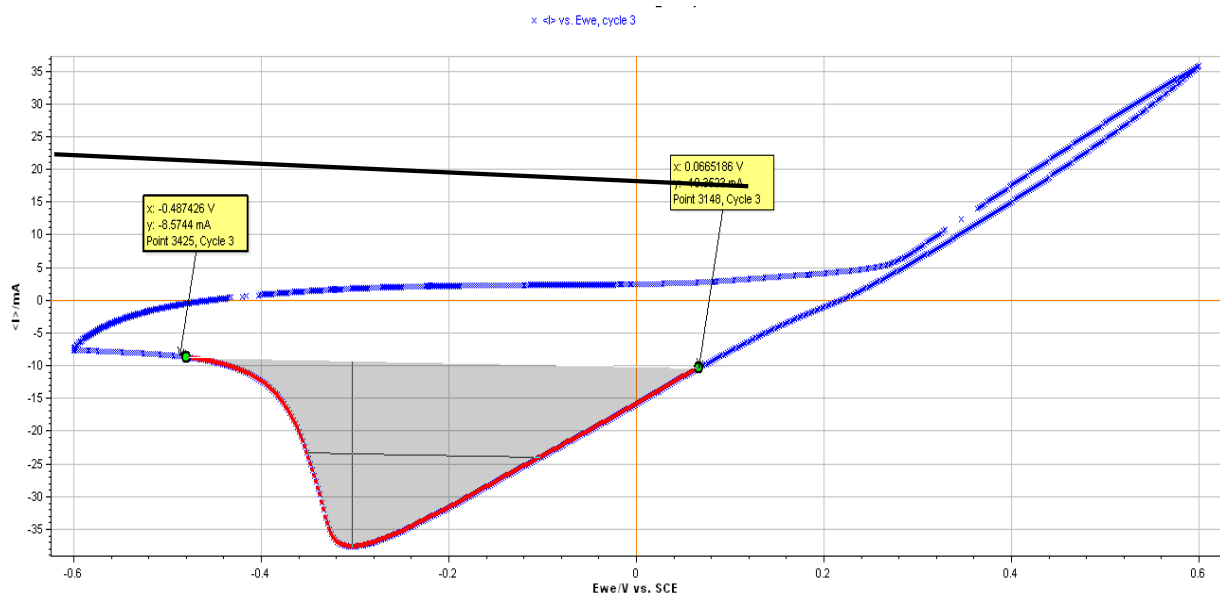


Figura 8.49 Altura del Pico- CV-21 Días Sin Melaza-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

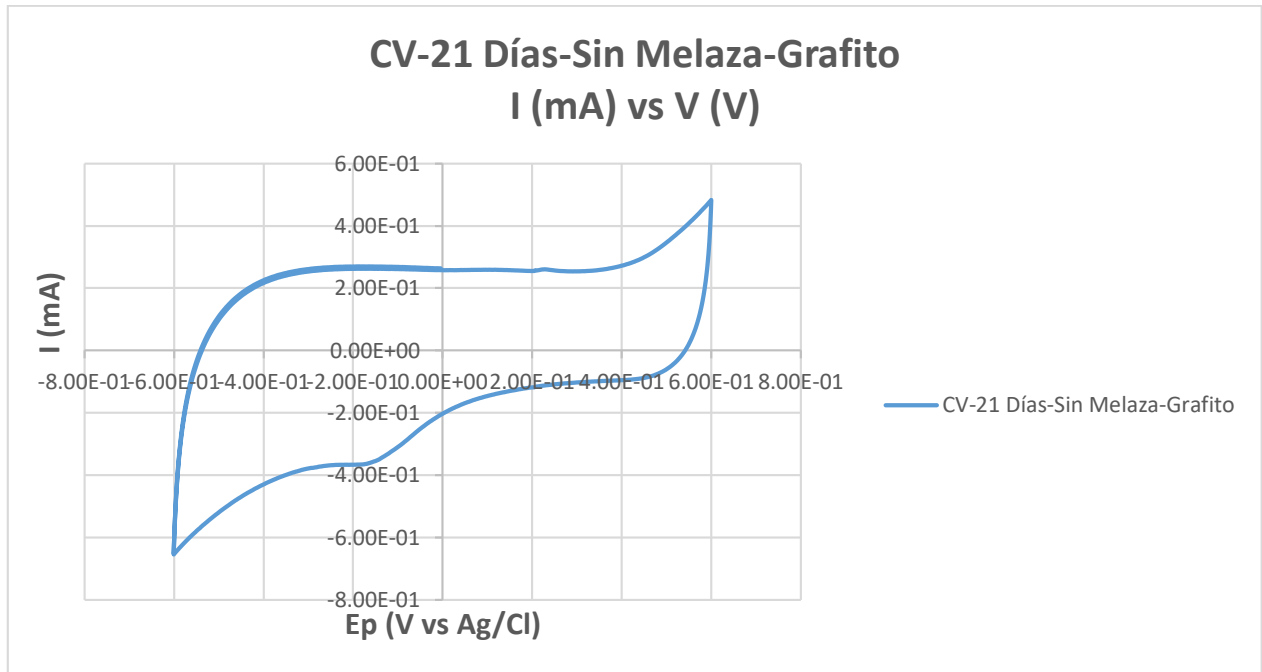


Figura 8.50 CV-21 Días-sin Melaza-Grafito

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)

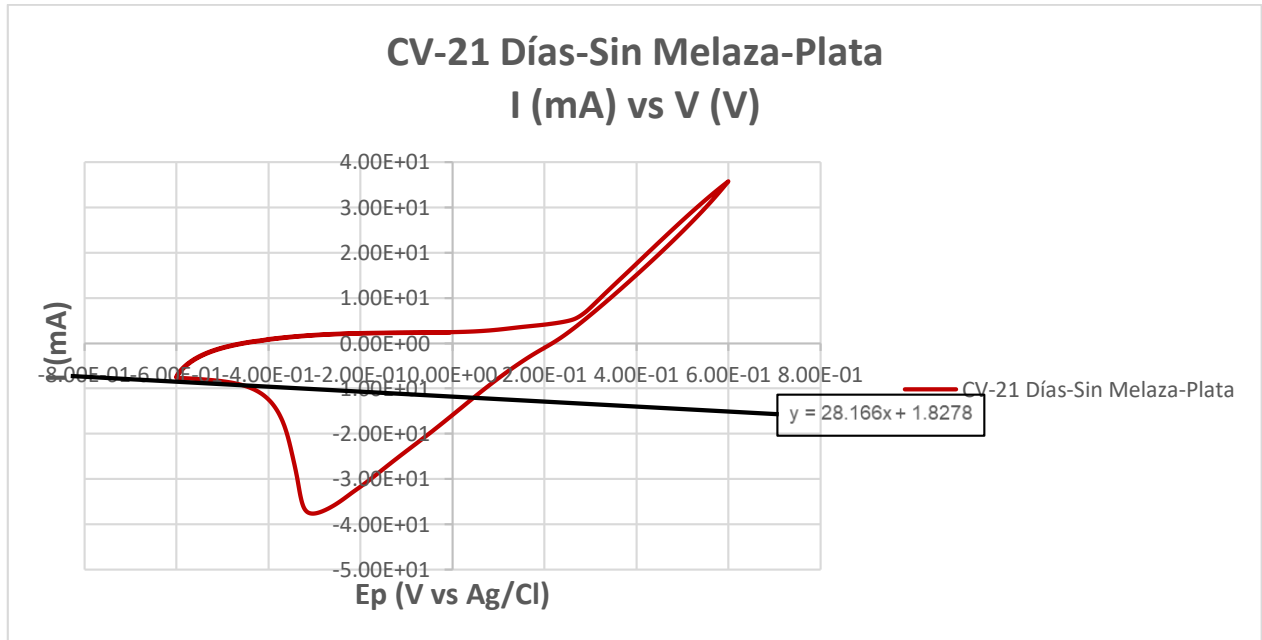


Figura 8.51 CV-21 Días-sin Melaza-Plata

Elaborado por: (Quinaluiza, 2023)