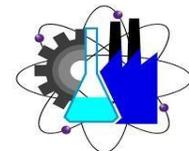




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE  
MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería



**MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES**

**RECUPERACIÓN Y REUTILIZACIÓN SUSTENTABLE DE LOS DESPERDICIOS AGRÍCOLAS  
DE *Persea americana* COMO INHIBIDOR EN SUPERFICIES METÁLICAS**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES**

PRESENTA

**Biól. Dalia García Rosas**

**Directora:** Dra. Areli Rizo Aguilar

**Codirector:** Roy López Sesenes

CUERNAVACA, MORELOS

DICIEMBRE 2022

## **DEDICATORIA**

*Este proyecto no solo representa un logro académico, es más bien una etapa de mi vida donde me volví a probar la capacidad de que tengo para desarrollarme en diferentes áreas y eso me enorgullece.*

*Durante este periodo pasé por situaciones difíciles de mi vida, pero fui saliendo adelante, confiando siempre en a Dios, y con el apoyo de personas a las que amo mucho. Gracias por estar a mi lado cuando lo necesite, siempre con unas palabras de aliento y motivándome a seguir adelante.*

*Esta tesis es dedicada a las personas que siempre han estado para mi incondicionalmente, que me han ayudado a llegar hasta donde estoy.*

*A mis padres Alejandra y César, GRACIAS POR TODO*

*A mi Lunita quien es la mayor motivación que tengo. POR TI Y PARA TI*

*A mi hermano César.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al programa académico de la Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables, por darme la oportunidad de tener un crecimiento profesional y realizar mis estudios en este programa.

Agradezco al CONACYT por el financiamiento otorgado para llevar a cabo este proyecto de investigación.

Agradezco a mis asesores Dra. Areli Rizo Aguilar y Dr. Roy López Sesenes por la oportunidad, confianza y sobre todo la motivación que me brindaron para llevar a cabo este proyecto.

Al Centro de Investigación en Ingenierías y ciencias aplicadas (CIICAp) por permitirme llevar a cabo la parte experimental de esta investigación.

A mi comité tutorial:

Dra. Ave María Cotero Villegas, Dr. Álvaro Torres Islas, Dra. Viridiana Aydeé León Hernández, por sus valiosas aportaciones y observaciones en esta investigación.

Al Sr. Aurelio Amaranto Jiménez Tapia por su apoyo y disposición, para coleccionar de sus huertos de aguacate material para este proyecto de investigación.

A la Dra. María del Carmen Torres Salazar por la asesoría que me brindo.

Agradezco a mi querida Paty por la gran amistad que ahora nos une, por ser mi hermana académica y estar ahí cuando se necesitaba, muchas gracias.

A mis compañeros Isra, Dany, Belí, Gaby, Oscar, José, Néstor, por el apoyo brindado en el parte experimental de este proyecto y sobre todo por los buenos momentos que hicieron más fácil este camino.

A mis familiares, Javier, Eli, Diana, Liz, y muchos más que desde el inicio de este posgrado me han apoyado en todo lo que necesitado.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
CAPÍTULO 1.....	4
<b>1.1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
1.2.1 Aprovechamiento de residuos .....	8
1.2.2 Identificación de la oportunidad.....	11
1.2.3 Métodos de protección en estructuras metálicas .....	14
1.2.4 Corrosión .....	16
1.2.5 Celda Electroquímica.....	24
1.2.6 Pruebas electroquímicas.....	25
CAPÍTULO 2.....	29
<b>2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2 JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3 OBJETIVOS.....</b>	<b>30</b>
2.3.1 Generales .....	30
2.3.2 Específicos .....	30
CAPÍTULO 3.....	31
<b>3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>31</b>
3.1.1 Recolección de Desechos.....	31
3.1.2 Materiales.....	31
3.1.3 Preparación de los materiales de Prueba.....	32
3.1.4 Preparación del extracto .....	33
3.1.5 Preparación de medio electrolítico .....	35
3.1.6 Preparación de inhibidor .....	36
3.1.7 Pruebas electroquímicas .....	36
3.1.8 Prueba de Pérdida de Peso .....	38
CAPÍTULO 4.....	39
<b>4.1 RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
4.1.1 Obtención del Extracto Hexánico .....	39
4.1.2 Caracterización química .....	40
4.1.3 FTIR de <i>Persea americana</i> .....	42
4.1.4 Pruebas Electroquímicas con hexano .....	45
4.1.4.1 <i>Potencial a Circuito Abierto (OCP)</i> .....	45

4.1.5 Pruebas Electroquímicas con Metanol .....	56
4.1.6 Pruebas gravimétricas .....	65
4.1.7 Análisis de SEM.....	66
4.1.8 Microestructura de AA2024 .....	67
<b>4.2 DISCUSIÓN .....</b>	<b>69</b>
CAPÍTULO 5.....	72
<b>5.1 CONCLUSIONES .....</b>	<b>72</b>
PERSPECTIVAS .....	73
BIBLIOGRAFÍA .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Principales municipios productores de aguacate en Morelos. ....	14
Figura 1. 2 Corrosión generalizada. ....	17
Figura 1.3 Corrosión por picadura. ....	18
Figura 1. 4 Corrosión bajo tensión. ....	19
Figura 1.5 Corrosión intergranular. ....	20
Figura 1.6 Corrosión galvánica. ....	20
Figura 1.7 Corrosión por cavitación. ....	21
Figura 1.8 Corrosión por fatiga. ....	22
Figura 1.9 Corrosión por erosión. ....	23
Figura 1. 10 Modelo de celda electroquímica. ....	24
Figura 3.1 Recolección de hojas de P. americana. ....	31
Figura 3.2 Probeta de Aluminio 2024. ....	32
Figura 3.3 Probetas de Aluminio 2024 encapsulada con resina epóxica. ....	33
Figura 3.4 Preparación de la extracción. ....	34
Figura 1.5 Cromatografía en capa fina. ....	35
Figura 4.1 Abundancia de compuesto de extracto hexánico. ....	40
Figura 4.2 FTIR espectro de extracto hexánico con hoja de P. americana. ....	43
Figura 4.3 FTIR espectro de extracto de metanol con hoja de P. americana. ....	44
Figura 4.4 Comportamiento de potencial a circuito abierto (OCP) vs tiempo de exposición para el AA2024 inmerso en NaCl 0.5M. ....	46
Figura 4.5 Evaluación mediante Impedancia del extracto obtenido con hexano en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, en solución de NaCl 0.5M. ....	47
Figura 4. 6 Evaluación mediante Impedancia del extracto obtenido con hexano en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, en solución de NaCl 0.5M. ....	49
Figura 4.7 LPR del extracto obtenido con hexano en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco en NaCl 0.5M. ....	50
Figura 4.8 Ruido electroquímico del extracto obtenido con metanol, en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, en solución de NaCl 0.5M. ....	53
Figura 4.9 Curva de polarización del extracto obtenido con hexano en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, evaluado en solución de NaCl a 0.5M. ....	55
Figura 4.10 Comportamiento de potencial a circuito abierto (OCP) vs tiempo de exposición para el AA2024 inmerso en NaCl 0.5M. ....	57
Figura 4.11 Evaluación mediante Impedancia del extracto obtenido con metanol en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, en solución de NaCl 0.5M. ....	58
Figura 4.12 Evaluación mediante Impedancia del extracto obtenido con metanol en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, evaluado en solución de NaCl 0.5M. ....	59
Figura 4. 13 LPR del extracto obtenido con hexano en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, evaluado en NaCl 0.5M. ....	60
Figura 4.14 Ruido electroquímico del extracto obtenido con metanol, en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, en solución de NaCl 0.5M. ....	62
Figura 4.15 Curva de polarización del extracto obtenido con metanol en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, evaluado en solución de NaCl 0.5M. ....	63

Figura 4.16 Microscopía SEM de aleación AA2024 prueba en blanco, evaluado en solución de NaCl 0.5M.	66
Figura 4.17 Microscopía SEM de aleación AA2024 prueba en 200 ppm, evaluado en solución de NaCl 0.5M.	66
Figura 4.18. Imagen de SEM de AA2024	67
Figura 4.19 Superposición de los espectros registrados en AA2024.	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Composición química de aleación AA2024.	31
Tabla 3.2 Cantidad de solvente hexano y metanol.	34
Tabla 3.3 Cantidades de medio electroquímico y concentración del extracto dependiendo de las ppm para las pruebas electroquímicas.	36
Tabla 4.1 Cantidad de extracto obtenido por el método Soxhlet utilizando el solvente de hexano.	39
Tabla 4.2 Compuestos encontrados en el extracto hexánico.	41
Tabla 4.3 FTIR de picos de hoja de <i>P. americana</i> en extracto hexánico.	42
Tabla 4.4 FTIR de picos de hoja de <i>P. americana</i> en extracto de metanol.	44
Tabla 4.5 Valores de Resistencia a la transferencia de carga $R_{tc}$ en cada concentración.	48
Tabla 4.6 Valores de LRP en diferentes concentraciones.	51
Tabla 4.7 Valores obtenidos en la prueba de Curva de Polarización.	55
Tabla 4.8 Cantidad de extracto obtenido por el método Soxhlet utilizando el solvente de metanol.	56
Tabla 4.9 Valores de LRP en diferentes concentraciones con metanol.	61
Tabla 4.10 Valores obtenidos en la prueba de Curva de Polarización.	64
Tabla 4.11 % Eficiencia de pérdida de peso del Aluminio en NaCl 0.5 M con extracto de <i>P. americana</i> con hexano a diferentes concentraciones, durante 72h.	65
Tabla 4.12 % Eficiencia de pérdida de peso del AA-2024 en NaCl 0.5 M con extracto de <i>P. americana</i> con metanol a diferentes concentraciones, durante 72h.	65

## **RESUMEN**

La corrosión es uno de los problemas del deterioro de los materiales que se utilizan en la industria, una gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos han sido investigados como sustancias que inhiben la corrosión de distintos metales y aleaciones. Por lo que en el presente trabajo de investigación se analizará la eficiencia del uso del desecho de la hoja del aguacate, como inhibidor de corrosión en AA 2024 expuesto a un medio corrosivo de NaCl 0.5M. ya que debido a sus activos químicos cuenta con un potencial para diseñar un inhibidor de corrosión, el cual sea eficaz y viable para la industria, además de no ser tóxico al ambiente, y por ende a la salud humana, de esta forma se ayudaría a reducir contaminantes ambientales ya que existen datos que muestran el impacto negativo que tienen estos desechos hacia el ambiente. El obtener extractos de plantas y estudiar sus partes activas permite conocer aún más los recursos naturales con que se cuenta y así, darles un mejor aprovechamiento, proporcionando un mayor valor agregado al comercializarlas como productos puros o como extractos. A fin de conocer la eficiencia del inhibidor, se llevaron a cabo pruebas de Pérdida de Peso y electroquímicas como las técnicas de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS), Potencial a Circuito Abierto (OCP), Resistencia a la Polarización Lineal (LPR) y Curvas de Polarización.

## **ABSTRACT**

Corrosion is a common problem in the metallic materials since it takes place on the surface due to the aggressive compounds present in the working environment where they are employed. To reduce the adverse effect generated by this aggressive mix, a lot of efforts have been focused in developing new compounds both organic and inorganic to be used as corrosion inhibitors. The avocado leaves based on the literature contain benefic compounds such as flavonoids and phenolic groups which they have been reported as the responsible for inhibition. It is important to observe that the avocado leaves are considered as biomass-waste generating adverse effects in the environment; in this way, it is possible to reduce the amount of the avocado leaves waste through an adequate reutilization of it. Based on the latter, In the present research is analyzed the effect of the avocado leaf extract as a corrosion inhibitor for the aluminum alloy AA2024-T3 immersed in NaCl 0.5 M in presence and absence of inhibitor. Electrochemical techniques and gravimetric tests were proposed to evaluate its resistance with the objective to minimize the corrosion effect on the metal surface.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático se refiere a los cambios de las temperaturas y los patrones climáticos, tanto pueden ser de forma natural o por actividades humanas que en los últimos años ha sido el principal motor del cambio climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles.

En México el sector agropecuario reporta las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en las actividades pecuarias como lo son la fermentación entérica del ganado y manejo del estiércol, las emisiones GEI procedentes de la combustión de residuos agrícolas consisten en los gases metano y óxido nitroso producidos por la combustión de un porcentaje de residuos agrícolas quemados in situ, también se incluyen las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O por el uso de combustibles con fines energéticos, utilizados principalmente en sistemas de riego. Las emisiones del sector agropecuario fueron de 80,169.09g de CO<sub>2</sub>e, el cual contribuyó con 12.0% de las emisiones totales de GEI a nivel nacional, (INECC, 2015).

Existen varias acciones que se han estado llevando a cabo en cuanto al cambio climático que pueden aportar beneficios económicos al tiempo que mejoran nuestras vidas y protegen el medio ambiente, una de estas acciones es el dar un segundo uso a los residuos en este caso a los agrícolas, sobre todo con los productos que llegan a tener un gran potencial en su consumo y que cuente con un alcance.

El aguacate es un fruto que cuenta con propiedades nutricionales excepcionales; en el país su producción ha crecido notablemente en los últimos años, obteniendo el liderazgo mundial de esta agroindustria (Hernández, 2018). Asociado al creciente volumen de la producción del aguacate como fruta, existe una muy considerable cantidad de desechos tanto en los procesos de producción y cosecha en los campos agrícolas, como en las actividades de almacenamiento, transporte y distribución, ya que se estima que alrededor del 50% son cascara y semillas las cuales su fin es la basura, por tal motivo se impulsa a encontrar alternativas que mejoren el aprovechamiento de los desechos de este fruto y crear tecnologías emergentes que tengan como meta ayudar a disminuir de manera sustancial la generación de desechos mediante políticas de prevención, reducción, reciclaje y reutilización (ODS,2015), con el objetivo de obtener productos que sean atractivos a industrias como la cosmética, la alimentaria y la farmacéutica, incluso que sean viables para la producción de biocombustible. (Hernández, 2018; Zabalegui, *et al* 2018).

Uno de los productos que podría ser económico y viable para la industria son los inhibidores orgánicos a partir de desechos ya que son eficaces para la corrosión debido a la gran cantidad de compuestos químicos tales

taninos y flavonoides (D R Gusti, I Lestari, F Farid, P TSirait, 2019) que estos contienen y que han sido encontrados en extractos de otros productos que han demostrado tener una alta eficiencia en la mitigación de los procesos de corrosión.

Este trabajo tiene como alcance la obtención de los compuestos activos de *Persea americana*, para brindar una alternativa de utilización de estos desechos agroindustriales y de esta forma hacer inhibidores verdes de corrosión, realizando diferentes pruebas electroquímicas y de pérdida de peso, con esto se estaría beneficiando al medio ambiente, sociedad y economía los cuales son parte de los tres ejes de la sustentabilidad.

# CAPÍTULO 1

## 1.1 ANTECEDENTES

En los últimos años se ha tomado de referencia el documento “Nuestro Futuro Común” o “Informe Brundtland” publicado en 1987, para llevar a cabo investigaciones dirigidas a prácticas sustentables, ya que este documento se centra en la definición estratégica del desarrollo sostenible, que responde a temas y necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones por venir para satisfacer sus necesidades (Boada y Toledo, 2003), teniendo como pilares lograr de manera equilibrada, el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente. (Asamblea General de la ONU, 2018).

Por lo anterior es de suma importancia puntualizar que el de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible llevada a cabo en Nueva York la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, la cual fue adoptado por los 193 Estados Miembros de las Naciones Unidas, ya que es una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino para mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás. La Agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta el combate al cambio climático, la educación, la igualdad de la mujer, la defensa del medioambiente o el diseño de nuestras ciudades. (ONU México, 2020). Uno de los términos ligado a estos es la economía circular, un sistema económico que se basa en modelos de negocio que sustituyen el concepto de “fin de vida” por la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en procesos de producción/ distribución y consumo, operando así a nivel micro (productos, empresas, consumidores), nivel meso (parques eco-industriales) y nivel macro (ciudad, región, nación y más), con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible, que implica crear calidad ambiental, prosperidad económica y la equidad social, en beneficio de las generaciones actuales y futuras” Kirchherr et al., (2017).

La utilización de extractos de productos naturales en este caso desechos agrícolas como inhibidores de la corrosión de diferentes metales, ya sea en medios ácidos o en otros ha llegado a ser ampliamente estudiada:

Agraje *et al* 2019 realizó una investigación en la cual consistía en comparar inhibidores verdes a base de frutas en este caso aguacate y manzana verde contra los inhibidores tradicionales. Para el diseño experimental se utilizaron tres tratamientos y un control, los inhibidores verdes fueron preparados con las siguientes partes del fruto: pulpa de aguacate, extracto de cascara de manzana y pulpa de manzana verde. Con estos 3 tipos de

inhibidores a base de frutos se pudo estudiar los niveles de corrosión en los metales, mediante la pérdida de peso presentada en las láminas de acero al carbono A36. Las placas metálicas fueron expuestas a un ambiente marino y a un ambiente controlado en el laboratorio. Como resultado obtuvieron que el inhibidor a base de aguacate fue el más eficiente, esto se debió a que pudo reducir con mayor eficiencia la velocidad de corrosión en las placas de metal, estos inhibidores al no contar con los mismos compuestos que los inhibidores industriales su porcentaje de inhibición puede ser menor, pero si puede ser utilizado como una alternativa para detener el proceso de corrosión.

En el Congreso Internacional de Ingeniería y Ciencias Químicas (CHEMSCIE 2018) se presentó un trabajo en el cual se utilizaron desechos de un fruto, se realizó una síntesis de un extracto de aceite de aguacate y se evaluó el efecto que tendría como inhibidor de corrosión en una solución de cloruro de sodio con dióxido de carbono en condiciones de flujo. Para la metodología se utilizaron pruebas electroquímicas y para la evaluación del fenómeno de corrosión se empleó la técnica de Resistencia a la polarización. Los resultados mediante impedancia electroquímica reportan una eficiencia del 90 % y la presencia de una película orgánica sobre la superficie metálica.

Saavedra-Navarrete, 2017, Desarrollo un proyecto el cual tenía por objetivo estudiar la factibilidad de utilizar residuos de la industria agroalimentaria como inhibidores de corrosión en diferentes condiciones de operación, comparándolos contra un inhibidor de corrosión conocido. Entre los inhibidores estudiados, se probaron dos a base de residuos agroindustriales, provenientes de la destilación del limón y de la cáscara de mango, enfocándose en el análisis del comportamiento de la corrosión del aluminio y del acero en un medio ácido, la eficiencia de los inhibidores fue mayor a un 60%, siendo el mango el que aportó una mayor eficiencia, demostrando que los residuos agroindustriales pueden aprovecharse para cuidar del medio ambiente.

Manimegala *et al.* 2017 realizaron un estudio en el cual utilizaron una especie de alga parda, para observar que tan eficiente era como inhibidor de corrosión del acero dulce inmerso en una solución de cloro con y sin ausencia de  $Zn^{2+}$ , los cuales son compuestos no tóxicos, biodegradables y amigables con el medio ambiente para los procesos de inhibición, para realizar la metodología se utilizaron técnicas de control de la corrosión adoptadas a el mismo como pérdida de peso y pruebas electroquímicas.

En el 2016 Onen y Jacob, presentaron un estudio, el cual consistía en evaluar las propiedades inhibidoras de corrosión de dos frutos, el *Ficus carica* y *Vitellaria paradoxa* trabajando con muestras de latón en soluciones

de HCl, estos frutos fueron puestos en la mesa por la presencia que tienen de componentes químicos como los alcaloides que pueden ayudar a mitigar la corrosión, para este estudio se utilizó medidas de pérdida de peso, tomando en cuenta que la velocidad de la corrosión y la eficiencia del inhibidor dependen de la temperatura teniendo como resultado una reacción de primer orden, encontrando que *Ficus carica* puede funcionar mejor que *Vitellaria paradoxa*, con estos resultados se pudo concluir que los extractos de plantas pueden contribuir en gran medida a los procesos de inhibición que se requieran.

El proyecto realizado por Berrocal y Altamiranda en el 2013 consistió en evaluar la eficiencia de la pulpa del aguacate como potencial inhibidor de corrosión para metales como el acero al carbón y el aluminio, los cuales fueron expuestos a medios ácidos, además de realizarse una comparación de desempeño como inhibidor con el tabaco, para este proyecto se llevó a cabo un estudio de pérdida de peso, con el fin de determinar la velocidad de corrosión en presencia y ausencia del aguacate y se realizaron pruebas fitoquímicas para determinar la composición del aguacate y el tabaco. Como resultados obtuvieron que el aguacate para la prueba de pérdida de peso obtuvo una mejor eficiencia, a diferencia del tabaco y un muy porcentaje de inhibición en el acero al carbón que, en el aluminio, en el caso de las pruebas fitoquímicas, el estudio mostro que ambos extractos poseen una cantidad de taninos que se relacionan con el potencial de inhibición, lo que lleva a que el aguacate puede ser utilizado como un inhibidor para la industria ya sea de forma preventiva o de control.

Eddy y Odiongenyi (2010) realizaron una investigación con el propósito de estudiar las características inhibitoras y adsorptivas del extracto etanoico de *Heinsia crinata* para la corrosión del acero dulce en soluciones de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Para evaluar la eficiencia se utilizaron técnicas de pérdida de peso, termométricas y de desprendimiento de hidrógeno, mientras que las propiedades de adsorción las estudiaron mediante espectroscopio. Como resultados obtuvieron que la eficiencia de la inhibición del extracto etanoico de *Heinsia crinata* varía con la concentración del extracto, el período de inmersión y la temperatura, además el extracto actuó como inhibidor de adsorción ya que tiene una composición fitoquímica, por todo lo anterior este inhibidor es compatible con el medio ambiente pudiéndose aplicar a superficies metálicas y en revestimientos de superficies.

La eficiencia de inhibición con extracto de *Opuntia* frente la corrosión acida del aluminio se puso a prueba mediante técnicas de pérdida de peso, termometría, desprendimiento de hidrógeno y polarización, de las cuales se obtuvo que el extracto actúa como un buen inhibidor de la corrosión del aluminio en una solución acida, además de proporcionar protección al aluminio contra la corrosión por picaduras en soluciones que contienen cloruro y aumenta la energía de activación de la reacción de corrosión y su eficiencia es proporcional a la concentración del extracto (El-Etre, 2003).

Como hemos podido notar el aprovechamiento de los desechos de productos se ha convertido en un tema de gran interés por los diversos beneficios ambientales y económicos obtenidos, que promueven un desarrollo sustentable ya que pueden cumplir alguna función en alguna de estas categorías de empleo como lo son:

- 1) obtención de bioenergéticos (bioetanol, biodiésel, biogás, biomasa energética)
- 2) proceso de compostaje
- 3) aprovechamiento en la producción de alimentos para animales
- 4) elaboración de otros productos de interés (ladrillos, composites, estibas, entre otros)

## 1.2 MARCO TEÓRICO

### 1.2.1 Aprovechamiento de residuos

#### 1.2.1.1 *Perspectiva general*

Los residuos agroindustriales son materiales sólidos o líquidos generados a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización. La gestión de estos residuos suele ser inadecuada y su tratamiento final y eliminación pueden tener varios impactos ambientales.

El aprovechamiento adecuado de los residuos agroindustriales para generar productos de interés comercial y/o social de manera sustentable es una estrategia que se lleva a cabo para la solución de estos problemas (Gutiérrez-Macias, et al).

Para el desarrollo sostenible, el objetivo ambiental de Economía Circular es reducir el material virgen del sistema de producción consumo y los insumos de energía y desechos y las emisiones (rendimiento físico) mediante la aplicación de ciclos de materiales y cascadas de energía basadas en energías renovables. El objetivo económico es reducir los costes de materias primas y energía del sistema de producción consumo económico, gestión de residuos y costes de control de emisiones, riesgos de la legislación / imposición (medioambiental) e imagen pública, así como innovar diseños de nuevos productos y oportunidades de mercado para negocios. El objetivo social es la economía colaborativa, el aumento del empleo (Seppälä, Honkasalob, & Korhonena, 2017).

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), define a los residuos como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; los cuales pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley (DOF, 2018). Por lo anterior es de suma importancia puntualizar que el contar con una gestión integral de los residuos nos llevara a hacia la sustentabilidad, basándose en estrategias que prevean las opciones para reducir la cantidad de residuos que actualmente se generan, para que puedan ser reutilizados o constituirse en una materia prima secundaria para un nuevo proceso industrial, o utilizados para generar energía alternativa, desplazando así a los combustibles fósiles y disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero, brindando beneficios al ambiente, la sociedad y la economía (ONU, 2011; SEMARNAT, 2019).

Cuadros, 2008 y Castells, 2012, definen a los residuos agrícolas como el material que se genera a partir de cultivos de bulbos, leña o hierba, paja y a los producidos en el desarrollo de actividades propias del sector, como

son la poda de árboles frutales, resto de cultivos o la limpieza que se realiza en el campo, con el fin de evitar plagas.

Dentro de las Alternativas de Valorización para los Residuos Agroindustriales, podemos considerar tres grupos de tecnologías para recuperación de estos desechos como lo son: la valorización biológica y química, la obtención de combustibles (derivados de desechos) y la valorización térmica. El darle un valor biológico o químico a estos residuos permite efectuar la disposición final de los residuos orgánicos para obtener gases, líquidos o sólidos que pueden ser comercializados, tal es el caso de los aceites esenciales, los cuales están constituidos principalmente por terpenos, estos pueden extraerse de las flores, hojas, semillas, frutos, cortezas, raíces o de la madera (Ochoa, 1998), también podemos extraer flavonoides y carotenoides que son pigmentos naturales presentes en las frutas y en los vegetales, así como en el café, la cocoa y la cerveza, que protegen del daño de los oxidantes, como los rayos ultravioleta (Fennema, 1993), al igual que los carotenoides.

Durante mucho tiempo, el desecho de subproductos no era una causa de general interés, sobre todo si el interés principal de los productores era incrementar la producción de alimentos, sin un particular interés en el aprovechamiento de los residuos o el impacto medio ambiental que estos producían. En la actualidad debido a la demanda de energía, reducción de costos, la reducción en pérdida de alimentos, la generación de desechos y la creciente preocupación por los signos de degradación de los recursos naturales como son el descenso en biodiversidad, campos de cultivo y agua, se ha generado un aumento en la concienciación social con miras en satisfacer demandas globales futuras, (Melgar, 2019). La combinación del aumento en producción de desechos industriales y la preocupación por el medio ambiente, ha llevado a nuevos planteamientos en la industria alimentaria ya que ha pasado de solo prestar interés en temas económicos y la mejora en la producción, sino también se ha enfocado en el impacto medioambiental negativo que generan los flujos de desecho.

Con el paso del tiempo se han ido definido criterios de selección de los residuos para ser aprovechados con fines biotecnológicos, como lo es, que el material pueda ser sometido a extracciones para recuperar alguno de sus componentes que tenga un mercado demandante, que el residuo esté disponible localmente y en las cantidades necesarias para asegurar la fabricación de un producto de interés, que no requiera pretratamiento, y en caso de requerirlo, que éste sea sencillo y económico, que la disponibilidad del residuo permita planificar el proceso para el cual se va a utilizar y que sea estable, es decir, que no se descomponga fácilmente bajo las condiciones ambientales del sitio donde se genera (Saval, 2012).

Actualmente la sostenibilidad tiene como eje de interés global, la posibilidad de satisfacer necesidades y

aspiraciones del presente, sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras de disfrutar de las mismas, como fue definido en el informe de Brundtland (1987) tomando en cuenta lo anterior, existen múltiples líneas que se están adoptando dentro de la sociedad y los cuales dependen directamente del consumidor, como el consumo de alimentación local y reducción de desperdicio de alimentos. Cabe mencionar que las industrias agroalimentarias tienen mucho mayor peso, en este tema algunos ya que pueden llevar a cabo la aplicación de tecnologías de mitigación de producción de gases invernadero, flujos de desecho y uso responsable del agua.

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático en 2018 presentó datos correspondientes a las emisiones emitidas en el país las cuales corresponden a 683 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente (MtCO<sub>2e</sub>) de gases efecto invernadero (GEI) para el año 2015, de las cuales 64% correspondieron al consumo de combustibles fósiles; 10% se originaron por los sistemas de producción pecuaria; 8% provinieron de los procesos industriales; 7% se emitieron por el manejo de residuos; 6% por las emisiones fugitivas por extracción de petróleo, gas y mineras y 5% se generaron por actividades agrícolas.

En la actualidad, en algunos campos agrícolas utilizan la quema de residuos como parte de los preparativos para el siguiente ciclo de producción. Esta práctica trae como consecuencia efectos nocivos sobre la biota del suelo, disminuye la fertilidad y provoca emisiones adicionales de gases de efecto invernadero perdiéndose un recurso que podría ser utilizado para la producción de energía, en alimentación animal y humana, abonos, obtención de biogás, en la extracción de aceites esenciales, pectinas, flavonoides, entre otros. (FAO, Yepes *et al.*, 2008), lo anterior traería beneficios económicos. Sin embargo, la mayoría de estos residuos agrícolas no tienen algún plan de manejo integral de residuos, por lo tanto, los ubican junto con la basura en los vertederos o rellenos sanitarios, o son quemados en el sitio.

La preocupación por la conservación del medioambiente y las nuevas legislaciones para controlar la emisión de sustancias tóxicas dañinas para la vida en el planeta, condujo al estudio de los extractos de plantas y frutos (Tejeda *et al.*, 2014), una de las investigaciones que se ha estado llevado a cabo es el aprovechar los residuos de la producción agrícola y agro industrial, para darles valor agregado mediante la extracción de compuestos bioactivos (Cury *et al.*, 2017), de esta forma generar beneficios para los productores, además que permite dar solución a diferentes problemas ambientales originados por la generación y acumulación en los vertederos de basura causando contaminación ambiental y focos de proliferación de plagas (Núñez y Williams, 2012; Yepes *et al.*, 2008). Estos desechos cuentan con una cantidad de compuestos bioactivos elevada; por lo que una alternativa para evitar su pérdida es generar estrategias para su aprovechamiento y manejo (Istúriz-Zapata, *et al.* 2019).

### 1.2.2 Identificación de la oportunidad

Los procesos agroindustriales generan una cantidad considerable de subproductos, los cuales hoy en día pueden ser considerados una fuente de moléculas nutritivas, energéticas o con otras capacidades comerciales, las cuales pueden ser de uso en otras áreas (Agraje *et al*, 2019). Actualmente, se han llevado a cabo múltiples estudios específicos para confirmar y determinar los mecanismos de acción de diferentes compuestos químicos que contienen estos subproductos, como lo son los fenoles y polifenoles, estos confieren sus múltiples propiedades: antioxidantes, analgésicas, antitumorales, antiinflamatorias, ansiolíticas, cardio protectoras, antimicrobianas, entre otras. Aunque cuentan con tantas propiedades, el potencial antioxidante de los compuestos fenólicos es sin duda uno de los más estudiados, tanto en extractos vegetales, como en moléculas aisladas (Melgar, 2019).

Uno de los aprovechamientos potenciales que se ha estado llevando a cabo para la utilización de los residuos agroindustriales es la extracción de sustancias químicas las cuales representan un recurso renovable que puede ser empleada en diferentes campos, ya que son una fuente muy rica de compuestos químicos naturales que se pueden extraer por medio de procedimientos simples de bajo costo y son biodegradables por la naturaleza (Instituto de Estudios Ambientales IDEA, 2017), un ejemplo de su uso son los inhibidores de corrosión a base de extractos naturales, los cuales han sido una alternativa para prevenir y controlar este fenómeno, ya que, al estar presentes en concentraciones adecuadas, el inhibidor reduce la velocidad de la corrosión (Berrocal y Altamiranda, 2013).

Investigaciones previas han mostrado resultados positivos, al estar utilizando extractos de frutas, hojas y flores, en los cuales están presentes un gran número de compuestos químicos, especialmente heterocíclicos, que inhiben la corrosión de manera eficiente (Tejeda, *et al*, 2014), a pesar de que los inhibidores de corrosión sintéticos son ampliamente utilizados en el control y prevención de este fenómeno por su gran efectividad al momento de disminuir la corrosión, también tiene desventajas al no ser biodegradables, teniendo un alto potencial de toxicidad, lo cual genera también graves problemas para la salud humana y para el medio ambiente (Corona, *et al*, 2016, Tejeda, *et al* 2014). Por lo anterior la presente investigación tendrá como propósito recuperar y reutilizar los desechos del aguacate tomando en cuenta al menos una de las metas de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), estudiando la eficiencia de inhibición del extracto del desecho del aguacate como inhibidor en la corrosión de superficies metálicas en una solución ácida, mediante diferentes técnicas, como la pérdida de peso.

El alcance de este estudio va a permitir desarrollar nuevas tecnologías que sean compatibles con el ambiente y que ayuden a lograr una gestión ecológicamente racional de los desechos, además de estimar el potencial que tiene este fruto, como materia prima para la producción de un eficaz y amigable inhibidor con el medio ambiente, el cual ayudara la prevención de la corrosión de metales en la industria.

Diferentes estudios se han llevado a cabo en los cuales utilizan los subproductos y tienen algún beneficio como en el caso del jugo de albaricoque actúa como un inhibidor de la corrosión del acero suave con una eficacia de inhibición máxima al 75%. Otro estudio con este mismo fin demuestra que la cáscara de manzana como inhibidor verde ante un medio corrosivo formado por una solución de ácido clorhídrico (HCl) 0.5 M a temperatura ambiente. Mediante los resultados obtenidos por medio de espectroscopia de impedancia electrónica, curvas de polarización potenciodinámicas y pérdida de peso, muestran tendencias similares conforme aumenta la concentración del extracto. Durante las pruebas, la máxima eficiencia es por pérdida de peso, obtenida a cuatro horas, 25°C con 500 µL de extracto. Para esto, utilizaron diferentes solventes, entre ellos el metanol y la acetona; concluyendo que la acetona era más efectiva en medios orgánicos y el metanol en medios ácidos (Gómez, 2016).

#### **1.2.2.1 Aguacate (*Persea americana*) Generalidades y composición**

El aguacate pertenece a la familia Lauraceae y al género *Persea*, El nombre del aguacate proviene del náhuatl Ahuacatl, palabra que significa “testículos del árbol”, la especie *Persea americana* Mill es frondoso y de hoja alargadas que terminan en punta en la parte alta del tronco, además de ser perennes, las cuales tienen corta longevidad, esto puede deberse principalmente a tres factores climáticos como son la presencia de escarcha durante el invierno, temperaturas medias muy bajas y temperaturas muy altas durante la formación de fruto, a pesar de esto tiene una floración muy generosa que provee frutos en un porcentaje muy alto, este árbol puede alcanzar una altura de hasta 20 m, sin embargo, cuando se cultiva no se deja crecer más de 5 m, para facilitar las prácticas de control fitosanitario, cosecha, poda y fertilización foliar. El fruto es una baya de una semilla, oval, de superficie lisa o rugosa, con rango de peso amplio (entre 120 y 250g), de color verdoso. La pulpa tiene una consistencia de mantequilla dura. Este fruto es rico en proteínas y en grasas. En la actualidad aproximadamente existen unas 400 variedades, por lo que se encuentran frutos de formas y pesos diferentes (Gallegos, 2019; Palomares, 2019; Sangines, 2008)

En general, los árboles son plantados con una distancia que va desde los 7 metros hasta los 12 metros entre sí.

De esta manera, se obtiene en una hectárea destinada a la plantación del aguacate, de 115 a 180árboles. En árboles injertados, la primera cosecha de la fruta se realiza al quinto año de vida del árbol, obteniendo por lo regular alrededor de 50 frutos en ese ciclo. Durante los siguientes años, alcanza 150 frutos en el sexto año (ciclo), 300 frutos al séptimo, llegando a 800 en el ciclo del octavo año. (Melgar, 2019).

En México no sólo existe una enorme cultura en el cultivo y consumo de este fruto, sino que representa una fuente muy importante de ingresos para el país. En los últimos años la producción de aguacate ha crecido de manera importante, entre 2002 y 2015 la tasa de crecimiento promedio anual fue de 4.2%, mientras que entre 2011 y 2015, el crecimiento promedio fue del 8.7% (SIAP, 2017).

Los principales estados productores de aguacate en el país son: Michoacán, Jalisco, México, Nayarit y Morelos (SIAP 2018). En Morelos el cultivo del aguacate se encuentra establecido aproximadamente en 2,374 hectáreas, con un número de 1,580 productores. Los principales municipios productores de aguacate por superficie y producción son Ocuituco, Tetela del Volcán, Yecapixtla, Zacualpan, Totolapan, Tepoztlán y Cuernavaca, Figura.1.1 Morelos cuenta con las condiciones climáticas aptas para el desarrollo del cultivo del aguacate. Las características fisiográficas de los terrenos donde se encuentran establecidas las plantaciones son laderas, llanos y montañas; cuenta con varios subtipos climáticos que van desde el cálido húmedo hasta el semifrío. La región productora de aguacate dispone de dos tipos de suelos que favorecen su desarrollo, andosoles y regosoles (SAGARPA, 2015). De acuerdo con el SIAP, en el Boletín mensual de producción de aguacate hasta julio de (2019), Morelos ocupa el 4° lugar, con una producción en 2019 menor respecto a 2018 de 18,360 y 19,563 toneladas respectivamente.

MORELOS  
- MUNICIPIOS -

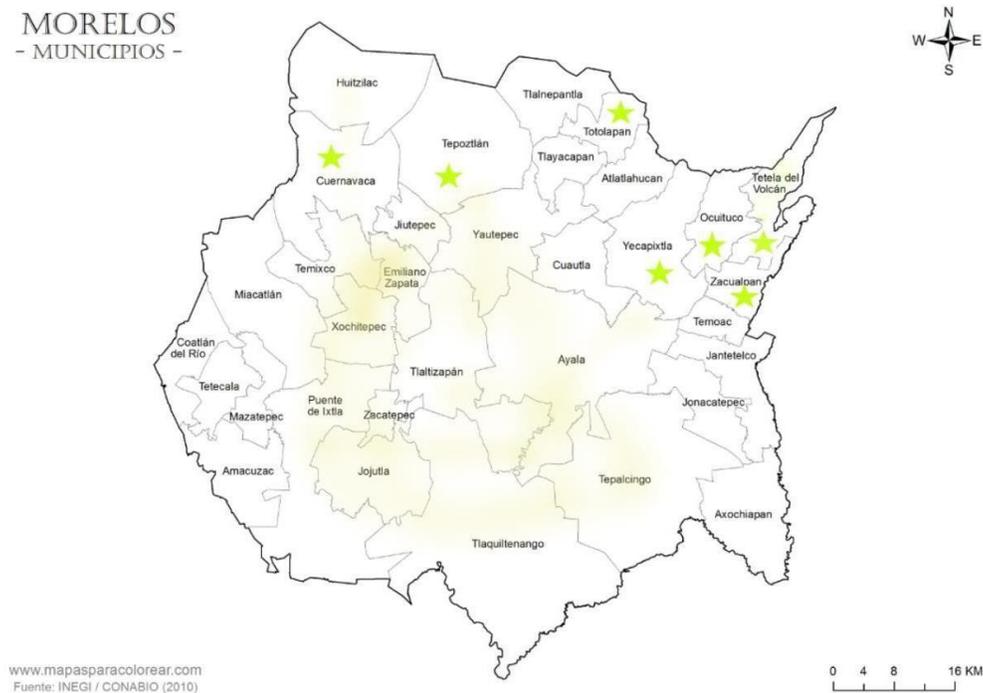


Figura 1. 1. Principales municipios productores de aguacate en Morelos.

### 1.2.3 Métodos de protección en estructuras metálicas

En general, cualquier proceso de retardo de la corrosión puede considerarse inhibición de la corrosión. La inhibición de la corrosión se ha logrado mediante la adición de un compuesto químico que inhibe la oxidación del metal. El inhibidor químico agregado al sistema puede ser en forma de líquido o vapor o ambos.

#### 1.2.3.1 Inhibidores a partir de Productos naturales

Los inhibidores industriales son utilizados para disminuir la corrosión, un inhibidor de corrosión se define como una sustancia química que, agregada en una concentración adecuada, retarda la velocidad de corrosión de un material metálico sin alterar la naturaleza del medio corrosivo (Ojeda *et al* 2006; Agraje *et al* 2019).

Los inhibidores ecológicos están atrayendo un gran interés en el campo de la corrosión gracias a su seguridad,

biodegradabilidad, aceptabilidad ecológica y renovabilidad. Estos incluyen, por ejemplo, aminoácidos, alcaloides, polifenoles y a menudo extractos de plantas distribuidos en gran medida y de bajo valor económico, incluidos los subproductos de procesos agroindustriales y residuos agrícolas. En la industria, el empleo de inhibidores inorgánicos o aromáticos son conocidos por el alto índice de contaminación que producen, ya que pueden llegar a las aguas naturales y ser distribuidos en los ecosistema afectando especies sensibles a sus componentes (Rizzo, 2004, en Tejeda *et.al*, 2014; Marzorati *et.al*, 2018) es por esto que varios investigadores han optado por elaborar inhibidores más adecuados y económicos que ayuden a prevenir la temprana corrosión en los metales y que sean amigables con el medio ambiente, debido a que los compuestos orgánicos que tienen electrones  $\pi$  y ciertos heteroátomos como el nitrógeno, el oxígeno y el azufre con propiedades donantes a través de una alta densidad de electrones pueden desempeñar un papel importante para crear una interacción específica entre las moléculas inhibitoras y los sitios corroídos en la superficie del metal (Ahmed et al, 2018; Zabalegui *et al*, 2018; Agraje *et al* 2019).

Existe registro de trabajos en los cuales se han utilizado extractos a partir de productos naturales como inhibidores de la corrosión en metales, a partir del 2002, se han estado llevando a cabo estudios con extractos vegetales y compuestos orgánicos que no sean tóxicos al medio ambiente, así como para inhibir la corrosión de diferentes metales, como aluminio, cobre, hierro y sus aleaciones, empleando derivados de ftaleínas, taninos y aminoácidos para evitar y/o disminuir la corrosión en diversos medios ya sean ácidos o alcalinos, (García, *et al.*2014).

En los extractos de plantas, están presentes un gran número de compuestos químicos, especialmente heterocíclicos, que inhiben la corrosión de manera eficiente (Oladele y Okoro, 2011 En Tejeda *et al.*, 2014). El efecto inhibitor se atribuye a la adsorción de estas sustancias orgánicas sobre la superficie del metal, que bloquea los sitios activos o forman una capa protectora (Tejeda *et al.* 2014) Los inhibidores orgánicos se utilizan en sistemas de enfriamiento y comúnmente son de tipo anicónico como el mercaptobenzotiazol (MBT), sulfatos de sodio y fosfonatos (IDEA, 2017).

La mayoría de los inhibidores sintéticos pueden ser demasiado costosos y peligrosos para los seres vivos debido a su alta toxicidad (Raja y Sethuraman, 2008 en Tejeda *et al.* 2014). El aprovechar los residuos de diferentes frutas o plantas, para crear inhibidores, los hacen adecuados para varios ámbitos uno de estos es la economía ya que estos inhibidores serían más económicos, a comparación de los actuales de forma sintética que generan altos costos para la industria.

## **1.2.4 Corrosión**

### **1.2.4.1 Fenómeno de la Corrosión**

La corrosión se define como el deterioro de un material metálico que puede incluir tanto metales puros, como aleaciones de estos, mediante reacciones químicas y electroquímicas (Ojeda *et al.* 2006, Revie y Uhlig, 2008). Es un fenómeno natural en el cual el material sufre un ataque químico o electroquímico, en detrimento de sus propiedades físicas y químicas, en medios acuosos la corrosión denota la existencia de una zona anódica (esta sufre el deterioro), una zona catódica y un electrolito, es imprescindible la presencia de estos tres elementos para que el proceso pueda llevarse a cabo (Chaieb *etal.* 2005 en Berrocal y Altamiranda. 2013; Tejeda, 2014). En términos más generales, la corrosión se define como la degradación del material causada por un ambiente agresivo. El ambiente corrosivo puede ser agua, aire, carbono, dióxido, líquidos orgánicos, sales fundidas o azufre gaseoso. Algunos corrosivos menos comunes entornos son luz ultravioleta, fragmentos de fisión nuclear y radiación gamma (Sastri, V. S, 2011)

La corrosión puede llegar a causar serios problemas y riesgos en la industria, tanto económicos como ambientales y sociales, los gastos generados por el control y prevención de este problema son enormes ya que puede ocasionar las paradas de plantas de procesos o la disminución de la eficiencia de funcionamiento de los equipos trayendo consigo accidentes como incendios, explosiones y liberación de productos tóxicos a la atmósfera, al agua o a la tierra (Tejeda, 2014).

### **1.2.4.2 Tipos de corrosión**

Existen muchos tipos de procesos de corrosión diferentes que se caracterizan dependiendo tanto de la naturaleza del material y de las condiciones del medio ambiente, donde se desarrollen. Fontana en Sastri, V. S, 2011 define ocho tipos de corrosión que se pueden basar en factores intrínsecos y modos extrínsecos.

#### **1.2.4.2.1 Corrosión generalizada (uniforme)**

La corrosión general puede ser uniforme o desigual y es la forma más común de corrosión, ocurre sobre toda la superficie del material de forma homogénea, deteriorándolo completamente. Esta se caracteriza por una reacción química o electroquímica que tiene lugar en la superficie expuesta. El metal se vuelve más delgado y eventualmente da como resultado una perforación y falla. Este tipo de corrosiones el que mayor pérdida de material provoca, pero es relativamente fácil de predecir y controlar, por lo que un accidente producido por este es poco frecuente. Se puede observar comúnmente en materiales, sobre todo en la industria de la

construcción, a base de hierro no aleado con metales inoxidables, como el níquel y el cromo. Figura 1.2 (Revie, 2011; Sastri, V. S, 2011).



*Figura 1. 2 Corrosión generalizada.*

#### 1.2.4.2.2 Corrosión por picadura

La corrosión por picadura, conocida también como pitting es una de las formas de corrosión más destructivas e insidiosas, su forma de ataque localizado que da como resultado la penetración localizada, se presenta en materiales pasivados, debido a las características geométricas del sistema, existe una acumulación de agentes oxidantes y un incremento del pH del medio, lo que propicia el deterioro de la capa pasivada, permitiendo que la corrosión se desarrolle en éstas zonas puntuales, los cuales pueden causar fallas en el equipo por perforación, acompañadas de un pequeño porcentaje de pérdida de peso de toda la estructura. Las áreas donde se incorpora una válvula de latón en tuberías de acero o galvanizadas son propensas a la corrosión por picaduras, Figura 1.3., (Salazar-Jiménez, 2105; Sastri, V.S, 2011).



*Figura 1.3 Corrosión por picadura.*

### 1.2.4.2.3 Corrosión bajo tensión

Este tipo de corrosión se observa en sistema de transportes de fluidos hechos con materiales pasivados, donde existen partículas de mayor dureza que la capa de pasivación. Estas partículas al estar en movimiento erosionan la capa pasiva, permitiendo que el proceso de corrosión se desarrolle teniendo consecuencias graves, ya que puede ocurrir en tensiones dentro del rango de estrés de diseño. Los factores importantes que influyen en este tipo de daño son la temperatura, la composición de la solución y el metal o aleación, la tensión y la estructura del metal, Figura 1.4, (Javaherdashti, 2008; Sastri, V. S,2011).



*Figura 1. 4 Corrosión bajo tensión.*

### 1.2.4.2.4 Corrosión intergranular

Esta forma de corrosión consiste en un ataque localizado en el grano y adyacente al mismo límite, causando relativamente poca corrosión de granos, pero resultando en desintegración de la aleación y pérdida de resistencia. Las impurezas en los límites de grano, el enriquecimiento de uno de los elementos de aleación o el agotamiento de uno de los elementos en las áreas del límite de grano provocan este tipo de corrosión. Figura 1.5.



*Figura 1.5 Corrosión intergranular.*

#### **1.2.4.2.5 Corrosión galvánica**

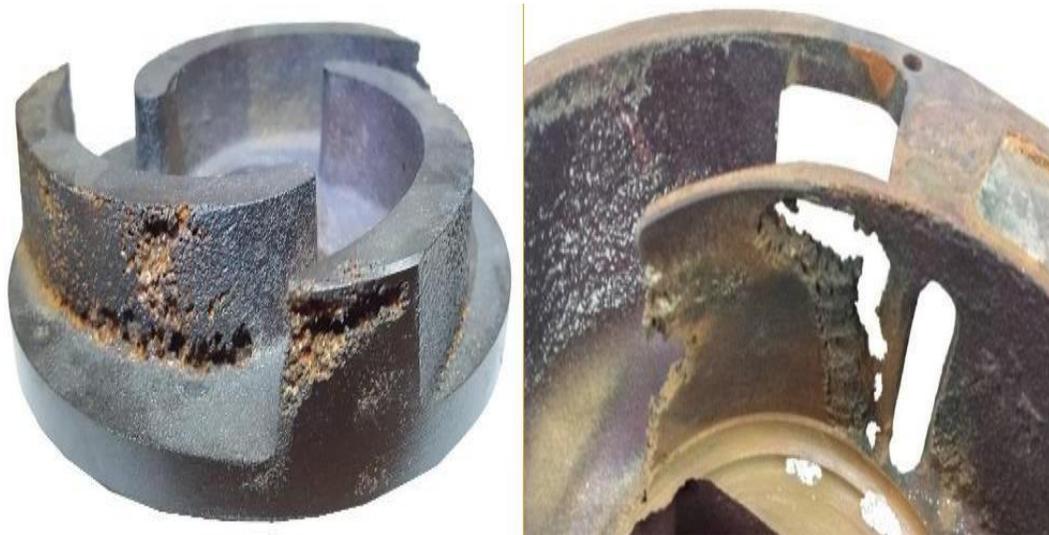
La corrosión galvánica ocurre cuando existe una unión, física o eléctrica, entre metales de diferente naturaleza lo cuales, en la presencia de un electrolito, forman una celda electroquímica, donde el metal menos resistente a la corrosión se convierte en el ánodo, y el metal más resistente a la corrosión es el cátodo. La corrosión galvánica severa ocurre cuando están involucrados un cátodo de una gran superficie y un ánodo de una pequeña superficie. La corrosión de soldaduras con o sin plomo en tuberías de cobre que transportan agua potable es un ejemplo de esta forma de corrosión, Figura 1.6. (Revie, 2011, Sastri, V. S, 2011).



*Figura 1.6 Corrosión galvánica.*

#### 1.2.4.2.6 Corrosión por cavitación

El daño por cavitación es una forma especial de corrosión por erosión causada por la formación de burbujas de vapor y su colapso en el líquido cerca de una superficie metálica. Esta forma del daño ocurren en turbinas hidráulicas, impulsores de bombas y otras superficies que están en contacto con flujo de líquido a alta velocidad junto con altas presiones. La formación y el colapso de las burbujas de vapor de agua puede producir ondas de choque con presiones tan alta que puede provocar la deformación plástica de los metales. El daño por cavitación se asemeja a la corrosión por picaduras, excepto que las áreas picadas son muy poco espaciados, lo que resulta en una superficie muy rugosa. El daño por cavitación se puede reducir mediante la selección de metales o aleaciones más resistentes a la corrosión, eligiendo un diseño para minimizar las caídas de presión hidrodinámica, o usar impulsores de bomba con un suave acabado y protección catódica, Figura 1.7 (Revie, 2011, Sastri, V. S, 2011).



*Figura 1.7 Corrosión por cavitación.*

#### 1.2.4.2.7 Corrosión por fatiga

La fatiga por corrosión consiste en el agrietamiento de materiales bajo la acción combinada de tensión fluctuante o cíclica y un ambiente corrosivo. Si bien es puramente mecánico la falla por fatiga ocurre por encima de un valor de esfuerzo cíclico crítico conocido como límite de fatiga, la fatiga por corrosión puede ocurrir en tensiones inferiores al límite de fatiga. El daño debido a la fatiga por corrosión suele ser mayor que la suma de los daños debidos a la corrosión y fatiga actuando por separado. La fatiga por corrosión difiere del agrietamiento por corrosión bajo tensión en el sentido de que ocurren en la mayoría de los medios acuosos. El mecanismo consiste en la exposición de óxido libre, metal trabajado en frío por extrusión de bandas deslizantes en granos de la superficie del metal. Estas partes del metal se vuelven anódicas y dan lugar a ranuras, que se convierten en grietas transcristalinas. Figura 1.8.



*Figura 1.8 Corrosión por fatiga.*

#### 1.2.4.2.8 Corrosión por erosión

Este tipo de corrosión se observa en sistema de transportes de fluidos hechos con materiales pasivados, donde existen partículas de mayor dureza que la capa de pasivación. Figura 1.9. Estas partículas al estar en movimiento erosionan la capa pasivada, permitiendo que el proceso de corrosión se desarrolle (Javaherdashti, 2008).



*Figura 1.9 Corrosión por erosión.*

### 1.2.5 Celda Electroquímica

Una celda electroquímica se utiliza para generar voltaje y corriente a partir de reacciones químicas o inducir reacciones químicas mediante la entrada de señales electroquímicas. El sistema electroquímico más utilizado es el sistema de tres electrodos, que consta de un WE (un electrodo en el que se produce la reacción de interés), un RE y un electrodo auxiliar (AE). El WE hace contacto con el analito ya que su superficie es el lugar donde ocurre la reacción. Después de aplicar el WE con un cierto potencial, comienza a tener lugar la transferencia de electrones entre el electrodo y el analito. La corriente observada en el electrodo pasará a través del AE para mantener el equilibrio. Los materiales conductores inertes como el platino y el grafito con áreas de superficie comparativamente grandes se usan generalmente para hacer un AE. El RE tiene un potencial de reducción conocido, pero no pasa corriente a través de él, solo actúa como referencia a la hora de medir el potencial WE. Figura 1.10. Los tres RE comunes comúnmente adoptados en el sistema de tres electrodos son el electrodo de hidrógeno estándar (SHE), el electrodo de calomelanos y el electrodo de plata / cloruro de plata (Nnamchi y Obayi, 2018).

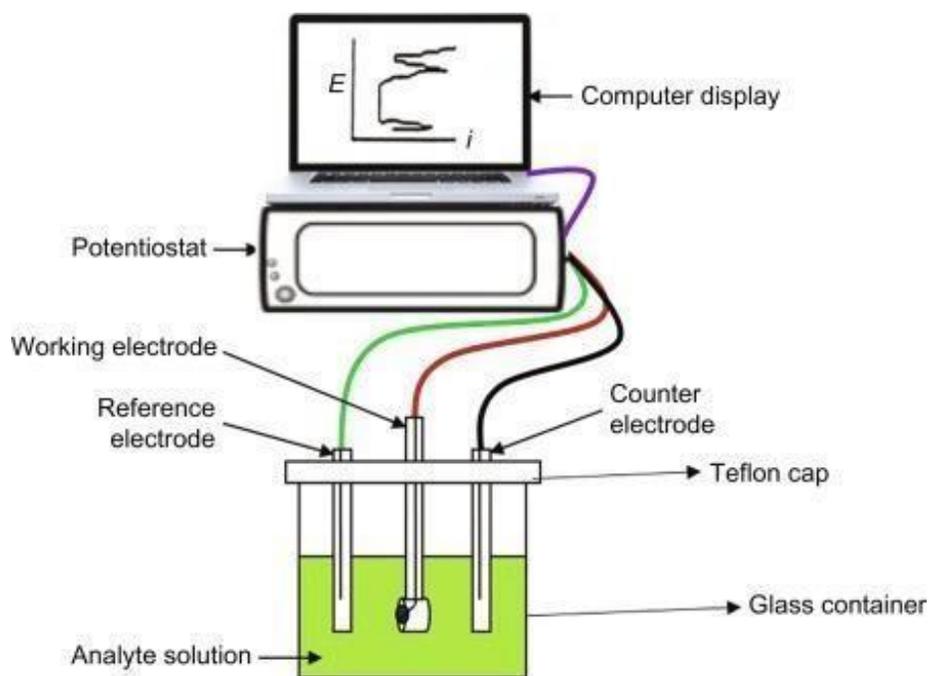


Figura 1. 10 Modelo de celda electroquímica.

## **1.2.6 Pruebas electroquímicas**

El proceso de corrosión al componerse de dos reacciones electroquímicas que ocurren al mismo tiempo cuando un metal se expone al ambiente en un electrolito, hace que las propiedades electroquímicas de la interface metal-solución, como lo son el potencial, densidad de corriente y la impedancia electroquímica, tengan un papel importante en el monitoreo de la corrosión.

Gracias al uso de este tipo de técnicas o métodos es posible estudiar los mecanismos de interacción, velocidades de corrosión, medir el poder oxidante del medio electrolítico además de extraer información adicional de las características del sistema, las cuales no se pueden obtener mediante el uso de otras técnicas, otras técnicas llegan a utilizar métodos de estudio de corriente alterna(AC) para estudiar la interface de corrosión y la conductividad del proceso en la solución (Berrocal y Altamiranda Percy, 2013; Sastri, V. S, 2011). Estas técnicas se clasifican en técnicas de corriente directa como Resistencia a la Polarización Lineal (RP) y de corriente alterna como Espectroscopia de Impedancia Electroquímica(EIS, por sus siglas en inglés, Electrochemical Impedance Spectroscopy), (Almanza, 2017).

### ***1.2.6.1 Potencial a circuito abierto (OCP)***

Esta es una de las mediciones más simples ya que consiste en la evaluación del potencial de corrosión de una pieza metálica, respecto al potencial de un electrodo de referencia dado el desplazamiento de este potencial como consecuencia de la presencia de un inhibidor de corrosión, puede ayudar a determinar el mecanismo de acción del inhibidor de corrosión.

### ***1.2.6.2 Espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS)***

La espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS por sus siglas en inglés) es una técnica en la que se aplica una señal de corriente alterna (CA) que es aplicada a un electrodo de trabajo (metal en corrosión) y registrando la respuesta correspondiente. En el procedimiento experimental más comúnmente usado, se aplica una pequeña señal de potencial (E) a un electrodo y se mide su respuesta en corriente (I) a diferentes frecuencias (Mendoza et al, 2003). Esta técnica es muy utilizada debido a que proporciona buenos resultados en cuanto a la caracterización superficial de los metales, es decir mediante el uso de esta técnica es posible

obtener información acerca de las propiedades del sistema tales como difusión electrónica, mecanismos de corrosión, formación de productos de oxidación, reacción de generación de hidrógeno y evaluación de recubrimientos pasivos (Corona, 2017). Gracias a esta técnica, es más factible conocer el comportamiento de la corrosión de los materiales metálicos dentro de un medio de inhibición y determinar la efectividad del inhibidor (Gómez, 2016).

Para representar la frecuencia en un sistema lineal utiliza comúnmente dos tipos de Diagramas, el diagrama de Nyquist es la representación gráfica de la  $Z_{\text{real}}$  vs  $Z_{\text{imag}}$ , tendrá una parte de baja frecuencia que se encuentra por debajo del eje real (Baboian, 1986), por lo que muestra los componentes real e imaginario de la impedancia total, de una combinación en paralelo de una resistencia y un capacitor. A bajas frecuencias la impedancia es puramente resistiva, debido a que la reactancia del capacitor es muy grande.

Diagrama de Bode este tipo de diagrama representa los diferentes parámetros de la impedancia contra la frecuencia. Dentro de los diagramas de Bode están el diagrama de  $\log |Z|$  y ángulo de fase ( $\phi$ ) vs el logaritmo de la frecuencia. Los diagramas de bode representan la variación de la impedancia real contra la frecuencia graficada en coordenadas log-log (Reyes-Castillo, 2011)

### **1.2.6.3 Ruido electroquímico**

El ruido electroquímico es una técnica que mide las fluctuaciones naturales de potencial o corriente. El ruido potencial es una medida de fluctuaciones potenciales entre un electrodo y un electrodo de referencia o entre dos electrodos nominalmente idénticos. La frecuencia de las fluctuaciones suele ser por debajo de 1 Hz. Es común acoplar electrodos nominalmente idénticos a través de un amperímetro de resistencia cero y medir el potencial de este par con respecto a un electrodo de referencia o un tercer electrodo nominalmente idéntico. Las relaciones entre ruido potencial y actual son más complejas de analizar cuantitativamente porque las fluctuaciones que ocurren naturalmente no tienen frecuencias controladas, al igual que las frecuencias aplicadas en la espectroscopia de impedancia electroquímica. La técnica mide el ruido actual y potencial en los electrodos corroídos, que son consecuencia de la uniformidad o no uniformidad de los electrodos metálicos adyacentes expuestos a una corriente de proceso.

#### 1.2.6.4 Resistencia a la polaridad lineal (LPR)

En esta técnica, se aplica una perturbación potencial de 10 a 20 o 30 mV al electrodo sensor y se mide la corriente resultante. La relación entre el potencial y la perturbación de la corriente es la resistencia a la polarización, que es inversamente proporcional a la tasa de corrosión uniforme. La resistencia a la polarización de un metal es la pendiente de la gráfica de densidad de corriente potencial ( $i_{DE} / i_{Di}$ ) en el potencial de corrosión libre. La resistencia a la polarización está relacionada con la corriente de corrosión,  $i_{corr}$ , a través de la ecuación de Stern-Geary.

$$I_{corr} = \frac{\beta_{anodic}\beta_{cathodic}}{R_{pol}2.3(\beta_{anodic} + \beta_{cathodic})}$$

Esta técnica es empleada para el monitoreo de la corrosión, es decir que a través de esta polarización y de las pendientes de TAFEL podemos medir velocidades de corrosión las cuales se expresan en unidades de mm/año o en unidades similares.

### ***1.2.6.5 Curva de polarización***

Las curvas de polarización potenciodinámicas, son aquellos diagramas que representan de manera gráfica las reacciones anódicas y catódicas de un sistema en proceso de corrosión, estableciendo un determinado intervalo en la señal de amplitud, mediante estos diagramas se puede estimar cuando el material es más susceptible a presentar el proceso de corrosión uniforme y en otro caso al proceso de corrosión por ataque localizado (picaduras). En este proceso la desviación del equilibrio provoca una diferencia de potencial eléctrica entre el polarizado y el electrodo (no polarizado) conocida como sobrepotencial (Monroy-Barreto 2016). Por lo tanto, son herramientas útiles para estudiar la cinética y los mecanismos de reacción del proceso de corrosión

Su aplicación consiste en el control del potencial o de la corriente, aplicando un barrido a velocidad constante, registrando el barrido de potencial en un rango predeterminado y graficando la corriente generada entre el electrodo de trabajo y el electrodo auxiliar, la representación gráfica involucra el potencial con respecto al electrodo de referencia contra la densidad de corriente (Sastri, V. S, 2011), así, cuando el potencial es positivo, significa que el sistema metal-electrolito actúa como cátodo en la celda electroquímica, mientras que, si el potencial es negativo, el electrodo actúa como ánodo.

## **CAPÍTULO 2**

### **2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En los últimos años México se ha convertido en unos de los principales productores de aguacate, sin embargo, al estar teniendo una gran cosecha, también se genera un aumento en la cantidad de desechos agrícolas, y por lo tanto en la emisión de GEI, mayormente cuando los productores no cuentan con prácticas sostenibles en el manejo de tales residuos y perdiendo la oportunidad de obtener un beneficio económico. Por lo que, al analizar, lo que se considera un desecho, con potencial de crear un inhibidor de corrosión a base del desecho de aguacate el cual sea eficaz, viable, no tóxico al ambiente, y por ende a la salud humana, se atienden para la industria y de esta forma estar ayudando a reducir contaminantes ambientales ya que existen datos que muestran el impacto negativo que tienen estos desechos hacia el ambiente.

### **2.2 JUSTIFICACIÓN**

El aguacate al tener una gran cantidad de cosecha también genera una cantidad considerable de desechos los cuales generan emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, por mencionar algunos dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), es por esto que se planea realizar una investigación que ayude a aportar información para disminuir de manera sustancial la generación de desechos mediante políticas de prevención, reducción, reciclaje y reutilización tal como lo marca una de las metas de los objetivos del desarrollo sostenible, esto se pretende llevar a cabo realizando un inhibidor para la corrosión a base del aguacate para mitigar el incrementando impactos negativos al ambiente, ya que los inhibidores orgánicos se han estado utilizando como reemplazo de inhibidores inorgánicos tradicionales, los cuales también causan daños en el medio ambiente, con esto se pretende ayudar a reducir la emisión de contaminantes por medio del aprovechamiento de los recursos naturales, en este caso utilizando desechos de productos agrícolas y así otorgándoles un valor económico, en beneficio de los productores locales.

## **2.3 OBJETIVOS**

### **2.3.1 Generales**

Analizar la eficiencia del uso del desecho del aguacate, mediante la reducción, reciclaje y reutilización con prácticas sostenibles que incorporen información sobre la sostenibilidad de sus compuestos como inhibidor de corrosión.

### **2.3.2 Específicos**

- Analizar la eficiencia del extracto de aguacate como inhibidor de la corrosión empleando pruebas electroquímicas y de pérdida de masa como las gravimétricas.
- Realizar diferentes métodos de extracción mediante el cambio en la concentración de los disolventes empleados con la finalidad de obtener los más afines con base en su polaridad.
- Caracterizar mediante rayos X y análisis de SEM las superficies metálicas antes y después de las pruebas gravimétricas con base en las eficiencias obtenidas.

## CAPÍTULO 3

### 3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

#### 3.1.1 Recolección de Desechos

Para poder llevar a cabo la investigación se recolectaron hojas de la poda de *P. americana*, estas fueron recolectadas del municipio Tetela del volcán, Morelos. Figura 3.1.

Posterior a esto se dejaron secar durante dos semanas a temperatura ambiente, para después ser molidas y pesadas.



Figura 3.1 Recolección de hojas de *P. americana*.

#### 3.1.2 Materiales

El material de prueba que se utilizó fue una aleación de aluminio 2024 (Monsalve, *et al.* 2003) cuya composición química se describe en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Composición química de aleación AA2024.

Elemento	Cu	Cr	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	otros	Al
Concentración (wt. %)	3.8–4.9	0.1	0.5	1.2–1.8	0.3–0.9	0.5	0.15	0.25	0.15	Balance

### 3.1.3 Preparación de los materiales de Prueba

Durante el desarrollo del trabajo, se utilizaron diferentes técnicas de evaluación de la corrosión en materiales, con y sin contenido de inhibidor. Las pruebas que se definieron para tal análisis son pruebas electroquímicas y de pérdida de peso, las cuales permitieron evaluar la eficiencia del inhibidor en la protección de la superficie metálica, para lo cual se requirió preparar dicha superficie previo a los análisis que se realizaron. En el caso de las pruebas de pérdida de peso se realizó con base en la norma ASTM G50 y ASTM G1, se utilizaron probetas rectangulares de 1 cm<sup>2</sup> de longitud, fueron desbastadas con papel de carburo de silicio grado 100, 200, 300, 600 y 800 enjuagadas con alcohol y agua destilada, Figura 3.2. Posteriormente se secaron con aire caliente para después ser suspendidas por triplicado dentro de un vaso de precipitado el cual contenía el electrolito con y sin contenido de inhibidor.



*Figura 3.2 Probeta de Aluminio 2024.*

Para las pruebas electroquímicas se utilizaron probetas rectangulares con un área aproximada de 1 cm<sup>2</sup> fueron perforadas y soldadas a un alambre que actuó como conductor eléctrico facilitando la comunicación con los equipos de medición. Posteriormente la probeta fue encapsulada empleando resina epóxica, Figura 3.3. Al igual que las probetas de pérdida de peso estas fueron desbastadas en su área expuesta con papel abrasivo de carburo de silicio grado 100, 200, 300, 400, 600, 800, enjuagadas con agua destilada y etanol, secadas con agua caliente previo a su inmersión en el electrolito con y sin contenido del inhibidor de prueba.



Figura 3.3 Probetas de Aluminio 2024 encapsulada con resina epóxica.

### 3.1.4 Preparación del extracto

Para la extracción de los compuestos activos de la hoja de *Persea americana*, se realizó una extracción Soxhlet, primeramente, la hoja fue molida y pesada (150g.), para posteriormente seguir con el método de extracción, el cual es en caliente y se desarrolla empleando solventes con puntos de ebullición bajos, para evitar la degradación de la muestra (González, 2004), el equipo está integrado de abajo hacia arriba por:

1. Parrilla. Fuente de calor para evaporar el disolvente.
2. Matraz. Contiene el disolvente y los compuestos activos.
3. Sifón. Contiene la muestra dentro de un dedal de celulosa y donde ocurre la extracción sólido-líquido.
4. Refrigerante. Provee un ambiente frío en el que se condensa el disolvente, Figura 3.4.



Figura 3.4 Preparación de la extracción.

Los disolventes empleados fueron hexano y metanol como se describe a continuación en la Tabla 3.2, de igual forma se pesó previamente la cantidad de material orgánico a emplear para la extracción (150g), para posteriormente llevar a cabo el procedimiento con los contenidos de hexano y metanol previamente descritos. Lo anterior permitió la obtención de compuestos con base en su polaridad.

Tabla 3.2 Cantidad de solvente hexano y metanol

Solventes	Cantidad
Hexano	200 mL
Metanol	200 mL

Para obtener la mayor cantidad de compuestos para el caso del hexano se llevó a cabo 50 ciclos cada uno aproximadamente de 10 min promedio, cada 10 ciclos se realizó una cromatografía en capa fina (Khalid, *et. al*, 2020) para ir observando cómo se separaban los compuestos, las muestras se tomaron con un capilar, en la capa se colocaban 10 puntos. El sistema que se utilizó para la cromatografía fue de 8mL. De hexano y 2mL de acetona. El sistema de revelación que se utilizó fue de ácido sulfúrico el cual constaba de 7mL de agua destilada y 3mL de ácido sulfúrico, posteriormente se llevó a la parrilla para secar y así observar que la concentración de la fase móvil 80/20 hexano/acetona muestra a lo largo de la placa, seis manchas lo cual indica el número probable de constituyentes del extracto (Figura 1.5).

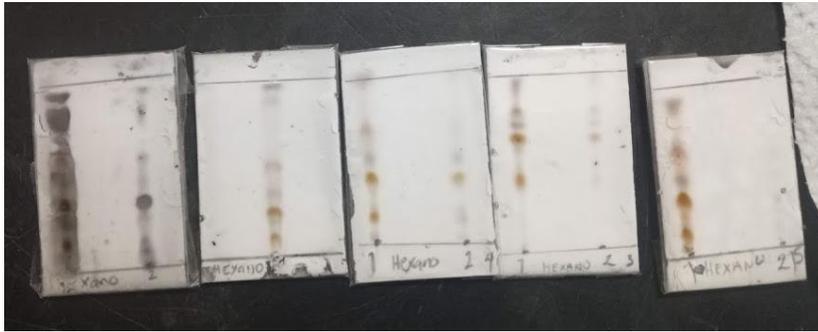


Figura 1.5 Cromatografía en capa fina.

### 3.1.5 Preparación de medio electrolítico

Para el medio electrolítico se realizó una preparación de NaCl a 0.5 M, para 1000mL, se pesaron 29.22g de NaCl para después disolverlo con agua destilada en un vaso de precipitado agregándole un volumen inferior a la solución, posteriormente se vació a un matraz volumétrico de 1000 mL. Donde se siguió incorporando agua destilada hasta aforar a 1000 mL.

El procedimiento que se llevó a cabo para la determinación de los gramos necesarios para la disolución, la cual se realizó tomando en cuenta el peso molecular del NaCl = 58.44g/mol, con una  $\rho = 2.16 \text{ g/cm}^3$  y el volumen de aforo el cual fue de 1000 ml.

Como bien se sabe la molaridad de una disolución se expresa en la unidad de moles/litros y viene determinada por la ecuación 1.

$$M = \frac{n}{v} \rightarrow n \quad [1.]$$

Por lo que se realizó el siguiente despeje Ecuación 1.2, para determinar el número de moles que debería tener la solución

$$n = M * V \quad [1.2]$$

Una vez obtenido el número de moles, se realizó el cálculo de la masa del compuesto utilizando la Ecuación 1.3

$$m_{\text{NaCl}} = n * M \quad [1.3]$$

El resultado obtenido se dio en unidades de masa = 29.22g.

### 3.1.6 Preparación de inhibidor

Para la preparación del inhibidor se pesó 0.250g. del extracto de hoja de *Persea americana*, con el fin de realizar una concentración de inhibidor de 1000 ppm.

Para disolver el extracto se utilizó 5mL de acetona, posterior a esto se aforó en un matraz de 250mL con agua destilada.

### 3.1.7 Pruebas electroquímicas

Las pruebas electroquímicas se realizaron en un Potenciostato – Galvanostato marca Gill AC – ACM Instruments a temperatura ambiente, la celda electroquímica para las pruebas constó de tres electrodos, esta se prepara de la siguiente manera: una sin extracto, que se usa como blanco, otras cinco con adición de extracto, respectivamente, Tabla 3.3.

*Tabla 3.3 Cantidades de medio electroquímico y concentración del extracto dependiendo de las ppm para las pruebas electroquímicas.*

<b>Medio electrolítico + concentración de extracto(mL)</b>	<b>Cinh (ppm)</b>
0	0
5	100
10	200
15	300
20	400
25	500

A continuación, se describen cada una de las pruebas que se realizaron:

### **1. Potencial a Circuito Abierto (OCP)**

Una vez inmersa la probeta de prueba dentro de la solución, se midió el potencial a circuito abierto por 5 h hasta que se observó una posible estabilización del sistema debido a la adición del inhibidor que a su vez permita definir si el inhibidor empleado se comporta de forma anódica o catódica. Para lo cual se tomó una lectura por segundo en el periodo de tiempo ya especificado.

### **2. Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS)**

Para esta prueba se empleó un potenciostato Gamry empleando un rango de frecuencia de  $10^{-2}$  a  $10^3$  con una amplitud sinusoidal de  $\pm 10$  mV, tomando un total de 60 puntos por prueba. Se utilizó una celda convencional de tres electrodos en el cual la probeta encapsulada de AA2024 fue el electrodo de trabajo, como electrodo de referencia un electrodo de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl) fue empleado como electrodo de referencia, por último, como electrodo auxiliar se empleó un grafito.

### **3. Curvas de Polarización.**

Para las pruebas potenciodinámicas se realizó una polarización del electrodo aplicando un potencial de -1000 a 1000 con una velocidad de barrido de 60 mV/min con respecto al electrodo de referencia (Ag/AgCl). De igual forma se empleó una celda electroquímica convencional de tres electrodos.

### **4. Resistencia a la Polarización Lineal (LPR)**

Para realizar las pruebas LPR, los elementos en la celda electroquímica utilizados fueron la probeta de AA2024 actuando como electrodo de trabajo, un electrodo de (Ag/AgCl) utilizado como electrodo de referencia y un electrodo de grafito como electrodo auxiliar, conectados a un potenciostato Gill AC (ACM Instruments) y computadora personal.

### **5. Ruido electroquímico**

Para esta prueba se necesitaron en la celda electroquímica dos probetas de AA2024 de la misma dimensión las cuales actuaron como electrodos de trabajo 1 y 2 y un electrodo de referencia (Ag/AgCl), conectados a un potenciostato Gill AC (ACM Instruments) y computadora personal.

### **3.1.8 Prueba de Pérdida de Peso**

Con base en la descripción de las probetas a emplear en la pérdida de peso. Estas fueron inmersas en vasos de precipitado el cual contuvo el electrolito de prueba con y sin contenido de inhibidor a diferentes concentraciones y se dejó por un periodo de 3 meses para posteriormente ser retirados para remover los productos de corrosión contenidos sobre la superficie metálica con base en la norma ASTM G1. En esta norma se establece que las probetas deben ser sometidas a un ciclo de limpieza para la remoción de los productos de corrosión para lo cual en cada ciclo fueron pesadas y este peso fue registrado. El proceso termina hasta que se logra una estabilización en el peso de las probetas posteriormente se promedia el peso obtenido de las tres probetas por solución de prueba.

Para la interpretación de resultados se utilizó el software OriginPro 8.

## CAPÍTULO 4

### 4.1 RESULTADOS

#### 4.1.1 Obtención del extracto hexánico

La cantidad de extracto obtenido por el método Soxhlet utilizando el disolvente de hexano se reporta en la siguiente Tabla 4.1.

*Tabla 4.1 Cantidad de extracto obtenido por el método Soxhlet utilizando el solvente de hexano.*

Solvente	hexano
<b>Peso de la hoja molida</b>	<b>150g.</b>
<b>Volumen del disolvente</b>	<b>200 mL</b>
<b>Temperatura de ebullición</b>	<b>69°</b>
<b>Peso de la hoja molida después del proceso</b>	<b>95.32g.</b>

### 4.1.2 Caracterización química

En la figura 16, se muestra un cromatograma del extracto hexánico de las hojas de *P. americana*, en el eje de las ordenadas se muestra la abundancia de los constituyentes y en las abscisas el tiempo de retención, y por comparación de su valor con el de muestras auténticas, se pueden asignar los componentes del extracto, entre ellos ácido pentanoico, 14-metil- metil ester, 9,7-octadecadienal, fitol, 3,15-octadecadien-1 acetato, escualeno, vitamina E, Estragol,  $\beta$ -sitosterol ha sido encontrado en otros estudios, ya que pertenece a los fitoesteros (Dreher,2013; mazorati,2018).

La vitamina E, se ha reportado en otros estudios donde se han hecho extractos de otras partes de *P. americana* ya que es un compuesto fenólico no polar, conocido por estar presente en niveles sustanciales en el aguacate. Probablemente, su cadena lateral larga alifática pudo haber contribuido a los resultados, esta llega a brindar protección antioxidante junto con otras vitaminas, Dreher & Davenport, (2013). Estragol, perteneciente a la clasificación de los fenil propanoides, en otros estudios se ha presentado con una mayor concentración (Rincón- Hernández, et al 2011; Guzmán - Rodríguez, et al. 2020), además de otros compuestos no identificados en la muestra, Tabla 4.2.

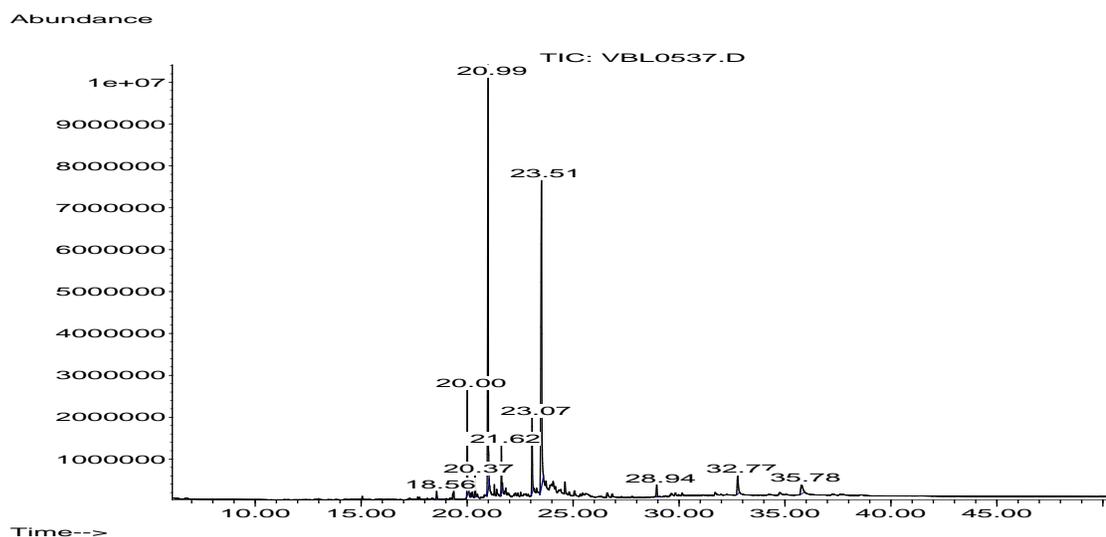
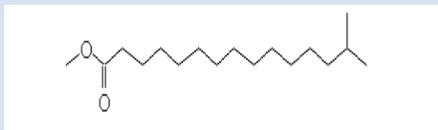
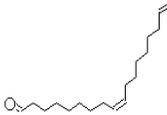
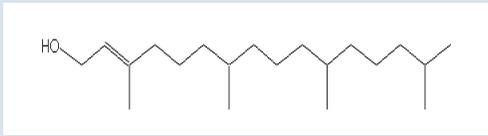
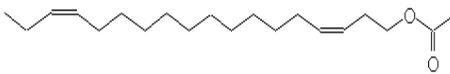
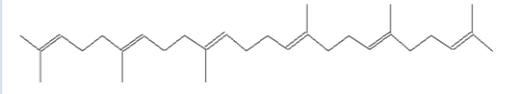
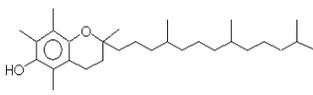
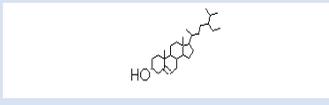
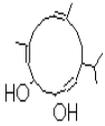


Figura 4.1 Abundancia de compuesto de extracto hexánico.

Tabla 4.2 Compuestos encontrados en el extracto hexánico.

	Nombre del compuesto químico		Actividad	Rt (min)
1	2-Pentadecanone, 6,10,14-metil- metil ester		No reportada	18.559
2	9,7-Octadecadienal		Antimicrobial	20.004
3	Fitol		Diterpeno, anticancerígeno, antioxidante, antiinflamatorio, diuretico.	20.365
4	3,15-octadecadien-1 acetato		No reportada	23.512
5	Escualeno		Propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antiateroscleróticas.	28.944
6	Vitamina E		Antioxidante biológico	32.767
7	$\beta$ -sitosterol		Posee propiedades antioxidantes e inhiben la absorción de colesterol.	35.782
8	1-hidroxi-1,7-dimetil-4-isopropil-2,7-ciclodecadieno		No reportada	20.99

### 4.1.3 FTIR de *Persea americana*

#### 4.1.3.1 Extractos hexano

Se aplicó la técnica FTIR para determinar los grupos funcionales que presentan los compuestos activos encontrados en *P. americana* en un espectro de infrarrojo se muestra como ordenada la transmitancia (o absorbancia) e indica la intensidad de la radiación absorbida y como abscisa el número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) e indica la intensidad de la radiación infrarroja ambas son características de las asociaciones de átomos o grupos funcionales y por su posición e intensidad de los picos o bandas podemos determinar la estructura que presenta el compuesto o como en este caso los grupos funcionales presentes en el extracto.. Las asignaciones de picos y bandas de FTIR a grupos funcionales se dan en la Tabla 4.3. La Figura 4.2 muestra los espectros de FTIR del extracto de hoja de *P. americana* con hexano de la región  $4000\text{-}850\text{ cm}^{-1}$ . Se observan, el pico fuerte se presenta en las vibraciones de estiramiento CH,  $\text{-CH}_2$  asimétrico ( $2916\text{ cm}^{-1}$ ), el pico  $1725\text{ cm}^{-1}$  surge de las vibraciones del estiramiento C = O de éster de ácido graso, mientras que el pico débil en  $1451\text{ cm}^{-1}$  respalda la baja abundancia de los grupos metilo,  $1375\text{ cm}^{-1}$  surgen de la vibración de tijera de  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$  y la pequeña vibración de  $1032\text{ cm}^{-1}$  está asociada al estiramiento de O- $\text{CH}_3$  del grupo metoxilo apoyando la existencia de esteres.

Tabla 4.3 FTIR de picos de hoja de *P. americana* en extracto hexánico.

Frecuencia de vibración ( $\text{cm}^{-1}$ ). No %T	Grupo funcional
2916	$\text{-CH, -CH}_2$ estiramiento asimétrico
1725	C = O banda de vibración de estiramiento del carbonilo en esteres de ácido graso
1451	Vibración de flexión asimétrica de los grupos metilo de proteínas[( $\text{CH}_3$ )]
1375	Vibración de flexión de tijera $\text{CH}_2$ y $\text{CH}_3$
1032	Vibración de estiramiento del grupo metoxil O- $\text{CH}_3$

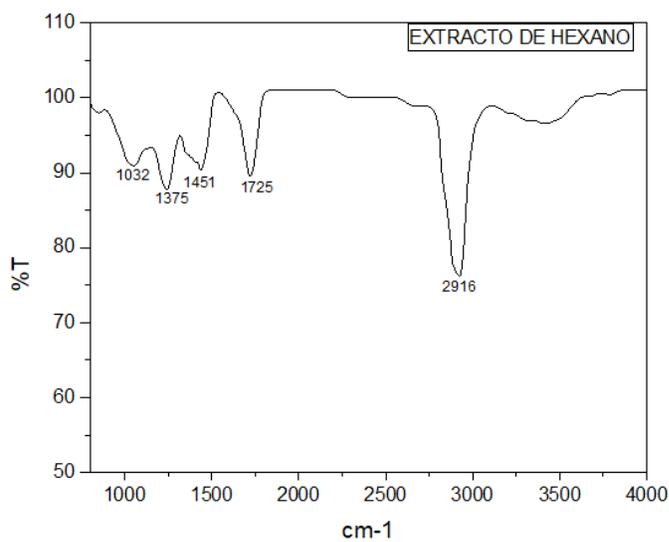


Figura 4.2 FTIR espectro de extracto hexánico con hoja de *P. americana*.

#### 4.1.3.2 Metanol

La técnica FTIR también fue utilizada en el extracto de metanol con el fin de determinar los grupos funcionales de los compuestos o principios activos presentes en este, las asignaciones de picos y bandas de FTIR a grupos funcionales se dan en la Tabla 4.4. La Figura 4.3 muestra el espectro de FTIR de hoja de *P. americana* con el extracto de metanol de la región 4000-850  $\text{cm}^{-1}$ . En la figura se puede observar la presencia de bandas de estiramiento C-H lípidos (2925  $\text{cm}^{-1}$ ), el pico a 1661  $\text{cm}^{-1}$  muestra vibraciones de estiramiento del enlace doble y de carbonilo C=C/ C=O, el pico 1514  $\text{cm}^{-1}$  muestra la presencia de una estructura carotenoide, probablemente de pigmento celular, las vibraciones de estiramiento  $\text{CH}_3$  asimétricas de los grupos de metilo, 1377 surgen de la vibración de tijera de  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , la presencia de picos en 1264 sugiere la presencia de amidas, el pico en 1043 apoya la presencia de éteres.

Tabla 4.4 FTIR de picos de hoja de *P. americana* en extracto de metanol.

Frecuencia de vibración (cm <sup>-1</sup> ). No %T	Grupo funcional
2925	Vibración de estiramiento del enlace C-H del grupo CH <sub>2</sub> común en lípidos.
1661	Vibración de estiramiento Cis C=C y carbonilo C=O
1514	banda del enlace n(C=C) característica de carotenoides que son pigmentos celulares
1449	banda de flexión asimétrica de los grupos metilo CH <sub>3</sub> en proteínas
1377	Vibración de flexión tijera de CH <sub>2</sub> y CH <sub>3</sub>
1264	Banda de amida III, flexión N-H
1043	Banda de estiramiento C-O-C

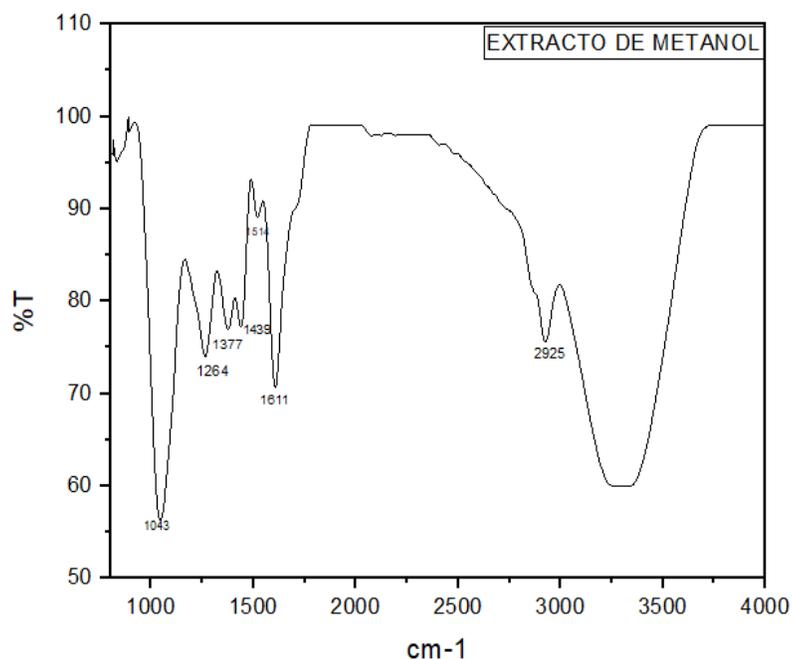


Figura 4.3 FTIR espectro de extracto de metanol con hoja de *P. americana*.

#### 4.1.4 Pruebas Electroquímicas con hexano

##### 4.1.4.1 Potencial a Circuito Abierto (OCP)

Los resultados de OCP a temperatura ambiente durante 1h para evaluar el potencial a circuito abierto del metal con y sin contenido de inhibidor se muestran en la Figura 4.4. Los gráficos de OCP obtenidos con contenido de inhibidor, muestran una tendencia a valores más activos al inicio y final de la prueba con respecto al blanco de prueba, excepto a la concentración de 100 ppm, la cual presenta una tendencia a valores más activos al inicio de la prueba con tendencia hacia valores más nobles al final de esta.

Se observa que para las concentraciones de 100 y 500 ppm los valores de  $E_{oc}$  tienden a ser similares al blanco al final de la prueba con un valor final de -596, -542 y -593 mV respectivamente observándose además altas fluctuaciones en el  $E_{oc}$  para la concentración de 100 ppm sugiriendo poca estabilidad de la capa formada sobre la superficie del metal. Para las concentraciones de 200 y 300 ppm se observa un comportamiento más estable en los valores de  $E_{oc}$  los cuales son de -837 y -740 mV, respectivamente permaneciendo estables hasta el final de la prueba. En el caso de la concentración a 400 ppm se observa el comportamiento más negativo con valores de  $E_{oc}$  de 1718.5 mV respecto a las demás concentraciones con ligeras fluctuaciones en el periodo de tiempo comprendido entre los 2000 y 3000 s de prueba.

El comportamiento en los valores de  $E_{oc}$  hacia valores más activos o nobles sugiere un comportamiento mixto del inhibidor sobre la superficie del metal ya que muestra una diferencia de más de  $\pm 80$  mV en las lecturas realizadas con presencia del inhibidor en la solución con base en esto se llegan a afectar los procesos catódicos y anódicos dependiendo de la concentración del inhibidor sugiriendo la posible formación de productos de corrosión sobre la superficie de esta.

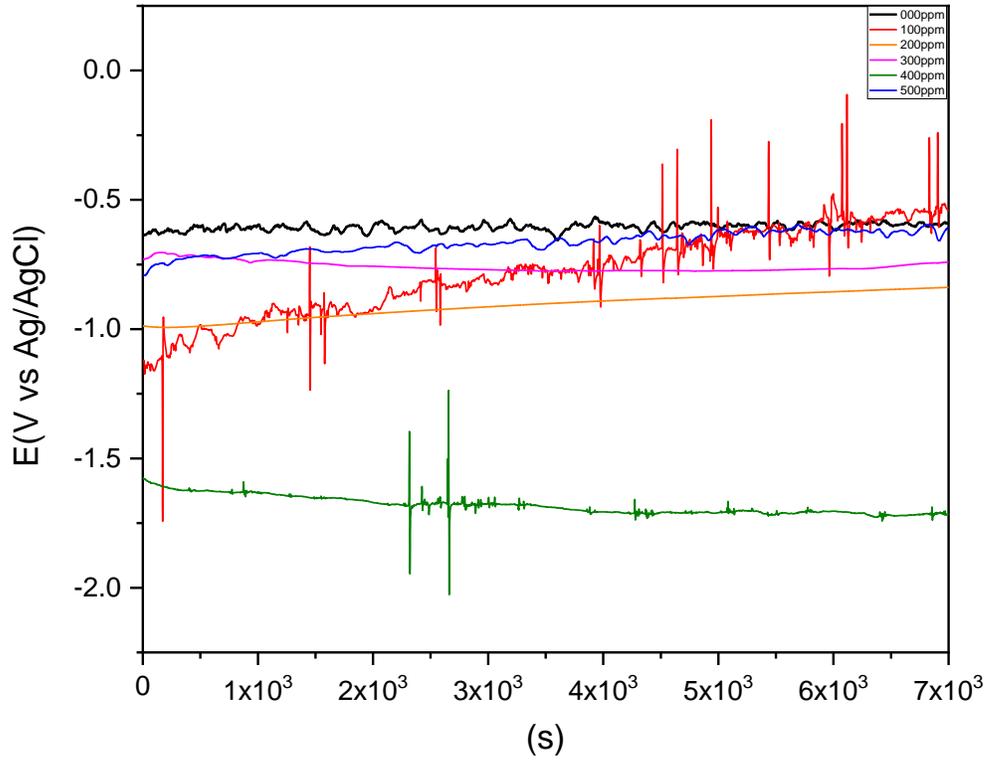


Figura 4.4 Comportamiento de potencial a circuito abierto (OCP) vs tiempo de exposición para el AA2024 inmerso en 0.5M NaCl.

#### 4.1.4.2 Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS)

Los resultados de EIS a temperatura ambiente para evaluar la eficiencia del extracto hexánico como inhibidor se muestran en la Figura 4.5. El diagrama de Nyquist muestra la formación de dos semicírculos deprimidos uno de altas a medianas frecuencias y otro a bajas frecuencias lo cual es atribuido a la heterogeneidad de la superficie metálica, con un posible comportamiento difusivo, observándose un incremento en el diámetro de estos con la adición del inhibidor con respecto al blanco de prueba. Tabla 4.5.

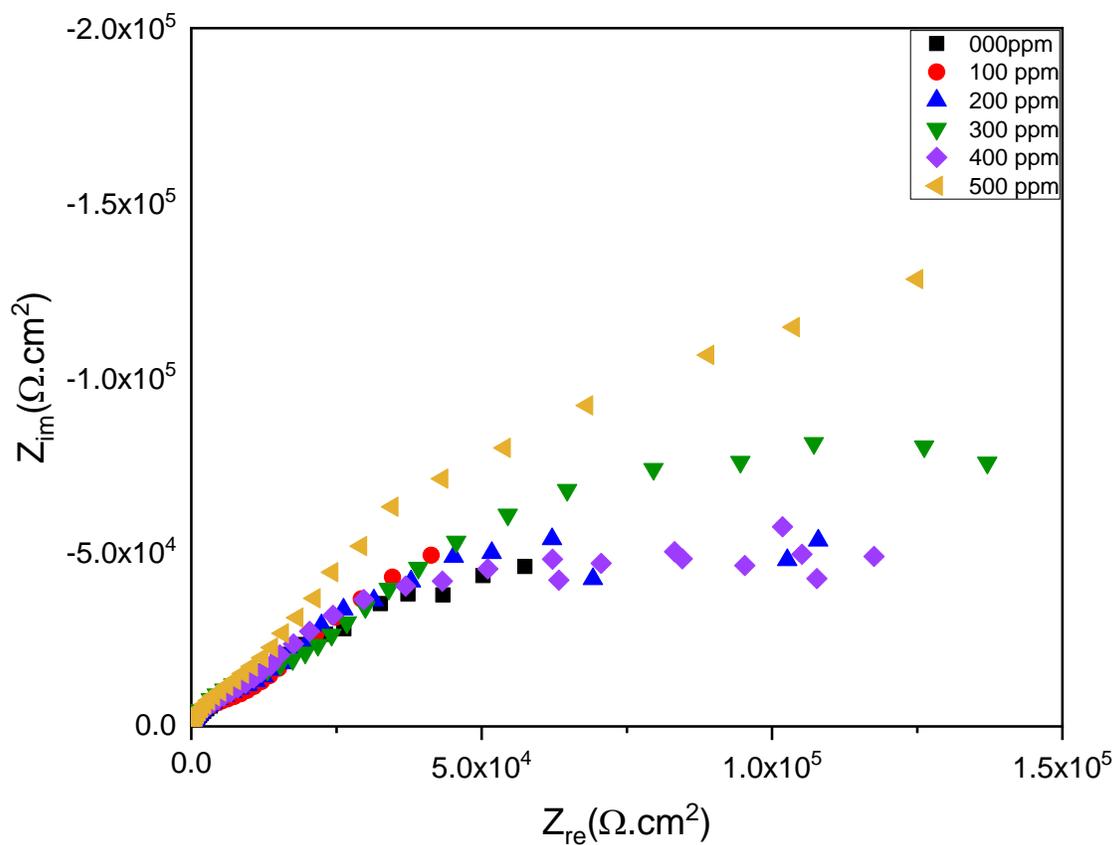


Figura 4.5 Evaluación mediante Impedancia del extracto obtenido con hexano en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, en solución de NaCl 0.5M.

Tabla 4.5 Valores de Resistencia a la transferencia de carga  $R_{ct}$  en cada concentración.

Cinh(ppm)	$R_{ct}$
000	$8.53 \times 10^4$
100	$4.09 \times 10^4$
200	$1.11 \times 10^5$
300	$1.37 \times 10^5$
400	$1.17 \times 10^5$
500	$1.26 \times 10^5$

En la Figura 4.6. se muestra el diagrama de Bode-phase, con el blanco y las diferentes concentraciones de inhibidor. En este diagrama se observa el comportamiento de los valores totales del módulo de impedancia ( $\log |Z|$ ) de las pruebas realizadas con y sin contenido de inhibidor observándose que a la concentración de 100 ppm se presenta un valor de impedancia menor al blanco de prueba  $85304.16 \Omega \cdot \text{cm}^2$  el cual fue de  $40943.26 \Omega \cdot \text{cm}^2$ , para la concentración de 200 ppm se observa un incremento de la resistencia a la transferencia de carga ( $R_{ct}$ ) con un valor de  $110594.668 \Omega \cdot \text{cm}^2$  al igual que en 300 ppm y 500 ppm con valores de  $R_{ct}$  de  $136568.69$  y  $125974.02$  los cuales fueron los valores de resistencia más altos obtenidos, respectivamente. Para la concentración de 400 ppm se observa nuevamente una disminución en el valor de  $R_{ct}$   $116609.70 \Omega \cdot \text{cm}^2$ .

En los gráficos de ángulo de fase de la Figura 21 se observa la formación de dos constantes de tiempo una de altas a medianas frecuencias y otra a bajas frecuencias con un ligero incremento en el valor del ángulo de fase en la primera constante de tiempo en presencia del inhibidor con un ligero desplazamiento de esta a medianas frecuencias a las concentraciones de 100 y 500 ppm sugiriendo un comportamiento ligeramente más capacitivo a altas frecuencias, cabe mencionar que esta constante de tiempo se atribuye a los procesos de transferencia de carga a través de la doble capa electroquímica. Para todas las pruebas se observa una segunda constante de tiempo a bajas frecuencias con una posible difusión de especies característica del AA2024-T3 (Rodič et.al, 2019).

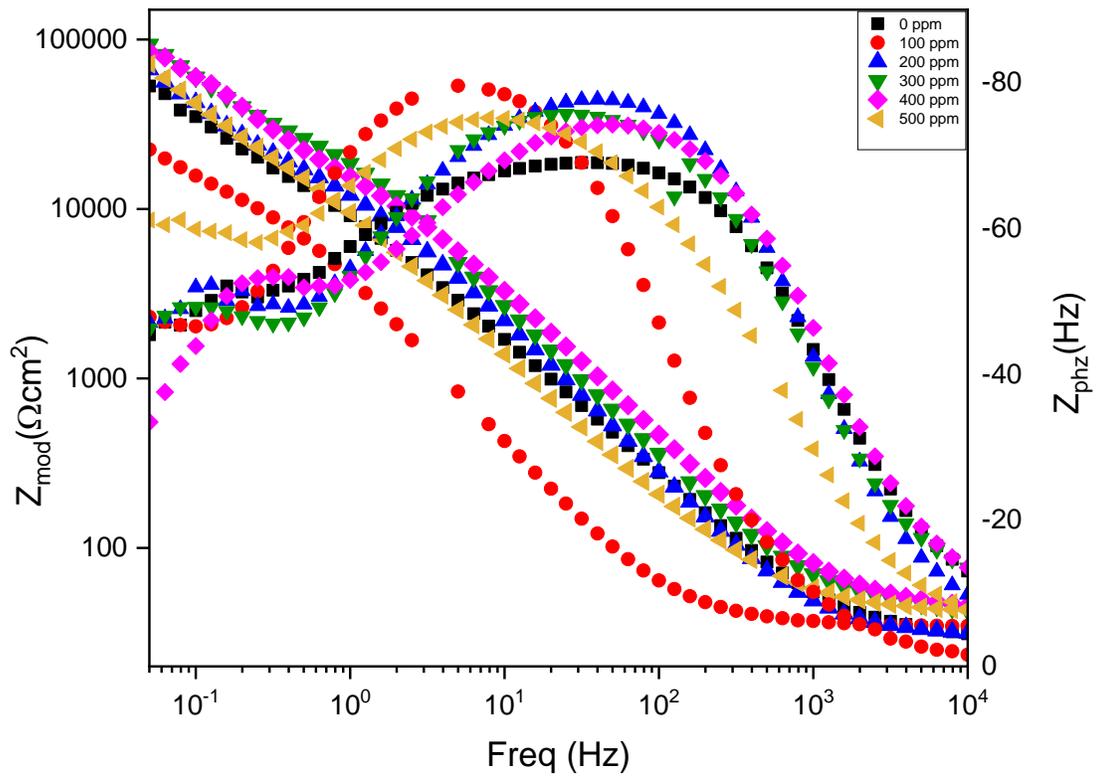


Figura 4. 6 Evaluación mediante Impedancia del extracto obtenido con hexano en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, en solución de NaCl 0.5M.

#### 4.1.4.3 Resistencia a la Polarización Lineal (LPR)

En la Figura 4.7. Se observan los resultados de la técnica LPR, del extracto obtenido con hexano en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, evaluado en solución de NaCl 0.5M. Con respecto al blanco, se observa que todas las concentraciones muestran una tendencia a valores bajos, hasta el segundo punto, en donde la concentración de 100 ppm se incrementa abruptamente a un valor de  $139967.1 \Omega\text{-cm}^2$ , teniendo un descenso rápido a  $58826.54 \Omega\text{-cm}^2$ . A partir del punto cuatro las concentraciones 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm y 500ppm tienden a aumentar hasta el final de los puntos. Con respecto a la concentración de 300 ppm, se observa como mantiene valores por debajo una similitud al blanco desde el punto tres hasta el final, en la Tabla 4.6. se muestran los valores de LPR de cada una de las concentraciones.

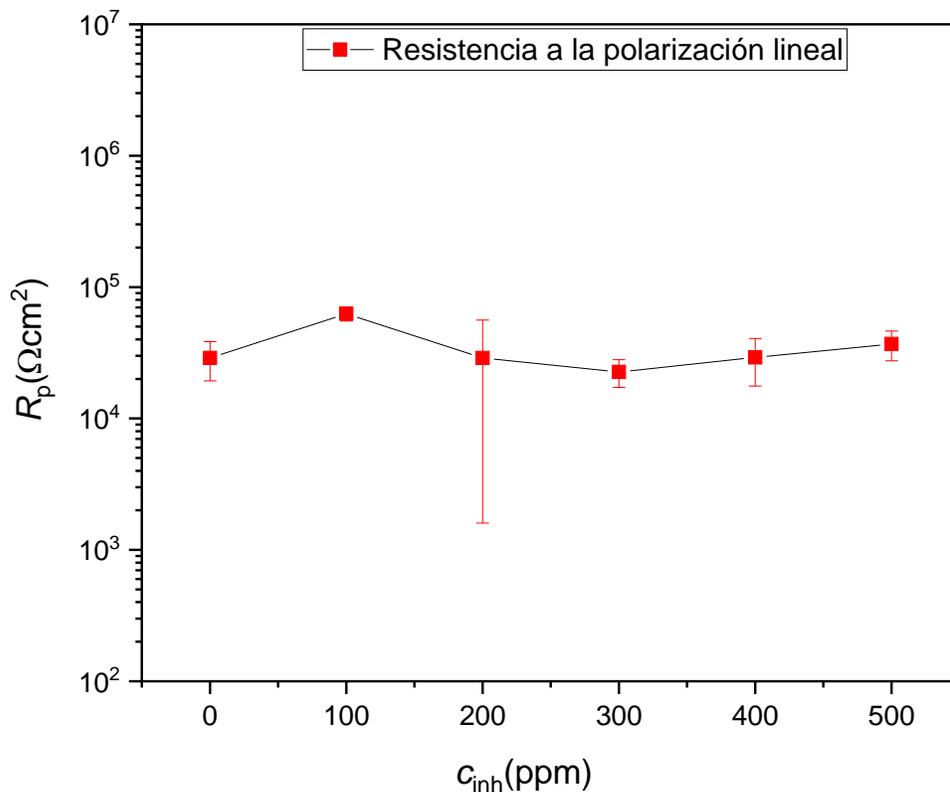


Figura 4.7 LPR del extracto obtenido con hexano en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco en NaCl 0.5M.

Tabla 4.6 Valores de LRP en diferentes concentraciones.

Puntos	Cinh(ppm)					
	000	100	200	300	400	500
<b>1</b>	$2.64 \times 10^4$	$5.36 \text{E} \times 10^3$	$2.22 \times 10^3$	$6.99 \times 10^3$	$1.29 \times 10^3$	$7.16 \times 10^2$
<b>2</b>	$2.67 \times 10^4$	$1.40 \text{E} \times 10^5$	$2.24 \times 10^4$	$2.16 \times 10^4$	$1.82 \times 10^4$	$1.24 \times 10^4$
<b>3</b>	$2.83 \times 10^4$	$5.88 \text{E} \times 10^5$	$3.25 \times 10^4$	$2.48 \times 10^4$	$2.16 \times 10^4$	$5.00 \times 10^4$
<b>4</b>	$3.06 \times 10^4$	$4.79 \times 10^4$	$4.13 \times 10^4$	$2.81 \times 10^4$	$3.28 \times 10^4$	$5.85 \times 10^4$
<b>5</b>	$3.25 \times 10^4$	$6.12 \times 10^4$	$4.58 \times 10^4$	$3.15 \times 10^4$	$7.19 \times 10^4$	$6.30 \times 10^4$

#### **4.1.4.4 Ruido Electroquímico**

En la Figura 4.8. Podemos observar los resultados de corriente y potencial de ruido electroquímico de AA2024-T3 en las cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, los cuales fueron evaluados en solución de NaCl 0.5M, como se observa tanto las corrientes como en los potenciales se muestran un tipo de corrosión en picadura por la fácil identificación de fluctuaciones. Se observa que la corriente disminuye con la adición de inhibidor, se presenta una menor corrosión localizada con una menor frecuencia a diferencia del blanco al tener una frecuencia alta muestra picaduras muy definidas.

La magnitud de los transitorios disminuye en la concentración de 300 ppm a lo largo del tiempo, esto también se puede observar en 400 ppm y 500 ppm para corriente se observa una alta frecuencia con pocas picaduras sobre la zona, pero en 400 ppm incrementa la corriente y las fluctuaciones son mayores con alta frecuencia en el tiempo indicando un proceso de corrosión mixta localizada y generalizada en algunos puntos, en 500 ppm se observa un cambio tanto en las fluctuaciones tanto de potencial y corriente, estabilizándose la corriente con una menor magnitud de transitorios en el tiempo con una corrosión generalizada.

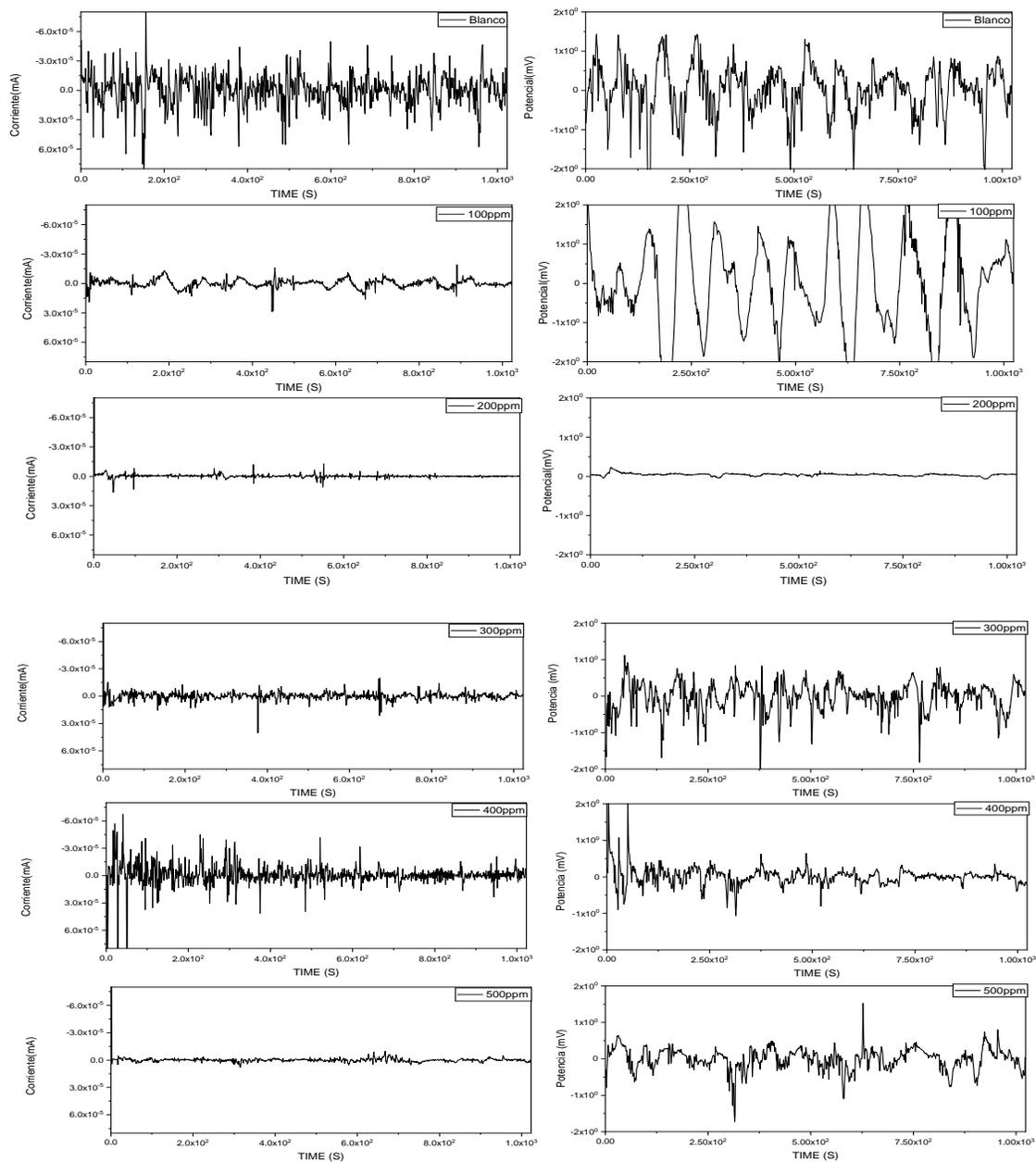


Figura 4.8 Ruido electroquímico del extracto obtenido con metanol, en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, en solución de NaCl 0.5M.

#### 4.1.4.5 *Curvas de polarización*

La Figura 4.9 muestra las curvas de polarización realizadas al AA2024-T3 en presencia y ausencia del inhibidor. Se puede observar un desplazamiento de los valores de potencial de corrosión ( $E_{\text{corr}}$ ) hacia valores más nobles con respecto al blanco de prueba, sin embargo al incrementar la concentración de inhibidor en la solución los valores de  $E_{\text{corr}}$  tienden a ser más activos o más positivos sugiriendo un comportamiento mixto del inhibidor afectando tanto los procesos catódicos de reducción de oxígeno seguido de los procesos de evolución de hidrogeno así como también los procesos de corrosión que toman lugar en la rama anódica. Se aprecia, además, para todas las concentraciones de inhibidor, un desplazamiento de la zona de pasivación hacia valores más bajos en la densidad de la corriente de corrosión ( $I_{\text{corr}}$ ). Los valores de potencial de corrosión  $E_{\text{corr}}$  y densidad de corriente  $I_{\text{corr}}$  fueron calculados con base en los análisis realizados por la extrapolación Tafel, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 4.7.

En este sentido el valor más positivo de  $E_{\text{corr}}$  le corresponde a la concentración de 300 ppm con un valor de  $-1.0 \times 10^3$  Vm y una densidad de corriente de  $6.0 \times 10^{-3}$  mA/cm<sup>2</sup>. La concentración de 200 ppm por su parte tuvo valores de corriente y potencial de  $4.0 \times 10^{-3}$  mA/cm<sup>2</sup> y  $-1.0 \times 10^{-3}$  mV respectivamente la densidad de corriente más alta le corresponde al blanco con un valor de  $4.5 \times 10^{-3}$  mA.cm<sup>2</sup>, de igual manera a esta concentración le corresponde el potencial más negativo con un valor de  $-1.2 \times 10^3$  mV. Con base en lo anterior en la Tabla 4.8, se muestra la eficiencia calculada para las diferentes concentraciones de inhibidor correspondiendo el valor más alto a la concentración de 200 ppm con una eficiencia de 91%.

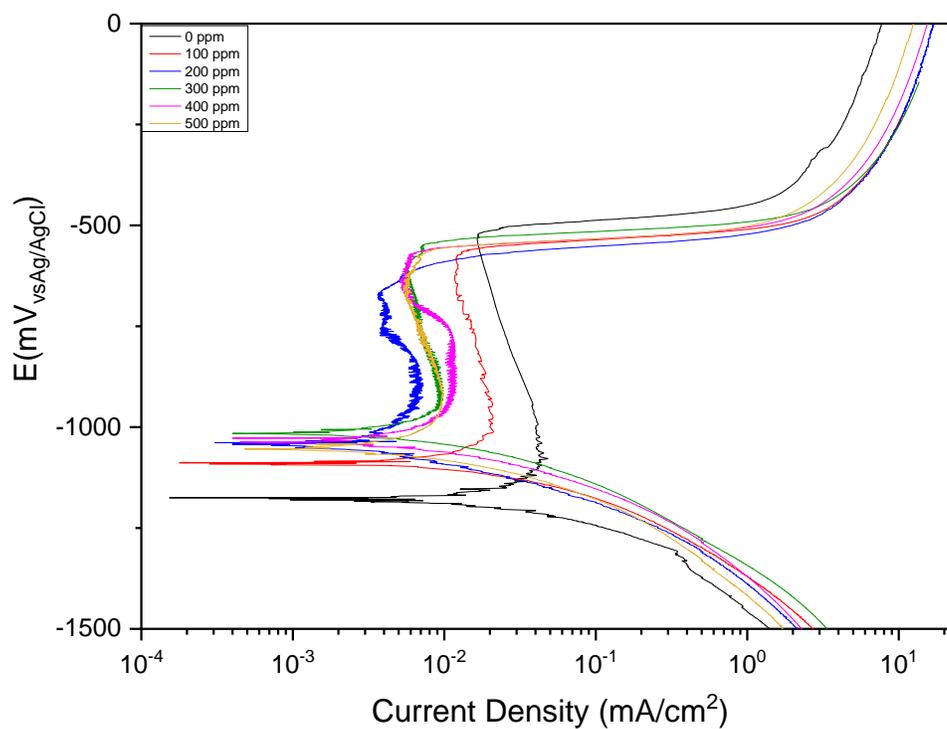


Figura 4.9 Curva de polarización del extracto obtenido con hexano en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, evaluado en solución de NaCl a 0.5M.

Tabla 4.7 Valores obtenidos en la prueba de Curva de Polarización.

CONCNRACIONES	$I_{corr}$	$E_{corr}$	%EI
0	$4.5 \times 10^{-2}$	$-1.2 \times 10^3$	
100	$1.2 \times 10^{-2}$	$-1.1 \times 10^3$	74
200	$4.0 \times 10^{-3}$	$-1.0 \times 10^3$	91
300	$6.0 \times 10^{-3}$	$-1.0 \times 10^3$	87
400	$6.0 \times 10^{-3}$	$-1.0 \times 10^3$	87
500	$6.0 \times 10^{-3}$	$-1.1 \times 10^3$	87

#### 4.1.5 Pruebas Electroquímicas con Metanol

La cantidad de extracto obtenido por el método Soxhlet utilizando el disolvente metanol se reporta en la siguiente Tabla 4.8.

*Tabla 4.8 Cantidad de extracto obtenido por el método Soxhlet utilizando el solvente de metanol.*

Solvente	Metanol
Peso de la hoja molida	<b>150g.</b>
Volumen del disolvente	<b>200 mL</b>
Temperatura de ebullición	<b>69° C</b>
Peso de la hoja molida después del proceso	<b>76.82g.</b>

#### 4.1.5.1 Potencial a Circuito Abierto (OCP)

Los resultados de OCP a temperatura ambiente durante 1h para evaluar el potencial a circuito abierto del metal con y sin contenido de inhibidor se muestran en la Figura 4.10. Los gráficos de OCP obtenidos con contenido de inhibidor, muestran una tendencia a valores menos activos al inicio y final de la prueba con respecto al blanco de prueba, se puede observar que los valores de  $E_{oc}$  tienden a ser similares al principio y final de la prueba en las concentraciones de 100, 200, 300 y 500 ppm con valores que van de  $\pm 0.717$  mV a  $\pm 0.661$  mV. En el caso de la concentración de 400 ppm se observa al principio de la prueba un comportamiento más negativo con valores de  $E_{oc}$  de 0.876 mV, pero al final de la prueba sus valores son similares con las demás concentraciones. El comportamiento en los valores de  $E_{oc}$  hacia valores más activos o nobles sugieren un comportamiento mixto del inhibidor sobre la superficie del metal ya que muestra una diferencia de más de  $\pm 80$  mV en las lecturas realizadas con presencia del inhibidor en la solución con base en esto se llegan a afectar los procesos catódicos y anódicos dependiendo de la concentración del inhibidor sugiriendo la posible formación de productos de corrosión sobre la superficie de esta.

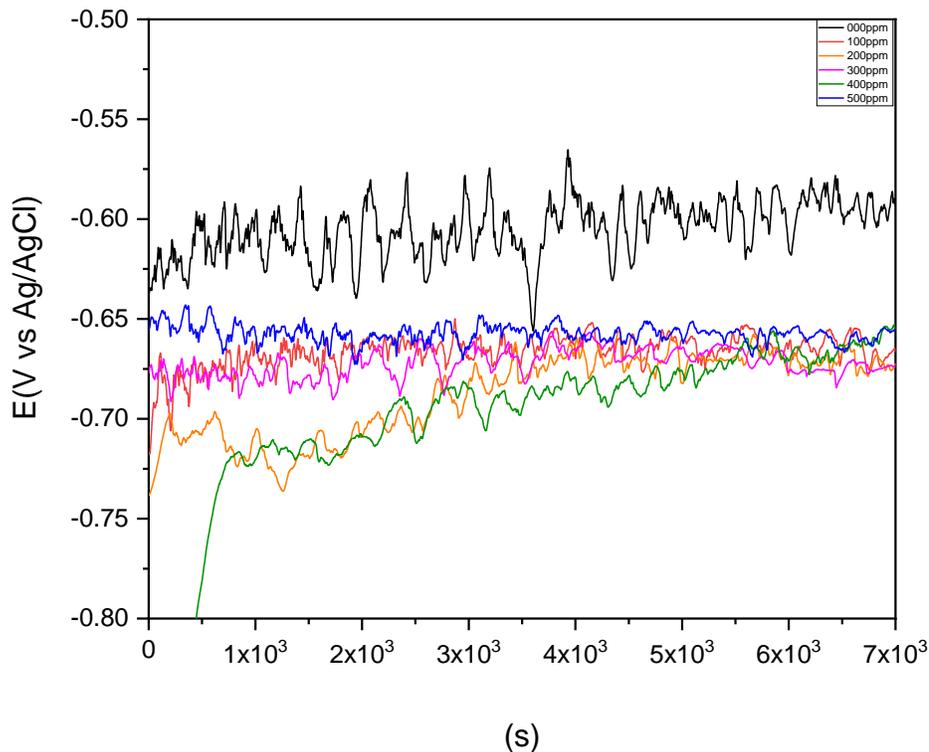


Figura 4.10 Comportamiento de potencial a circuito abierto (OCP) vs tiempo de exposición para el AA2024 inmerso en NaCl 0.5M.

#### 4.1.5.2 Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS)

Los resultados de EIS a temperatura ambiente para evaluar la eficiencia del extracto de metanol como inhibidor se muestran en la Figura 4.11. El diagrama de Nyquist muestra la formación de un semicírculo, con un posible comportamiento difusivo, observándose un incremento en el diámetro de estos con la adición del inhibidor con respecto al blanco.

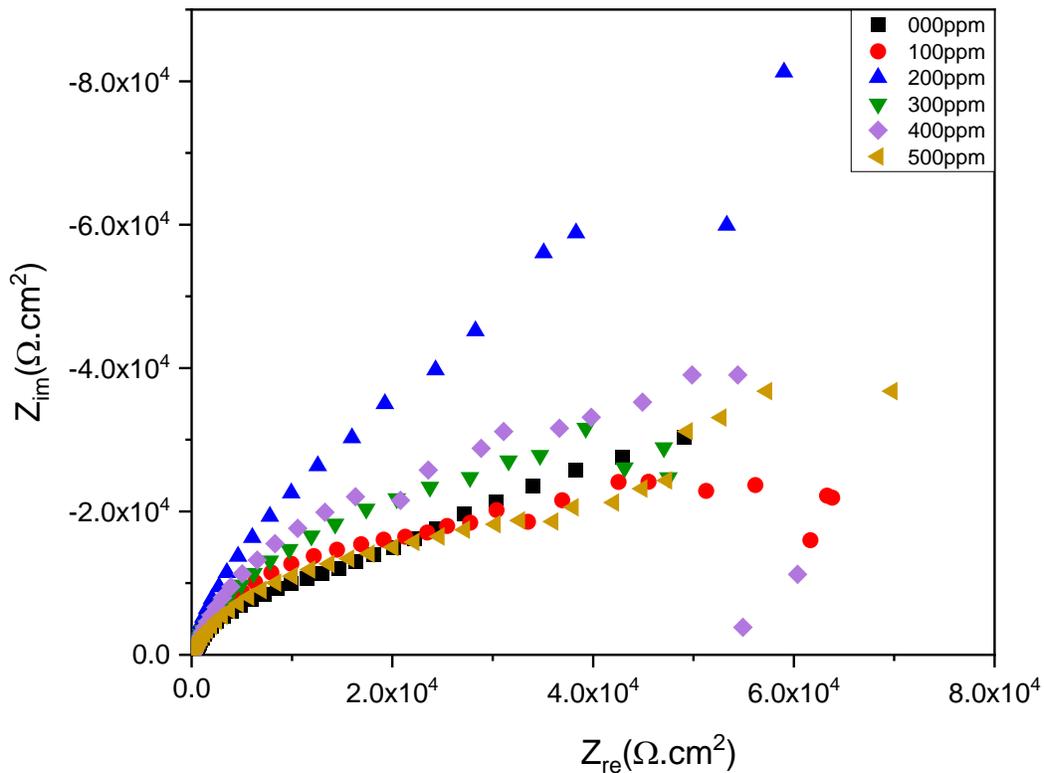


Figura 4.11 Evaluación mediante Impedancia del extracto obtenido con metanol en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, en solución de NaCl 0.5M.

En la Figura 4.12. se muestra el diagrama de Bode-phase, con el blanco y las diferentes concentraciones de inhibidor. En este diagrama se observa el comportamiento de los valores totales del módulo de impedancia ( $\log |Z|$ ) de las pruebas realizadas con y sin contenido de inhibidor observándose que a la concentración de 100 y 500 ppm presentan un valor de impedancia ligeramente

menor al blanco de prueba  $26597.4 \Omega \cdot \text{cm}^2$ , el cual fue de  $25540.01 \Omega \cdot \text{cm}^2$  y  $22507.78 \Omega \cdot \text{cm}^2$  para la concentración de 200 ppm se observa un incremento de la resistencia a la transferencia de carga ( $R_{ct}$ ) con un valor de  $37979.93 \Omega \cdot \text{cm}^2$ , el cual fue el valor de resistencia más alto obtenido, para las concentraciones de 300 ppm y 400 ppm con valores de  $R_{ct}$  de  $33874.75$  y  $32024.31$ , respectivamente.

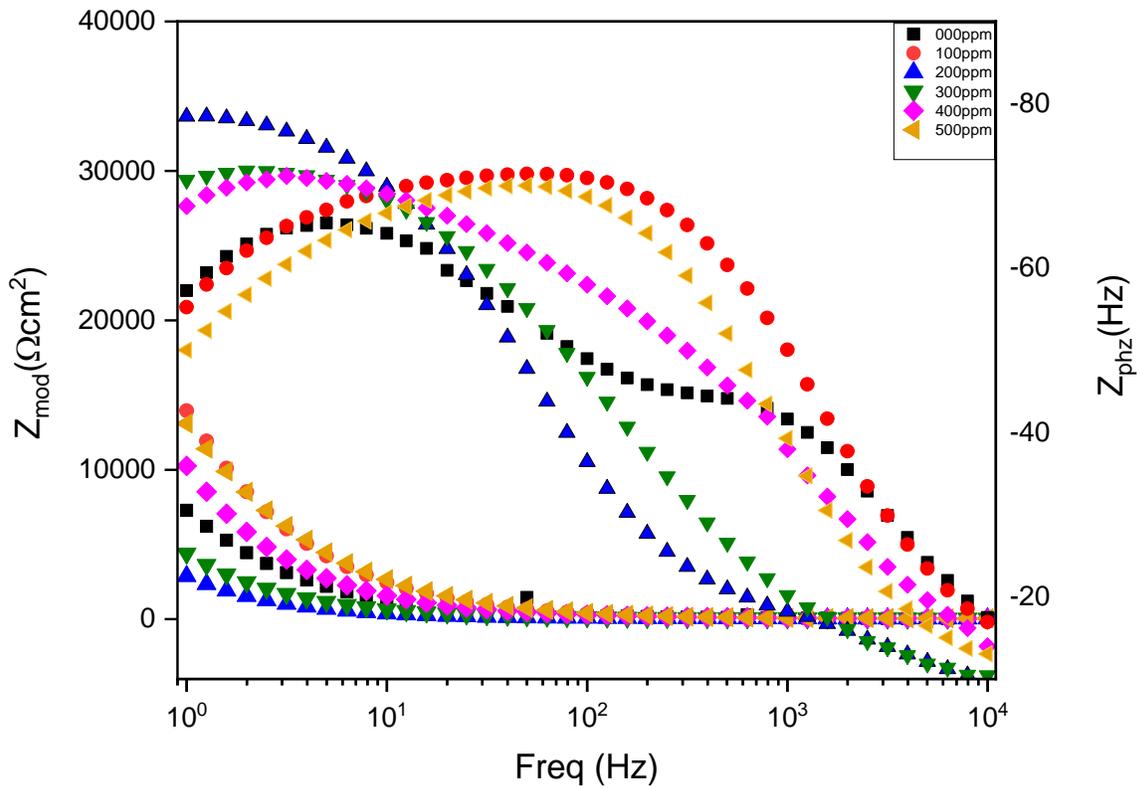


Figura 4.12 Evaluación mediante Impedancia del extracto obtenido con metanol en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, evaluado en solución de NaCl 0.5M.

#### 4.1.5.3 Resistencia a la Polarización Lineal (LPR)

En las pruebas de LPR Figura 4.13. se observa que las concentraciones de 100, 300, 500 ppm muestran una tendencia a valores por debajo de la media del blanco que va de  $15859.7436 \Omega \cdot \text{cm}^2$  con un

incremento en cada uno de los puntos sin superar los valores del blanco, hasta 400 ppm donde aumenta 20295.9352  $\Omega\text{cm}^2$ , a diferencia de la concentración de 200 ppm la cual se muestra por arriba del blanco desde el inicio de la prueba siguiendo incremento hasta el final de la prueba con un valor de media de 73314.982  $\Omega\text{cm}^2$ , Tabla 4.9.

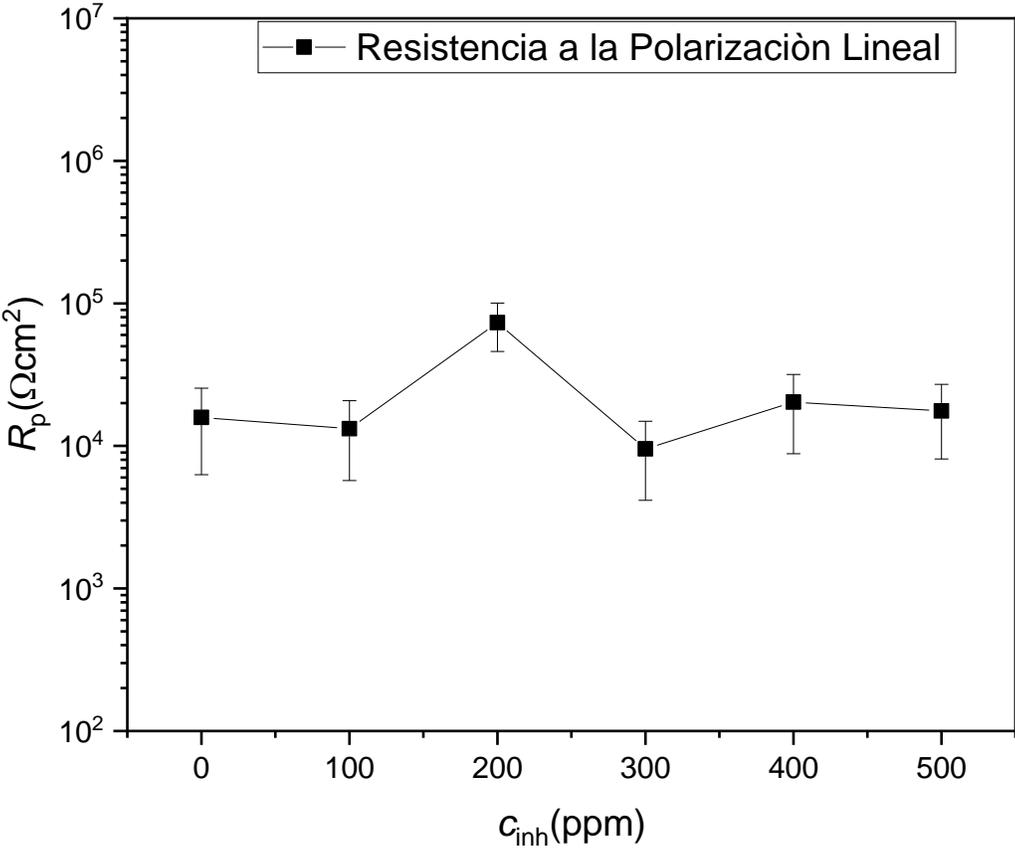


Figura 4. 13 LPR del extracto obtenido con hexano en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, evaluado en NaCl 0.5M.

Tabla 4.9 Valores de LRP en diferentes concentraciones con metanol.

Puntos	Cinh(ppm)					
	0	100	200	300	400	500
1	12.81E+0 <sup>3</sup>	1.48E×10 <sup>3</sup>	4.53E×10 <sup>4</sup>	1.21E×10 <sup>3</sup>	2.42E×10 <sup>3</sup>	2.02E×10 <sup>3</sup>
2	1.00E×10 <sup>4</sup>	1.01E×10 <sup>4</sup>	4.32E×10 <sup>4</sup>	6.96E×10 <sup>3</sup>	1.63E×10 <sup>4</sup>	1.56E×10 <sup>4</sup>
3	1.75E×10 <sup>4</sup>	1.66E×10 <sup>4</sup>	8.29E×10 <sup>4</sup>	1.29E×10 <sup>4</sup>	2.34E×10 <sup>4</sup>	2.11E×10 <sup>4</sup>
4	2.22E×10 <sup>4</sup>	1.83E×10 <sup>4</sup>	9.58E×10 <sup>4</sup>	1.33E×10 <sup>4</sup>	2.81E×10 <sup>4</sup>	2.37E×10 <sup>4</sup>
5	2.68E×10 <sup>4</sup>	1.96E×10 <sup>4</sup>	9.94E×10 <sup>4</sup>	1.33E×10 <sup>4</sup>	3.13E×10 <sup>4</sup>	2.54E×10 <sup>4</sup>

#### 4.1.5.4 Ruido Electroquímico

En la figura 4.14. Se observan los resultados de corriente y potencial de ruido electroquímico de AA2024-T3 en las cinco diferentes concentraciones de inhibidor con metanol y un blanco, los cuales fueron evaluados en solución de NaCl 0.5M, como se observa tanto las corrientes y en los potenciales se muestra un tipo de corrosión en picadura por la fácil identificación de fluctuaciones, además se puede observar que la corriente disminuye con la adición de inhibidor, presentando una menor corrosión localizada con una menor frecuencia a diferencia del blanco al tener una frecuencia alta muestra picaduras muy definidas.

La magnitud de los transitorios disminuye en la concentración de 300 ppm a lo largo del tiempo, esto también se puede observar en 400 ppm y 500 ppm para corriente se observa una alta frecuencia con pocas picaduras sobre la zona, en 400 y 500 ppm se observa un cambio tanto en las fluctuaciones de potencial, estabilizándose la corriente con una menor magnitud de transitorios en el tiempo.

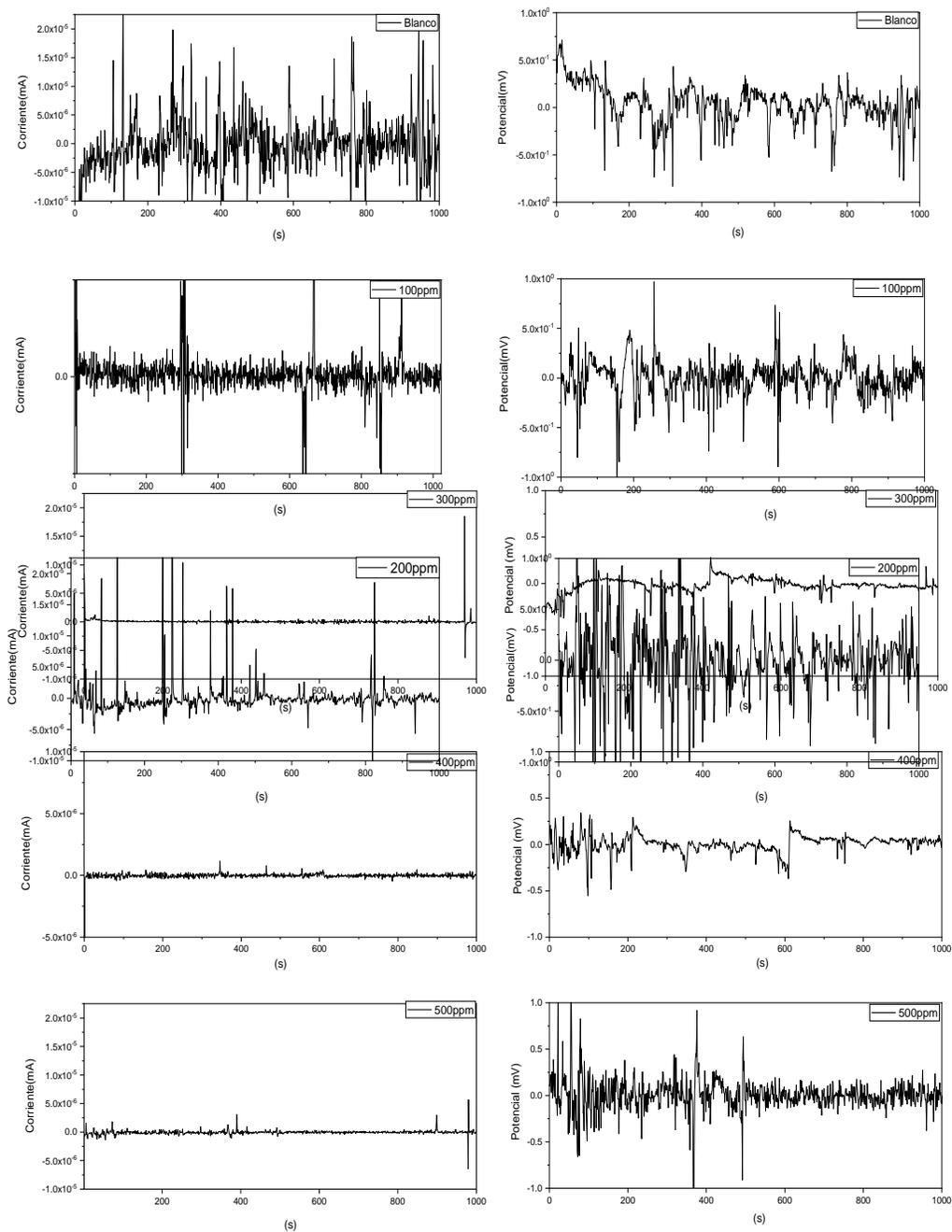


Figura 4.14 Ruido electroquímico del extracto obtenido con metanol, en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, en solución de NaCl 0.5M.

#### 4.1.5.5 Curva de Polarización

Para las curvas de polarización realizadas al AA2024-T3 en presencia y ausencia del inhibidor figura 4.15 se puede observar en las concentraciones de 200, 400 y 500 ppm un desplazamiento de los valores de potencial de corrosión ( $E_{\text{corr}}$ ) hacia valores más nobles con respecto al blanco de prueba, a diferencia de las concentraciones de 100 y 300 ppm que muestran valores más negativos con referencia al blanco.

Se aprecia, además, para todas las concentraciones de inhibidor, un desplazamiento de la zona de pasivación hacia valores más bajos en la densidad de la corriente de corrosión ( $I_{\text{corr}}$ ).

Con base en lo anterior en la Tabla 4.10, se muestra la eficiencia calculada para las diferentes concentraciones de inhibidor correspondiendo el valor más alto a la concentración de 200 ppm con una eficiencia de 65%.

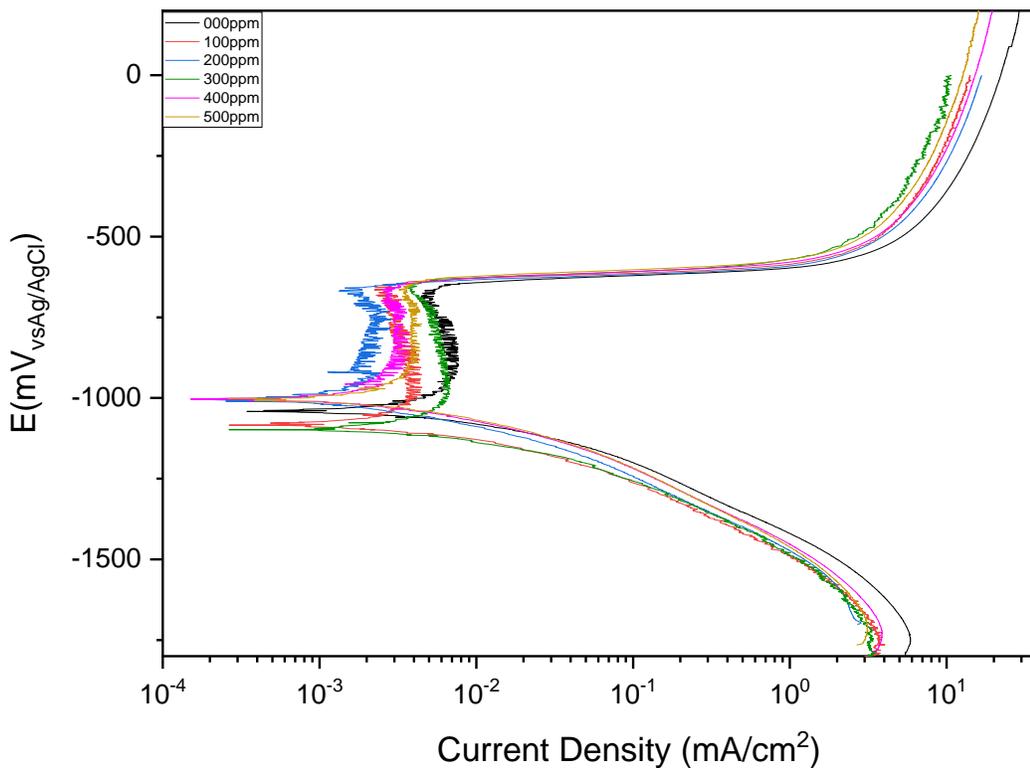


Figura 4.15 Curva de polarización del extracto obtenido con metanol en cinco diferentes concentraciones de inhibidor y un blanco, evaluado en solución de NaCl 0.5M.

Tabla 4.10 Valores obtenidos en la prueba de Curva de Polarización.

<b>Cinh(ppm)</b>	<b><math>I_{corr}</math></b>	<b><math>E_{corr}</math></b>	<b>%EI</b>
0	$8.42 \times 10^3$	$1.04 \times 10^{-3}$	
100	$4.68 \times 10^3$	$1.08 \times 10^{-3}$	44
200	$2.95 \times 10^3$	$1.01 \times 10^{-3}$	65
300	$7.07 \times 10^3$	$1.09 \times 10^{-3}$	16
400	$4.31 \times 10^3$	$9.90 \times 10^{-2}$	49
500	$4.42 \times 10^3$	$1.00 \times 10^{-3}$	47

#### 4.1.6 Pruebas gravimétricas

Se llevó a cabo un estudio de pérdida de peso para evaluar la eficiencia de inhibición del extracto de aguacate con hexano y metanol para compararlos entre sí, en la corrosión de AA-2024 sumergidas en NaCl 0.5M a diferentes concentraciones del extracto a una temperatura ambiente durante 72hrs.

Los resultados de eficiencia de inhibición se muestran a continuación en las Tablas 4.11 y 4.12; en los que se observa que la mejor concentración para esta prueba fue a 100 ppm obteniendo el 86 y 48% respectivamente para cada extracto, conforme van aumentando las concentraciones, la eficiencia va disminuyendo con el tiempo de exposición.

*Tabla 4.11% Eficiencia de pérdida de peso del Aluminio en NaCl 0.5 M con extracto de P. americana con hexano a diferentes concentraciones, durante 72h.*

<b>HEXANO</b>	
<b>Cinh</b>	<b>% Eficiencia</b>
100	86
200	37
300	0
400	27
500	9

*Tabla 4.12 % Eficiencia de pérdida de peso del AA-2024 en NaCl 0.5 M con extracto de P. americana con metanol a diferentes concentraciones, durante 72h.*

<b>METANOL</b>	
<b>Cinh(ppm)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
100	48
200	22
300	0
400	4
500	45

#### 4.1.7 Análisis de SEM

Para las pruebas gravimétricas se realizó el análisis de microscopía SEM, en AA-2024, con presencia del inhibidor y el blanco de la prueba como se puede observar en la Figura 4.16, donde se pueden observar residuos de los metales de la aleación como son el cobre y sales derivadas del NaCl, en el caso de la Figura 4.17. Se pueden apreciar el tipo de corrosión en picadura característica de este tipo de aluminio.

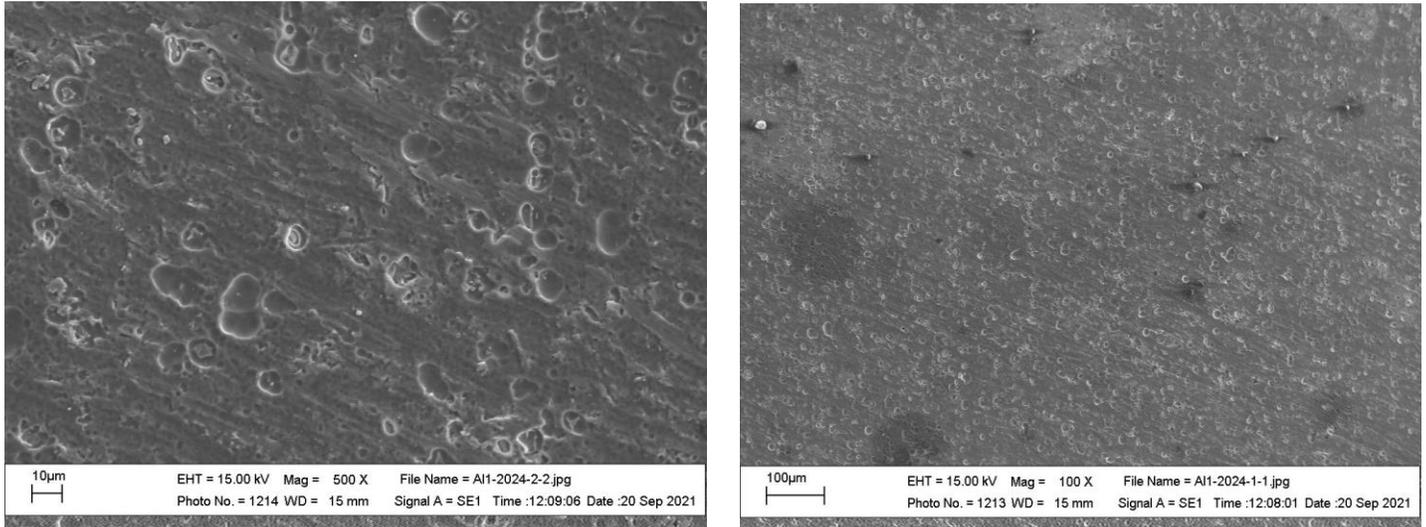


Figura 4.16 Microscopía SEM de aleación AA2024 prueba en blanco, evaluado en solución de NaCl a 0.5M.

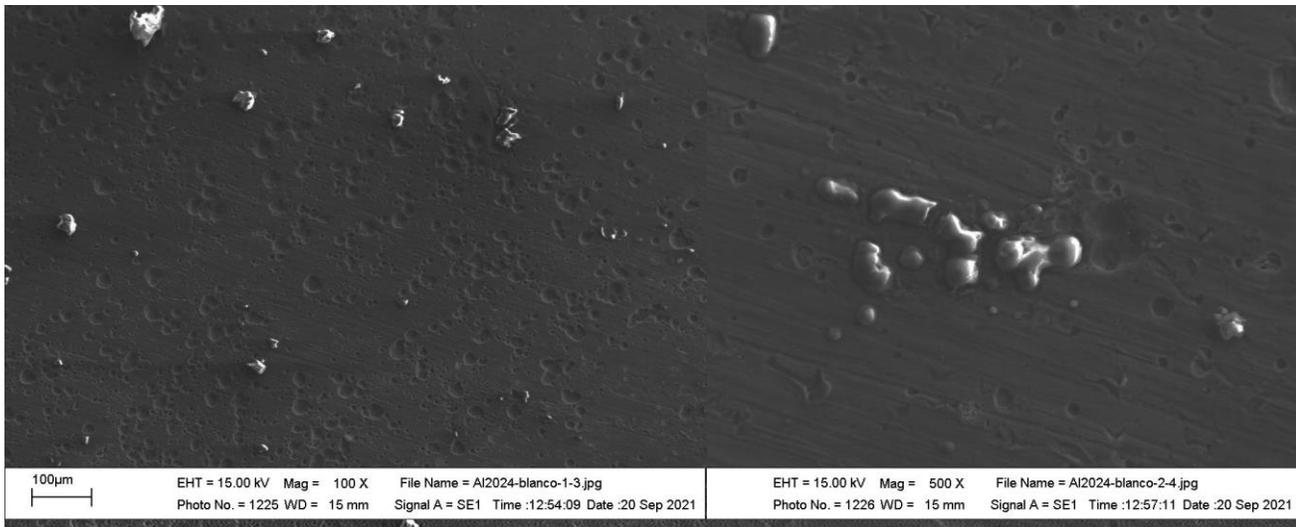
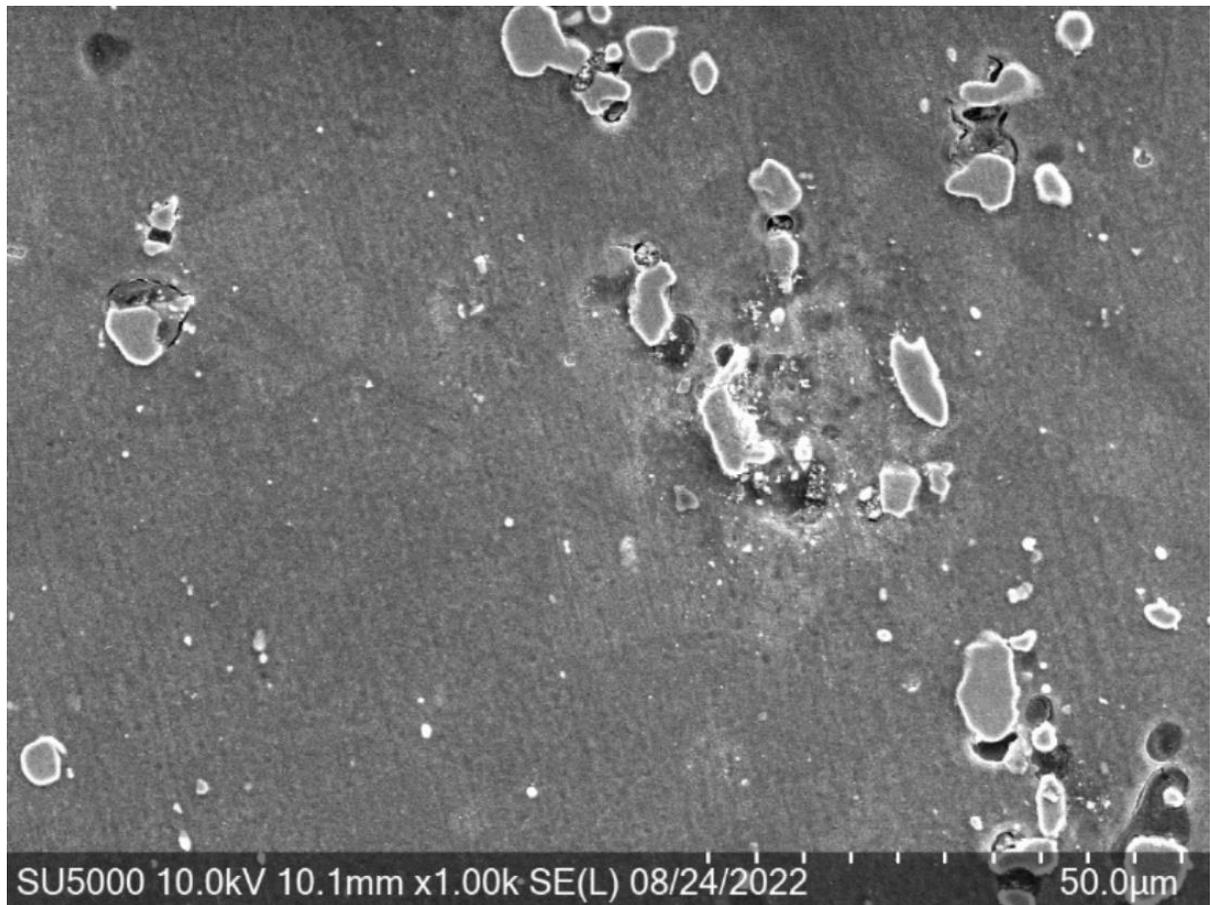


Figura 4.17 Microscopía SEM de aleación AA2024 prueba en 200 ppm, evaluado en solución de NaCl a 0.5M.

#### 4.1.8 Microestructura de AA2024

La aleación AA2024 tiene una microestructura heterogénea, en la imagen de SEM que se muestra en la figura 4.18. Se pueden observar partículas intermetálicas de los elementos que se encuentran en esta aleación.

El espectro de la composición elemental de este punto se presenta en la figura 4.19 en la que se evidencian los elementos identificados y analizados como Al, C, O, Mg, Cu, Zn, Cr, Mn, Fe.



*Figura 4 .18. Imagen de SEM de AA2024*

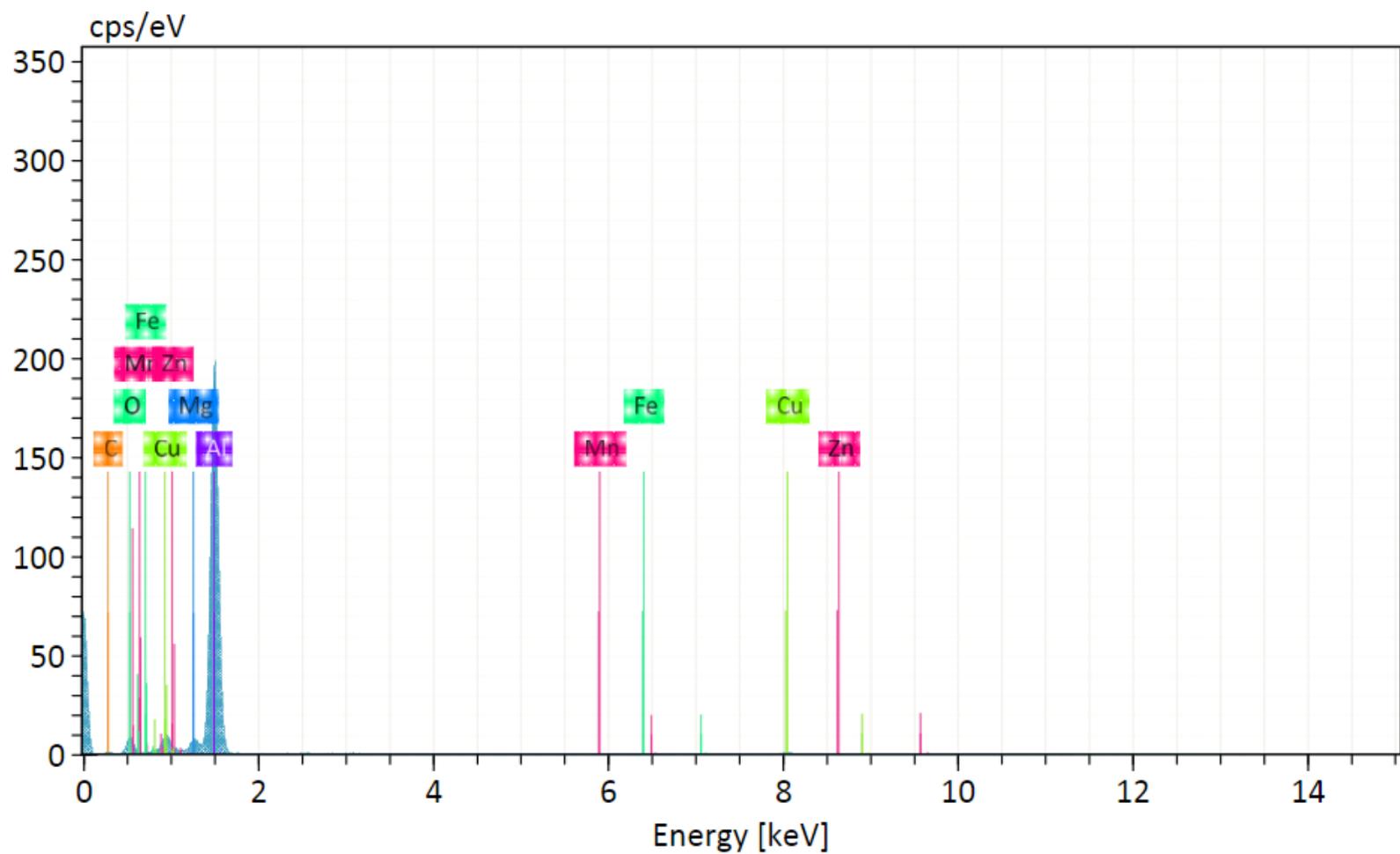


Figura 4. 19 Superposición de los espectros registrados en AA2024.

## 4.2 DISCUSIÓN

Esta investigación fue dirigida hacia trabajar con desechos agrícolas ya que se les puede brindar un valor agregado, para esto se utilizó las hojas de *P. americana* las cuales se consideran un desecho, con el fin de extraer los compuestos activos de estas hojas y analizar que tan eficiente es en la inhibición de la corrosión en metales como AA2024, debido a que son pocas las investigaciones que se realizan se utilizando extractos de residuos naturales aplicándolos como inhibidores de corrosión dándoles un uso a estos desechos que generalmente se depositan en el medio ambiente.

Los datos publicados por el INECC en 2015 dieron a conocer el aporte de contaminantes hacia el ambiente en los cuales los desechos agrícolas ocupan un 6% de emisiones de gases de efecto invernadero debido a la combustión producida por la quema de estos desechos lo cual genera grandes cantidades de carbono negro, el cual afecta al ambiente y la salud, esta información ayuda a conocer la afectación que se está teniendo y así poder tomar acciones para realizar investigaciones como esta para mitigar estos efectos al ambiente .

El uso convencional de los desechos agrícolas para energía continúa en varias partes del mundo, pero generalmente ha sido reemplazado por combustibles fósiles en gran escala para la generación de energía, producción industrial y transporte. Sin embargo, en los últimos años, la utilización de estos desechos ha recibido una atención creciente por su contenido de productos químicos y que pueden presentar actividad en diferentes procesos como lo son los inhibidores de corrosión y otros productos industriales, obteniendo una mayor eficiencia, con esto se puede demostrar que los inhibidores de corrosión son una forma sostenible de reducir los residuos generados con los altos volúmenes de hoja de *P. americana*, (Gutiérrez -Mecías et al, 2017).

La mayoría de los trabajos revisados muestran como producir inhibidores de corrosión a base de productos naturales, pero son pocos los que se realizan con extractos de residuos naturales y biorresiduos, Rafiq et al, 2018 en su trabajo destacó que la utilización de estos residuos bioactivos proporciona una plataforma eficiente, económica y respetuosa con el medio ambiente para la producción de compuestos útiles.

Los resultados obtenidos en la cromatografía de gases el extracto hexánico contiene compuestos químicos como lo son los fenoles , flavonoides y taninos son de gran importancia debido a que constituyen un grupo de metabolitos secundarios que se consideran antioxidantes naturales con múltiples beneficios, estos coinciden, con otros estudios como los de Corona,2017; Misas et al 2020, debido a que las propiedades antioxidantes que presentan son de gran interés en la industria por ser útiles como preservantes, además de provenir de una

fuerza natural y económica, en este caso también pueden ser útiles en la industria de los inhibidores de corrosión ya que se han obtenido altas eficiencias en este y otros estudios (Iglesias et al 2021). Esto amplía el panorama para aprovechar y brindar un valor agregado a los desechos agroindustriales ya que han demostrado ser amigables con el ambiente y de esta forma posibilitar aplicaciones en campos industriales distintos de la conversión de residuos en energía en la perspectiva de la economía circular (Marzorati *et al.* 2018). Además, que en comparación con los inhibidores sintéticos donde se usan aminoácidos, que tienen -OH, -COOH, NH<sub>2</sub>, los cuales son contaminantes y afectan directamente el medio ambiente y los seres vivos (Cury *et al.*, 2017; Agraje, 2019).

Los grupos funcionales que se interpretan en el estudio de FTIR de las hojas de *P. americana* demuestran la existencia de flavonoides los cuales cuentan con actividad antioxidante, comparándose con estudios como el de Kumar *et al*, 2015 donde las hojas de aguacate son más recomendables como antioxidantes naturales en comparación del fruto y la cascara.

Los resultados de este estudio obtenidos en las pruebas electroquímicas son similares a otras investigaciones, por lo cual se puede hacer una comparación, de las eficiencias de inhibición del estudio realizado con extractos a partir de *Persea americana* y otras plantas utilizadas como inhibidores de corrosión en AA-2024 en medio de NaCl (El-Etre. 2003; Zabalegui *et, al.* 2018).

En este estudio las pruebas electroquímicas también determinaron que el inhibidor es del tipo mixto, ya que tiene control de la reacción anódica y catódica, a diferencia de otros estudios donde se ha mostrado que los inhibidores son más de tipo catódico (Corona, 2017). Los resultados obtenidos con las técnicas utilizadas en este estudio como OCP, EIS, LPR y Ruido electroquímico muestran que son eficaces para el monitoreo del proceso de corrosión y de esta manera se pueden tomar medidas preventivas, como lo es la aplicación de métodos de protección utilizando extractos naturales provenientes de plantas, como métodos alternativos ecológicos.

en las pruebas realizadas con AA-2024 se muestra que al haber una ausencia de iones aluminio en solución, los quelatos no pueden formarse con los taninos de los extractos, para posteriormente ser absorbidos en la superficie del metal, lo que conlleva a una disminución de las eficiencias de inhibición, este comportamiento se ha notado en otras investigaciones como las de Berrocal y Altamiranda, 2013.

En esta investigación se observó que el comportamiento de la adsorción de inhibidor en la superficie del metal del electrodo aumenta con la concentración de inhibidor, en este estudio a menor concentración la eficiencia

es mayor para los dos extractos, con referencia en los estudios publicados por Belkhaouda, *et.al*, 2013 y Berrocal y Altamiranda, 2013.

La investigación que se ha estado llevando a cabo ha cumplido con el propósito que se tenía de manera satisfactoria, ya que los extractos a partir de la hoja de *Persea americana* han sido eficientes ante la corrosión del AA-2024, aunque la técnica de extracción es diferente a otras investigaciones donde también se ha utilizado biomasa como Berrocal y Altamiranda en su estudio del 2013 para la extracción de tabaco lo realizaron a baño maría y en el caso de la pulpa del aguacate se molió, al igual que Agraje, 2019 para los extractos de manzana y aguacate los resultados también son satisfactorios.

## CAPÍTULO 5

### 5.1 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que la investigación realizada contribuye aportando información para disminuir de manera sustancial la generación de desechos mediante, reducción, reciclaje y reutilización tal como lo marcan algunas de las metas de los objetivos del desarrollo sostenible, y así poder poner en práctica el modelo de economía circular, ya que los residuos de *P.americana* en este caso las hojas son una alternativa sustentable.

El extracto hexánico obtenido por el método Soxhlet a partir de la hoja de *P. americana*, mostraron compuestos fenólicos relacionados con actividad antioxidante, además de actuar como un inhibidor de tipo mixto, al igual que el extracto de metanol, para inhibir la corrosión de Aluminio 2024 en 0.5M. NaCl.

Los resultados obtenidos por medio de las pruebas electroquímicas muestran que si existe una eficiencia conforme aumentan las concentraciones esto para los dos extractos. Respecto a las curvas de polarización se obtuvo que la mayor eficiencia se presenta a 200 ppm para los dos extractos hexano y metanol con una efectividad del 91 y 65% respectivamente.

Para las pruebas gravimétricas la eficiencia de los inhibidores se da a bajas concentraciones teniendo una disminución de la eficiencia conforme aumenta la concentración. Con base a la polaridad de los disolventes el hexano al ser menos polar tiene mejores eficiencias en las pruebas electroquímicas y gravimétricas en comparación del metanol el cual tiene una polaridad mayor.

## **PERSPECTIVAS**

El trabajo de investigación aporta información para llevar a cabo prácticas sostenibles en el manejo de desechos de productos agrícolas implementados para la elaboración de inhibidores de corrosión, otorgándoles un valor agregado y así contribuir a la disminución de gases de efecto invernadero además de brindar un beneficio económico a los productores locales, cumpliendo con lo que se menciona en algunas de las metas de los objetivos del desarrollo sostenible, para poder poner también en práctica el modelo de economía circular, de esta forma se puede abrir la oportunidad hacia nuevas investigaciones en otras áreas de la industria donde se puedan potencializar los beneficios de los compuestos químicos que contienen estos desechos de productos agrícolas.

## BIBLIOGRAFÍA

Agraje Z., Barahona, I., Quíroz, J., Pino, H., Hernández, C., & Saavedra, C. (2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE INHIBIDORES VERDES VS INHIBIDORES TRADICIONALES EN LA CORROSIÓN DE LOS METALES*. Revista de Iniciación Científica, 5(2), 83-89. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v5.2.2509>.

Almazan Corona, L. E. (2017). *EVALUACIÓN DE LA INHIBICIÓN DE CORROSIÓN EN ACEROS INDUSTRIALES CON MOLÉCULAS ORGÁNICAS DE NOPAL*. (Tesis de grado) Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, Querétaro, México.

Ahmed A. Farag, Amr S. Ismail, M.A. Migahed, Environmental-friendly shrimp waste protein corrosion inhibitor for carbon steel in 1 M HCl solution, Egyptian Journal of Petroleum, Volume 27, Issue 4 2018, Pages 1187-1194, ISSN 1110-0621, <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.05.001>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062117304129>)

Asamblea general de la ONU. 2018. DESARROLLO SOSTENIBLE. México. <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>. [Fecha de Consulta 03 de diciembre de 2020].

Bárceñas O.A.E. , Molina E.J., Huanosto M.F., Aguirre P.S. (2003). CONTENIDO DE MACRO Y MICROELEMENOS EN HOJAS FLOR Y FRUTO DE AGUACATE "HASS" EN LA REGION DE URUAPAN MICHOACÁN. 2021, de Proceedings V World Avocado Congress Sitio web: [http://www.avocadosource.com/WAC5/WAC5\\_TOC.htm](http://www.avocadosource.com/WAC5/WAC5_TOC.htm)

Belkhaouda, M. & Bammou, Lahcen & Salghi, Rachid & Zarrouk, Abdelkader & Ebenso, Eno & Zarrok, H. & Hammouti, B.. (2013). Inedible Avocado Extract: An Efficient Inhibitor of Carbon Steel Corrosion in Hydrochloric Acid. International Journal of Electrochemical Science. 8. 10987-10999.

Berrocal M & Altamiranda E. (2013). *EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA INHIBIDORA DE CORROSIÓN DEL EXTRACTO ACUOSO DE AGUACATE (Persea americana)*. (tesis de pregrado). Universidad de Cartagena Facultad de Ingeniería Programa De Ingeniería Química, Cartagena de Indias,

D.T Y C. Boada M y Toledo V. (2003). *El planeta, nuestro cuerpo*. México: Fondo de Cultura Económica.pag.29.Castells, X. E. 2012. Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales. Madrid,

España: Diaz de Santos. p. 712.

Corona E. (2016). *MOLÉCULAS ORGÁNICAS DE NOPAL COMO INHIBIDOR NATURAL DE CORROSIÓN*. (2020), de memorias del congreso de la sociedad mexicana de electroquímica Sitio web: <https://www.researchgate.net/publication/304827104>

Corona E. (2017) *EVALUACIÓN DE LA INHIBICIÓN DE CORROSIÓN EN ACEROS INDUSTRIALES CON MOLÉCULAS ORGÁNICAS DE NOPAL* (tesis de grado). Centro Universitario UAEM Valle de México.

Cuadros, S. 2008. Residuos agrícolas, forestales y lodos. Sitio web: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45732/componente45730.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45732/componente45730.pdf). Marzo 1, 2018.

Cury R, K., Aguas M, Y., Martinez M, A., Olivero V, R., & Chams Ch, L. (2017). *RESIDUOS AGROINDUSTRIALES SU IMPACTO, MANEJO Y APROVECHAMIENTO*. Revista Colombiana De Ciencia Animal - RECIA, 9(S1), 122-132. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.530>

DOF. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. México.2018. [fecha de Consulta 23 de noviembre de 2020] [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12/pdf/Cap7\\_residuos.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf). D R Gusti et al 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1282 012083

Eddy, NO y Odiongenyi, AO (2010). *ADSORPTION AND INHIBITIVE PROPERTIES OF ETHANOL EXTRACT OF GARCINIA KOLA AND COLA NITIDA FOR THE CORROSION OF MILD STEEL IN H2SO4*. Pigment & Resin Technology , Vol. 39 No. 5, pág. 288-295.

El-Etre, A (2003). *INHIBICIÓN DE LA CORROSIÓN DEL ALUMINIO MEDIANTE EXTRACTO DE OPUNTIA*. CIENCIA DE LA CORROSIÓN, 45 (11), 2485-2495.

Fennema, O. 1993. *QUÍMICA DE LOS ALIMENTOS*. Acribia, Zaragoza, España. 1092.

Gallegos K. (2019). *PROPUESTA DE COMPETITIVIDAD SUSTENTABLE DEL COMITÉ ESTATAL DEL SISTEMA PRODUCTO AGUACATE EN EL ESTADO DE MORELOS*. (tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Morelos.

García R., Valdez B., Bastidas J. (2014) *INHIBIDORES DE CORROSIÓN DE ACERO EN MEDIOS ÁCIDOS A PARTIR DE EXTRACTOS NATURALES*. Tesis Doctor en Ciencias, Mexicali, Universidad Autónoma de Baja California. Recuperado de: <http://digital.csic.es/handle/10261/93762>.

Gómez V. (2016). *EFICIENCIA DE UN INHIBIDOR VERDE EXTRAÍDO DE CÁSCARA DE MANZANA MEDIANTE EL SISTEMA SOXHLET EN LA CORROSIÓN DEL ACERO 1018 EN MEDIO ÁCIDO*. (Tesis doctoral). Centro de Investigación en Materiales Avanzados Departamento de Estudios de Posgrado.

Gutierrez-Macias P, Hernandez De Jesus M, Barragan-Huerta E. (2017). THE PRODUCTION OF BIOMATERIALS FROM AGRO-INDUSTRIAL WASTE . *Fresenius Environmental Bulletin* , 26, 4128-4152 .

Hernández A. (2018). *RESIDUOS DE AGUACATE PODRÍAN CONVERTIRSE EN BIOCOMBUSTIBLE GRACIAS A CIENTÍFICOS MEXICANOS*. Octubre 02,2020, de EL DICTAMEN Sitio web: <https://www.eldictamen.mx/girando-en-verde/residuos-de-aguacate-podrian-convertirse-enbiocombustible-gracias-a-cientificos-mexicanos/>

Guevara<sup>1</sup> Dairon Iglesias \* Juan Abreu Payrol<sup>2</sup> Danae Pérez Santana<sup>3</sup> Rocio Cartaya Quintero<sup>4</sup>. (2021). Estudio fitoquímico preliminar y actividad antioxidante de un extracto acuoso de hoja de aguacate (*Persea americana* Mill.). QHALIKAY. REVISTA DE CIENCIAS DE LA SALUD ISSN: 2588-0608, VOL. 5 NÚM. 3, 56-65.

Instituto de Estudios Ambientales IDEA - Sede Manizales,2017. Boletín ambiental: *EL AGUACATE COMO INHIBIDOR NATURAL DE CORROSIÓN*, 141. Colombia.

INECC. (18 de Mayo de 2018). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero> [fecha de Consulta 23 de Noviembre de 2020]

Istúriz-Zapata MA, Pérez-García M, Contreras-Saavedra S y Barrera-Necha LL. 2019. *EFFECTO DE EXTRACTO ETANÓLICO DE RESIDUOS DE HIGO (FICUS CARICA) SOBRE EL CRECIMIENTO DE HONGOS POSTCOSECHA*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 37 (No. Esp. 1): 72-79.

Khalid Z. Masoodi, Sameena Maqbool Lone, Rovidha Saba Rasool. (2020). Capítulo 25 - Cromatografía en capa fina (TLC). En *Advanced Methods in Molecular Biology and Biotechnology Un manual de laboratorio práctico* (143-146). Academic Press.

Kirchherr, J., Reike, D., and Hekkert, M. 2017. Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127(September), 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

Marzorati, S., Verotta, L. y Trasatti, SP (2018). Inhibidores verdes de la corrosión de fuentes naturales y desechos de biomasa. *Moléculas (Basilea, Suiza)*, 24 (1), 48. <https://doi.org/10.3390/molecules240100>

Melgar B. (2019). *APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE CULTIVOS DE HIGO CHUMBO (Opuntia ficus-indica L.) Y AGUACATE (Persea americana)*. (tesis doctoral). Universitat Politècnica de Valencia, Valencia.

Misas I, Sara Paola Jaramillo Rojas, María Alejandra. (2020). Actividad antioxidante en subproductos de mora y aguacate; identificación preliminar de su potencial en el desarrollo de ingredientes con aplicaciones industriales. mayo 2021, de Universidad CES Sitio web: <http://hdl.handle.net/10946/4501>

Monsalve, A., Valencia, N., Páez, M., & Sepúlveda, Y. (2003). Evaluación a fatiga rotatoria de aluminio 2024-t3. *Análes de Mec. de la Fractura*, 20, 450-455.

Núñez Camargo, Danny Williams. (2012). *USO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN EL DEPARTAMENTO DEL META*. *Tecnura*, 16(34),

142-156. Retrieved October 29,2020

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123921X2012000400011&lng=en&tln\\_g=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123921X2012000400011&lng=en&tln_g=es)

Ochoa, A. 1998. Aceites esenciales. *EL AROMA DE LA NATURALEZA*. Agencia AUPEC, Universidad del Valle. Cali. En: <http://aupec.univalle.edu.co/informes/julio98/aceites.html>. Consulta: octubre 2020.

Ojeda A, Cortón H y E, (2006). *COMPARACIÓN DE INHIBIDORES COMERCIALES Y OBTENIDOS DE PRODUCTOS DE DESECHO Y NATURALES NACIONALES*. Tecnología

Química, XXVI (1),514. [fecha de Consulta 20 de Octubre de 2020]. ISSN: 0041-8420. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4455/445543749001>

Oladele, S.K. y Okoro, H.K. (2011). *INVESTIGATION OF CORROSION EFFECT OF MILD STEEL ON ORANGE JUICE*. African Journal of Biotechnology, 10(16): 3152-3156

Onen A, Jacob J. (2016). *FICUS CARICA AND VITELLARIA PARADOXA LEAF EXTRACTS AS INHIBITORS OF BRASS CORROSION IN ACIDIC MEDIUM*. International Journal of Advanced Research in Chemical Science (IJARCS).3, 34-40.

ONU. (2020). *agenda 20230*. Mexico. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>[fecha de Consulta 02 de Diciembre de 2020].

ONU Medio ambiente.2011. *PERSPECTIVA DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE*. Panamá.

Nnamchi, P.; Obayi, C. Electrochemical characterization of nanomaterials. In *Characterization of Nanomaterials: Advances and Key Technologies*; Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 2018; pp. 103–127.

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *Revista de la sociedad mexicana de biotecnología y bioingeniería*, 16, 14-46.

SEMARNAT. 2020 PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS

RESIDUOS. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/prevencion-y-gestion-integral-de-los-residuos>.

[fecha de Consulta 02 de diciembre de 2020].

Seppälä, J., Honkasalo, A., & Korhonen, J. (2017, Julio 12). Circular Economy: The Concept and its Limitations. Retrieved from ScienceDirect.

Raja, P. y Sethuraman, M. (2010). *STUDIES ON THE INHIBITION OF MILD STEEL CORROSION BY RAUVOLFIA SERPENTINA IN ACID MEDIA*. J. Mater. Eng. Perform.19:761–766.

Rodič P, Milošev I. (2019). Study of the synergistic effect of cerium acetate and sodium sulphate on the corrosion inhibition of AA2024-T3. *Electrochimica Acta*. 38, 337-349.

S. Manimegalai P. Manjula. (2017). *ELECTROCHEMICAL STUDIES OF MILD STEEL CORROSION INHIBITION IN AQUEOUS SOLUTION BY SARGASSUM SWARTZII EXTRACT*. *International Journal for Innovative Research in Multidisciplinary* pág., 3, 213-222.

Saavedra-Navarrete, Lorena M. (2017). *TECNOLOGÍA ELECTROQUÍMICA Y SUS APLICACIONES: INHIBIDORES DE CORROSIÓN A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES*. 2020, de ITESO Sitio web: <https://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/4950/Tecnolog%EDa%20electroqu%EDmica%20y%20sus%20aplicaciones%20Inhibidores%20de%20corrosi%F3n%20a%20partir%20de%20residuos%20agroindustriales.pdf?sequence=4>

Sanginés L. (2008). *AGUACATES EN ALIMENTACION HUMANA Y ANIMAL. UNA RESEÑA CORTA*. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 15#3, 211-215.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2017) *NUESTRO "ORO VERDE": EL AGUACATE*. <https://www.gob.mx/siap/articulos/nuestro-oro-verde-el-aguacate?idiom=es#:~:text=M%C3%A9xico%20es%20el%20primer%20productor,toneladas%20de%200aguacate%20en%202017.&text=Las%20entidades%20con%20mayor%20volumen,la%20producci%C3%B3n%20total%20del%20pa%C3%ADs>. [Fecha de Consulta 23 de Noviembre de 2020]

Tejeda Benítez, L. P., Meza Castellar, P. J., Altamiranda Percy, E. D., & Berrocal Bravo, M. J. (2014). *USO DE EXTRACTOS DE PLANTAS COMO INHIBIDORES DE CORROSIÓN*. *Informador Técnico*, 78(2), 155.

V. S. Sastri, *Green Corrosion Inhibitors*, Hoboken, New Jersey: John Wiley & sons, Inc., 2011. Yepes, Sandra Milena, & Montoya Naranjo, Lina Johana, & Orozco Sánchez, Fernando (2008).

*VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES - FRUTAS - EN MEDELLÍN Y EL SUR DEL VALLE DEL ABURRÁ, COLOMBIA*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*,

61(1),44224431. [fecha de Consulta 23 de noviembre de 2020]. ISSN: 0304-2847. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1799/179914077018>

Zabalegui A, Vázquez E y Galicia-Aguilar G. 2018. *SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN INHIBIDOR A BASE DE ACEITE DE AGUACATE PARA MITIGAR LA CORROSIÓN DE UN ACERO X52 EN MEDIO DULCE*. En Cortés J, El impacto de la integración disciplinaria de la ingeniería y las ciencias químicas, en la innovación y el desarrollo sostenible (106). Universidad Veracruzana Instituto de Ciencias Básicas.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería



ANIVERSARIO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
QUÍMICAS E INGENIERÍA

## FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

Programas educativos de calidad reconocidos por CIEES, CACEI y CONACYT  
SGC Certificada en la norma ISO 9001:2015

FORMATO T-2  
NOMBRAMIENTO DE COMISIÓN REVISORA  
Y DICTAMEN DE REVISIÓN

Cuernavaca, Mor., a 16 de noviembre de 2022.

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ**  
**DRA. AVE MARÍA COTERO VILLEGAS**  
**DR. ROY LÓPEZ SESENES**  
**DRA. ARELI RIZO AGUILAR**  
**DR. ÁLVARO TORRES ISLAS**  
**P R E S E N T E**

Por este conducto, me permito informarle que ha sido asignado como integrante de la Comisión Revisora de la tesis que presenta DALIA GARCIA ROSAS, titulada: "RECUPERACIÓN Y REUTILIZACIÓN SUSTENTABLE DE LOS DESPERDICIOS AGRÍCOLAS DE *Persea americana* COMO INHIBIDOR EN SUPERFICIES METÁLICAS", realizada bajo la dirección de la DRA. ARELI RIZO AGUILAR del Programa Educativo de Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables. Agradezco su valiosa participación en esta Comisión y quedo a sus órdenes para cualquier aclaración o duda al respecto.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por una humanidad culta*

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ**  
**DIRECTORA DE LA FCQEI**

### D I C T A M E N

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ**  
**DIRECTORA DE LA FCQEI**  
**P R E S E N T E**

En respuesta a su amable solicitud para formar parte de la Comisión Revisora de la tesis mencionada y una vez realizada la revisión correspondiente, me permito informarle que mi VOTO es:.

### D I C T A M E N

NOMBRE	VOTO	FIRMA
Dra. Viridiana Aydeé León Hernández	APROBADO	
Dra. Ave María Cotero Villegas	APROBADO	
Dr. Roy López Sesenes	APROBADO	
Dra. Areli Rizo Aguilar	APROBADO	
Dr. Álvaro Torres Islas	APROBADO	

Se anexan firmas electrónicas

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ** | Fecha:2022-11-16 14:31:25 | Firmante

NsV/jjNdzEtKjghNUij6sJHTr4WNktpT+yrsfoCuqww8Mfg1ZkbbIreaNmTqmgax/ZSNq958cRf6WqRygyY7ndkO/amr8B6ww0ov8GHHCoymSg/C+nPKH1eEGOTQou8o/PeelgWwYEBHu34zJnYIOzLHQH+Wz3DwPb+/WPD3QDHzqyB2fPPBKmGreLVCV+ERpfoEH74jnBcR5XDSnrPJw8SJe/+ENhg3l8fY091Jq6eAffha/7DkYu6L4XaH4QV2OxgJ8ddxJA0Gwb6H6Fsu+9KUp+RQWOJBiMqWcl3qWn1sLSI37bS2aiNeuCcdQlgMuDeQmbE7q/63XiAHn+bng==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[GqA8K2osB](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/fP2etVwrUY5SsRNiFeupfN3mJICXEITE>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**ROY LOPEZ SESENES | Fecha:2022-11-17 11:14:06 | Firmante**

BJ707+luqhkI9K154hYBBEQAaHU59wVc4I+zM21Saq+nRWIZmqDIPFxpGERhacRUpNQILCzriy61y7UcY/PbO0Q8Zr0u+4H8khHIRHcCVdv7scECMikLjFGfPanakyavn1CdJ45rGt0DgdVjm6i53w9MRww0gFeiZBZZ3DwfrVFUMXbb+WS+zRmGSWuEKUAWUzwQFys1bFHB5H6Cu3TImzIUxE2zpzVcvDzHabr0G4Mp8yqTEIEteolqLbA8pW11gwwB0fjBx9BdAtI1gdP6NhcIRaP2eJ5NkZiDuKvWkcbv64h0hybcixSJrZ5QG76sCqBP239pgpCCZikfB/OyA==

**ARELI RIZO AGUILAR | Fecha:2022-11-17 11:24:00 | Firmante**

pwSWHq3/ciGjiTV4yS/Bq1sczRW/CeKlHxYGZ0jCMn1bgolVMNzVuftr5Sb4LH1YidpiUwzimbCbXLY3j55rXp5W+D/6qB9VJd6gb1ybf9oamBl0kc1JGfw4C4gtUqRTsdGn3RcU/Stq2P5s80eVTi5eHGQOES97Y3qMjv8aaieajBW4ZqAlkpztr5vBeiG8jRhdgZS/sM6WtAPktdpOZ6GmoqiDLatJ/ze6i/ArUSZ2N2FWNj+fph40P/Uh7dlHbbGXotFoLxRwtOA4h7s1s1YrIQ8TPwneDDL/2uYR1464tFhBuiBptV6ZIT9LtpL+jSzmzKKhjP/4ZvfgnPQ==

**AVE MARIA COTERO VILLEGAS | Fecha:2022-11-17 12:53:07 | Firmante**

Kk3lwsKF6vXkaoDwYbTeilsfDbSLQdxPib4bREZv7RkND7LPIfkxsrpFcLaGpRt2LHH3w2VeUYpXQciHmaIH+8fZgsV3fpQopyrloemEJP8wdj193LIV8Nodu9Ca4MV/rpf4z6ZKaC9pZ43aGPudinDwWyPWSz7HaTRiC/1BPpgrgZx7VsThlLghd/BxJ3I8JDFLzLzFwzlu+DKOpp/cL8TLZTXMGkmbJzEYo2RQsRhxgBw4SsAMyalBFWDzkgiJEjRiJyt96rLkp0irLiqiWVzqNXvB4vCD5aLS84FzOWHo8yW8qFbfD1LmQ6/c2krPupozgVQn139nXN7bkZt1w==

**VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2022-11-18 13:17:58 | Firmante**

eS4KKVxRx0GRY6jKmvCdQjolRRsVFNO+FOZGvXTRbMOA5AQj4kSIFoA4c/PbwOcpKKTIXbRUqG9Ndti+/qr8ZApoHGzCRxlpHLQ3hoX8Jzz7rTvnX2ydCX1dlf80yuR9cvy4PYMPaqXPOjIt3pFBEI2d/fAPt9WtnOuOF45jYmlpBUSzf1xMs/Y+aoEEd3+LN9zymWMDmF011g50SJKhko3nCxweg3V7IGVQkzbpZFCt4ITc7xWCvz1ps+Uy4HPs2rA+Bic9taf3tb7hbGUFZmOA3PuDs3dbqG7c+FpRSUaUC1PvonrtBrbBaUZNaM/Lq7gv4Wc1bC6WjphlztA==

**ALVARO TORRES ISLAS | Fecha:2022-11-22 10:34:03 | Firmante**

H37sEtr2rWdtnGZiPph89N2y2G+zvjBhVSWA9LVE6nhSbopuVXb5GFw9gkX3gDQNZ1/ggKZv9Lmf1pt9XDdkwp7nYggnPo8uaGt9gvLD5EnKyDxr5PV5aRRtjlo0zk0P18leHn2Hv0wAXx+BOIDPocmVcHvNjXx66szMK6ytYur7GwAWUJ5gc4qMujDFYinpC4XpyPKY6AZoDQu1m7trAzp9FhdJmzCtqFJn2K1ERkwWyZU+MXKZC8UKpim95BrK2kjaNsiZBgdCVR8cJFaGFnstzK+YdJldc7pSex20VPZpMh9eG5W2sqeAbxBJovFJ914YZwizg6LaO5P1g==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



V85nC6jcY

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/3eHOlrO3h7k6hh72YIW4HzSOt6jM1Dx>

