

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE CALKINI

**“APROVECHAMIENTO DE BIOMASA NO CONVENCIONAL PARA EL
DESARROLLO DE INHIBIDORES VERDES DE CORROSIÓN”**

TESIS PARA TITULACIÓN INTEGRAL

INGENIERÍA EN MATERIALES

**EGRESADO:
YERI ISABET CAAMAL COL**

**DIRECTOR:
DR. MARIO ADRIÁN DE ATOCHA DZUL CERVANTES**

**CO-DIRECTOR
DR. OSCAR FERNANDO PACHECO SALAZAR**

Calkiní, Campeche, México 2025



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Subdirección de Planeación y Desarrollo

Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante

Calkiní, Campeche **45932**
P/10/25/785

INGENIERIA EN MATERIALES

CONSTANCIA DE NO INCONVENIENCIA

MODALIDAD: TESIS

C. YERI ISABET CAAMAL COL 7527
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERIA EN MATERIALES.
PRESENTE

Con relación a lo establecido en el Reglamento de Estudios de Licenciatura, capítulo VII, fracción I, vigente en este Instituto, y una vez emitido el fallo favorable por el director MARIO ADRIAN ATOCHA DZUL CERVANTES, y el co-director OSCAR FERNANDO PACHECO SALAZAR, respectivamente, este Instituto consta de no tener inconveniencia para la realización del acto protocolario de titulación integral de su trabajo profesional titulado: **"APROVECHAMIENTO DE BIOMASA NO CONVENCIONAL PARA EL DESARROLLO DE INHIBIDORES VERDES DE CORROSION"**.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Sabiduría Fortaleza de Nuestra Cultura®

Dr. Jorge Alfonso Hau Puc.
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante.

C.c.p. Archivo



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE CALKINÍ

"DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR Y APOYO A
ESTUDIANTES"

CLAVE: 04MSU0013P
CALKINÍ, CAMPECHE, MÉXICO.



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Ah Canul S/N por Carretera Federal, Calkiní, Campeche,
C.P. 24900 Tel. 996-8134870,
e-mail: se_dcalkini@tecnm.mx | itescam.edu.mx



Dedicatoria

La culminación de esta tesis representa el esfuerzo de muchos años de aprendizaje, retos y experiencias. Este logro no hubiera sido posible sin el apoyo invaluable de las personas que han estado presentes a lo largo de este camino, a quienes deseo expresar mi más sincera gratitud.

En primer lugar, agradezco al maestro Mario de Atocha Dzul Cervantes y Oscar Fernando Pacheco Salazar, por su guía, paciencia y dedicación en cada etapa de este proyecto sus consejos y conocimientos fueron fundamentales para dar forma a este trabajo.

A mi familia, por su amor incondicional, comprensión y apoyo constante, en no dejarme sola cuando más lo necesitaba. Gracias por creer en mí, incluso en los momentos más difíciles, y por brindarme la fortaleza necesaria para seguir adelante.

A mis amigos y compañeros, por su motivación, por ser fuente de inspiración y por compartir conmigo cada alegría y desafío durante este proceso.

Finalmente, agradezco al Tecnológico Instituto Tecnológico Superior de Calkiní por proporcionarme los recursos y el espacio necesarios para llevar a cabo esta investigación.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este sueño hecho realidad, ahora si puedo decir que los sueños si se cumplen si trabajas en ello.

Agradecimientos

Le agradezco a mis padres, María Luisa Col Chablé y Audomaro Caamal Chan, les debo todo lo que soy, porque cada sacrificio, cada palabra de aliento y cada lección me han formado de una manera que nunca podré expresar con palabras suficientes. Ustedes son mi inspiración constante, la luz que guía mi camino, su amor incondicional y su ejemplo de fortaleza me han enseñado que no hay límites cuando el esfuerzo y el corazón van de la mano.

A mis maestros, Mario de Atocha Dzul Cervantes y Oscar Fernando Pacheco Salazar, les debo el conocimiento y la pasión por aprender. Cada lección impartida con paciencia y dedicación ha moldeado no solo mi intelecto, sino también mi forma de ver el mundo. Gracias por guiarme, por creer en mí, y por ser parte esencial de este viaje que apenas comienza.

Hoy, más que nunca, reconozco que todo lo que soy y seré es gracias a ustedes. Prometo seguir esforzándome y luchando por mis sueños, llevando siempre en mi corazón cada enseñanza, cada consejo y cada momento compartido.

INDICE

RESUMEN	1
CAPITULO I.	2
1.1. INTRODUCCION.....	2
1.2. JUSTIFICACION	4
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. HIPOTESIS	5
1.5. ANTECEDENTES.....	6
CAPITULO II	8
2.1. MARCO TEORICO	8
2.1.1 Corrosión	8
2.1.2. Tipos de corrosión	8
2.1.2.1. Corrosión uniforme.....	8
2.1.2.2. Corrosión galvánica.....	9
2.1.2.3. Corrosión por picaduras	9
2.1.2.4. Corrosión por cavitación.....	10
2.1.2.5. Corrosión por microbiología	11
2.1.2.6. Corrosión por erosión.....	11
2.1.2.7. Corrosión en medios acuosos.....	11
2.1.3. Acero ASTM A36	11
2.1.4. Inhibidores de corrosión.....	12
2.1.5. Inhibidores orgánicos.....	12
2.1.6. Inhibidores anódicos	13
2.1.7. Inhibidores catódicos	13
2.1.8. ALTAMISA (Parthenium hysterophorus L.).....	13
2.1.9. Maceración	15
2.1.10. Tipos de maceración.....	15
2.1.10.1. Maceración en frio.....	15
2.1.10.2. Maceración en caliente	15
2.1.11. Métodos de caracterización de extractos.....	15

2.1.11.1. Compuestos fenólicos	15
2.1.11.2. Método de determinación (método de folin-ciocalteu).....	16
2.1.11.3. Capacidad antioxidante	16
2.1.11.4. Método de DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo).....	16
2.1.11.5. Análisis espectrofotómetro UV/VIS	16
2.1.11.6. La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).....	16
2.1.12. Métodos evaluación de la corrosión.....	17
2.1.12.1. Método gravimétrico (pérdida de masa).....	17
2.1.12.2. Inspección visual	17
CAPITULO III	19
3.1. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1.2. Elaboración del extracto	19
3.1.3. Determinación de polifenoles totales por el método de folin-ciocalteu.	19
3.1.3.1. Solución de carbonato de sodio	19
3.1.3.2. Solución stock de ácido clorogénico y preparación de la curva de calibración	20
3.1.4. Determinación de la capacidad antioxidante por el método de DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo).....	21
3.1.5. Preparación de las soluciones	21
3.1.5.1. Solución de HCl.....	21
3.1.5.2. Solución de NaCl.....	22
3.1.6. Preparación de las probetas	23
3.1.7. Preparación de la prueba gravimétrica	24
3.1.7.1. Pruebas patrón sin inhibidor.....	24
3.1.7.2. Pruebas con inhibidor.....	25
3.1.8. Análisis de probetas sometidas	25
3.1.8.1. Limpieza de las probetas	25
3.1.9. Inspección visual.....	25
CAPITULO IV	26
4.1. RESULTADOS Y DISCUSIONES	26
4.1.2. Caracterización del extracto	26
4.1.2.1. Determinación de polifenoles totales por el método de folin- ciocalteu.	26

4.1.2.2. Determinación de la capacidad antioxidante por el método de DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo)	28
4.1.3. Pruebas gravimétricas.	28
4.1.3.1. Pérdida de masa en probetas de muestra	28
4.1.3.2. Pérdida de masa en NaCl con extracto etanólico	31
4.1.3.3. Eficiencia del extracto como inhibidor de la corrosión en NaCl 1M	33
4.1.3.4. Pérdida de masa en HCl con extracto etanólico	34
4.1.3.5. Eficiencia del extracto como inhibidor de la corrosión en HCl 1M	36
4.1.3.6. Discusión de la prueba gravimétrica	37
4.1.4. Inspección visual.....	38
4.1.4.1. Inspección visual de probetas en soluciones NaCl y HCl 1M sin extracto	38
4.1.4.2. Inspección visual de probeta en solución NaCl 1M con extracto ..	39
4.1.4.3. Inspección visual de probetas en solución HCl 1M con extracto..	41
4.2. CONCLUSIONES.....	44
4.3. RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍAS	46

Índice de figuras

Índice de tabla

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad evaluar la capacidad del extracto etanólico de la planta *Altamisa* (*Parthenium hysterophorus L.*) como inhibidor de la corrosión para el acero ASTM A36 expuesto en soluciones de HCl y NaCl a 1M.

Para este análisis se obtuvo un extracto mediante la extracción por maceración donde se utilizó etanol al 96% de pureza. El análisis y evaluación del extracto se realizó mediante técnicas analíticas, instrumentales y gravimétricas. Al ser obtenido este extracto fue necesario la determinación de polifenoles presentes, esto se realizó por el método de folin-ciocalteu y se determinó la actividad antioxidante del extracto mediante el método de DPPH. La evaluación del extracto como inhibidor de la corrosión se realizó mediante una prueba gravimétrica de pérdida de masa y mediante inspección visual.

Como primer resultado se presenta que el extracto contiene alta cantidad de polifenoles, este resultado se presenta como porcentaje de ácido clorogénico en el extracto, obteniéndose un 85.64 mg de ácido clorogénico en 100 ml de extracto etanólico. Con un 60.7% de inhibición de radicales libres a concentración de 100 µL como actividad antioxidante.

Los resultados gravimétricos demuestran que a una concentración de 500 ppm de extracto etanólico en la solución de NaCl a 1M, presenta mayor inhibición de corrosión de un 65.38% a 56.78% siendo más eficiente un 9% que en una concentración de 1000 ppm. En la solución de HCl a 1M en concentración 500 ppm presenta una inhibición del 58.15 al 49% con el paso del tiempo, siendo un 7% más eficiente que en una concentración de 1000 ppm de extracto. La inspección visual corrobora los resultados gravimétricos de pérdida de peso, ya que, se observa que en una concentración de 500 ppm de extracto en ambas soluciones presenta menor cantidad de corrosión y por ende menor velocidad de corrosión. Cabe destacar que en una concentración de 1000 ppm el extracto también actúa como un inhibidor de la corrosión, sin embargo, en menor eficiencia.

El trabajo concluye determinando que el extracto de la planta *Altamisa* (*Parthenium hysterophorus L.*), actúa como un inhibidor de la corrosión en una concentración determinada, siendo este caso de 500 ppm en ambas soluciones.

CAPITULO I.

1.1. INTRODUCCION

Se entiende que la corrosión es una reacción electroquímica donde el material metálico reacciona con su entorno o medio ambiente, generalmente ocurre inicialmente en la superficie, ocasionando la pérdida o deterioro del material. Uno de los factores que más influyen en la corrosión es la concentración del electrolito presente.

Para disminuir la velocidad de la corrosión en estos materiales metálicos en ambientes ácidos y salinos se han empleado diferentes inhibidores químicos en pequeñas cantidades. Existen diferentes tipos de inhibidores químicos efectivos, pero la aplicación de estos para el medio ambiente causa una preocupación debido a su toxicidad y el daño que puede ocasionar incluso en la salud de las personas, además de su costo muy elevado en el mercado (FANO, 2021). Por ello que el desarrollo de inhibidores naturales o inhibidores “verdes” a base de materiales orgánicos, por ejemplo, extractos, aceites, compuestos bioactivos de origen vegetal, entre otros, son amigables con el ambiente, esto ha sido de gran beneficio para la química verde, que ha servido para que disminuya la contaminación del planeta, ha sido de gran interés en la investigación (RIVERA, 2020). Sin embargo, el estudio y la aplicación de estos inhibidores verdes, enfrenta grandes retos.

Es por ello, que la siguiente investigación tiene como finalidad estudiar la capacidad del extracto etanólico de la hoja de la planta Altamisa (*Parthenium hysterophorus L.*) como inhibidor verde de la corrosión para un acero al carbono A36 sometido en una solución ácida de 1 M de HCl y una solución salina de 1 M de NaCl, simulando ambientes altamente corrosivos. Con el modelo aplicado y con los resultados se espera enriquecer el conocimiento y se pueda responder algunos de los interrogantes teóricos, los cuales ayuden a interpretar la información. En la actualidad, no es suficiente identificar cuáles son los inhibidores más efectivos para evitar o retrasar la corrosión, como ya antes mencionado, es crucial que estos sean amigables con nuestro entorno, por esto, esta investigación tiene una gran importancia y relevancia, no solo en la industria, sino que, con el enfoque planteado, compromete a un trabajo sustentable y sostenible.

En el capítulo I, se presenta de manera introductoria el trabajo, la manera en que se justifica toda la investigación, así como los objetivos a cumplir, una hipótesis y antecedentes de la literatura.

En el capítulo II, se abordan diferentes conceptos, por ejemplo, la introducción a la corrosión, tipos de corrosión, conceptos de la planta Altamisa (*Parthenium*

hysterophorus L.), la introducción de conceptos de la metodología y técnicas de caracterización etc. Pretende ayudar a conocer las temáticas del documento.

En el capítulo III, se presentan los materiales, equipos y métodos donde se explica cada uno de los pasos que se siguieron en la metodología, técnicas de caracterización y evaluación del extracto obtenido de las hojas de la planta Altamisa (*Parthenium hysterophorus L.*), desarrollados con base a los objetivos planteados para la investigación.

En el capítulo IV, se analiza detalladamente los resultados obtenidos en relación a la eficiencia y eficacia del extracto obtenido como un inhibidor verde de la corrosión aplicado en un acero al carbono A36.

Finalmente, en el capítulo V, está enfocado a presentar las conclusiones del modelo experimental y de los resultados obtenidos.

1.2. JUSTIFICACION

El análisis sobre la inhibición de la corrosión ha dado paso a nuevas estrategias y métodos para su control, entre ellos, el uso de inhibidores de tipo inorgánico o sintético, comúnmente fabricados a partir de compuestos químicos. Aunque estos han demostrado ser eficaces, presentan un problema significativo: su toxicidad tanto para el medio ambiente como para la salud humana. Esta problemática ha generado una mayor conciencia ecológica, lo que ha llevado a limitar e incluso prohibir el uso de estas sustancias sintéticas.

Ante esta situación, ha crecido el interés por investigar nuevos productos que permitan controlar la corrosión sin afectar el entorno. Esto ha impulsado la búsqueda de inhibidores orgánicos, los cuales se caracterizan por ser menos peligrosos, no tóxicos y más amigables con el medio ambiente.

En este contexto se enmarca la presente investigación experimental, centrada en evaluar la capacidad inhibidora de la planta Altamisa (*Parthenium hysterophorus L.*). Este estudio representa una alternativa sustentable, ya que se basa en un recurso orgánico poco convencional. Además, esta planta ha sido clasificada a nivel mundial como una especie invasora difícil de erradicar, especialmente en zonas agrícolas, lo cual facilita su obtención para fines científicos.

El metal seleccionado para esta investigación es el acero al carbono A36, ampliamente utilizado en la industria de la construcción, estructuras y aplicaciones domésticas. Debido a su uso frecuente, resulta fundamental asegurar su protección contra la corrosión para evitar fallos estructurales y riesgos potenciales.

La importancia de este estudio radica en el aprovechamiento de un recurso orgánico como base para desarrollar inhibidores de la corrosión aplicables a metales. Desde el punto de vista científico, este proyecto tiene el potencial de generar nuevos conocimientos y abrir el camino hacia el uso de alternativas más sostenibles que reemplacen a los inhibidores químicos. En términos económicos, también podría representar una solución más accesible en comparación con los métodos tradicionales.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el extracto de la planta *Parthenium hysterophorus* L. como posible anticorrosivo natural.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Extraer el extracto de la planta *Parthenium hysterophorus* L.
2. Caracterizar fisicoquímico el extracto de la planta *Parthenium hysterophorus* L.

1.4. HIPOTESIS

A través de la caracterización del extracto etanólico, se busca respaldar su uso como inhibidor de la corrosión del acero al carbono A36 en medios ácidos y salinos, proponiéndolo como una alternativa efectiva para la prevención y el control del proceso corrosivo.

1.5. ANTECEDENTES

Para este proyecto se revisan los siguientes trabajos.

Loyola col. Andrés (2023). Realizaron una tesis con el título “Carragenina-kappa natural como inhibidor de corrosión ecológico para la corrosión del acero de baja aleación en ácido clorhídrico 1M”. La caracterización del extracto fue por espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). Así como la evaluación fue por el método gravimétrico (PP), polarización potenciodinámica (PDP), espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) entre otras técnicas, Obteniendo como resultado que la carragenina es un inhibidor de corrosión efectivo para el acero 2.25Cr1.0Mo. Su eficacia de inhibición aumenta con la temperatura y la concentración de carragenina (CKN). Y concluyeron que la inhibición ocurre mediante quimisorción por la adsorción de la CKN sobre la superficie del acero.

Dávalos (2020). Presenta una tesis con título “Inhibición de la corrosión de aluminio en H₂SO₄ por *Chenopodium Ambrosioides*”. Al obtener un extracto hexánico y metanólico se valoraron a diferentes concentración y temperaturas mediante las técnicas electroquímicas, gravimétricas y espectroscópicas como; curvas de polarización potenciodinámicas, espectroscopia por impedancia electroquímica, así como por la pérdida de masa. Estas técnicas demuestran que en un rango de concentración de 800-900 ppm de extracto hexánico a 25 y 40 °C presenta mejor inhibición a la corrosión y para el extracto metanólico a concentración 200 ppm a 40 y 60 °C presenta un efecto controlado de corrosión. Y concluyeron que ambos extractos a concentraciones exactas son eficaces para la inhibición de la corrosión.

Tapia (2023). En su tesis titulada “Estudio de extracto de *Geoffroea Decorticans* como inhibidor de la corrosión para acero al carbono AISI 1020 en solución 1 M NaCl” evaluó el extracto acuoso de Chañar con metanol y acetato de etilo por las técnicas electroquímicas de voltaje de circuito abierto y espectroscopia de impedancia electroquímica y con un análisis morfológico con microscopia electrónica de barrido (MEB). En los resultados presenta que el extracto metanólico aumentó la velocidad de corrosión a un 16.20%, lo que favorece la corrosión. Y el extracto base acetato de etilo presenta resultado favorable desminuyendo la velocidad de corrosión hasta un 20.41%. Logra concluir que el extracto de la hoja de Chañar no es muy eficaz como inhibidor de corrosión e incluso la puede favorecer.

Diestra & Zavaleta (2023). En su tesis “Influencia de la dosificación de *Sapindus Saponaria* sobre la velocidad de corrosión del acero 1.25Cr-0.5Mo en HCl 1M”. se evaluó la eficiencia de la inhibición por medio de técnicas electroquímicas de modulación de frecuencia electroquímica, espectroscopia de impedancia electroquímica, polarización potenciodinámica y resistencia a la polarización lineal, obteniendo como resultado que la inhibición de la corrosión incrementó en

relación directa con la temperatura y la dosificación de *Sapindus Saponaria* (SS), logrando una máxima eficiencia de inhibición de 79% a 65°C y 0.4 g L⁻¹ de SS. Concluyendo, que el extracto de SS se comportó como inhibidor mixto en la inhibición del proceso anódico y logrando desarrollar un nuevo inhibidor de corrosión ecológico para el acero 1.25Cr-0.5Mo.

Calero col. Pulido (2023). Presentan la tesis “Fabricacion de un aditivo anticorrosivo mediante la extracción de polifenoles de meterial orgánico residual”. Donde el extracto se obtuvo mediante soxhlet y se caracterizó por cuantificación de polifenoles con el reactivo de Folin – Ciocalteu. El recubrimiento se evaluó por normas de camara salina y se obtuvo que las laminas pintadas con este recubrimiento fabricado presentan un oscurecimiento de la capa protector lo que puede indicar que el recubrimiento está actuando como una capa de pasivación, mientras que las laminas sin recubrimiento presentan corrosiones mas localizadas. Como conclusión discuten que, el recubrimiento tuvo la resistencia suficiente como para no desprenderse durante la prueba en cámara salina y protegió las láminas de acero al carbon de la corrosion después de 100 horas de ensayo.

CAPITULO II

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1 Corrosión

La corrosión es un fenómeno electroquímico que altera diferentes tipos de materiales, principalmente materiales metálicos, esto es debido a que estos materiales se encuentran en condiciones de humedad, acidez o salinidad y genera una reacción de oxidación, en consecuencia, un metal se corroe. (RIVERA, 2020).

Visto desde otro punto de vista, la corrosión es el proceso donde el metal busca volver a su estado natural, esto significa que no es un material estable en condiciones ambientales naturales y que su condición natural no se presenta como un sólido cerovalente. (AMPARO, 2021 citado por ALVAREZ, 2023).

La corrosión electroquímica implica reacciones de oxidación y reducción, esta oxidación significa la pérdida de electrones, en cuanto a reducción se refiere a la ganancia de electrones, debido a estas reacciones se genera una corriente eléctrica. Las dos semirreacciones de la corrosión involucran a un metal M que se oxida mediante el uso de un oxidante catiónico N^{n+} . En la ecuación 2.1 se representa la semirreacción anódica y en la ecuación 2.2 la semirreacción catódica. (ALVAREZ, 2023)



2.1.2. Tipos de corrosión

2.1.2.1. Corrosión uniforme

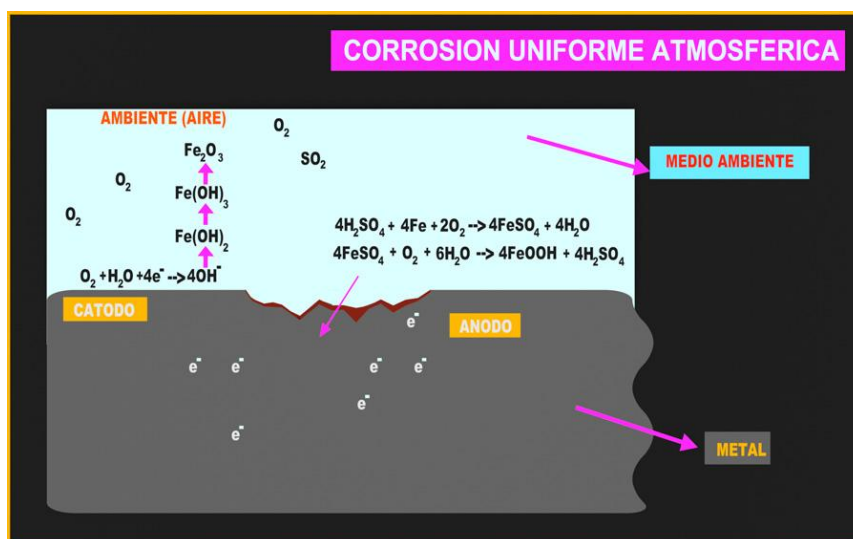
La corrosión uniforme o generalizada se produce gracias a un ataque de manera uniforme sobre toda la superficie del metal, de ahí el nombre “general” ya que, ocurre sobre prácticamente en toda la pieza, aunque se puede decir que no es del todo uniforme porque el área de la superficie no sufre el mismo grado de corrosión. Una de las maneras más fáciles de identificar la corrosión uniforme es cuando la pieza se metaliza es sumergida a una solución acuosa, el grado de corrosión depende de la concentración del ácido en el que esté sometido. Cualquier ataque corrosivo es más destructivo cuando se somete en medios acuosos por la presencia de oxígeno es mayor que en la atmósfera. (Mosley, 2022).

Una corrosión uniforme en el medio ambiente tiene como principal característica una capa de óxido entre la superficie de la pieza y el medio ambiente lo que evita que el ataque se propague gravemente, esto es porque existe un bajo nivel de

oxígeno y porque se producen productos de corrosión cerca de la superficie. Cuando se presenta este tipo de corrosión, se generan cátodos y ánodos en zonas aleatoria conforme el tiempo pase, ocasionando la pérdida de masa. En la figura 2.1, se presenta el mecanismo de corrosión uniforme en el medio ambiente (Mosley, 2022).

Figura 2.1

Mecanismo de corrosión uniforme en el medio ambiente.



Nota. Mecanismo de corrosión uniforme en el medio ambiente generando pérdida de masa. Tomado de (Mosley, 2022).

2.1.2.2. Corrosión galvánica

Este tipo de corrosión ocurre cuando dos metales que tienen diferentes composiciones se juntan mientras se exponen a un medio acuoso o al medio ambiente. Entre estos dos, el metal menos noble en el entorno tiende a corroerse con más rapidez, por ende, el metal más inerte se convierte en el cátodo, estará protegido de la corrosión. Un ejemplo de este, los tornillos de acero se corroen más cuando están en contacto con el latón en un entorno marino (FANO, 2021)

2.1.2.3. Corrosión por picaduras

Este tipo de corrosión se presenta en metales y aleaciones pasivos como aceros bajos en carbono, el aluminio y el acero inoxidable, ocasionando la pérdida de metal en ciertas zonas de la superficie y crean pequeños orificios o picaduras, de ahí el nombre, figura 2.2. Principalmente se inicia en una zona de la capa pasiva, por una concentración de iones de cloruro y por soluciones ácidas. Generalmente es desconocido la cantidad de material removido en los orificios, haciendo más difícil de detectar y predecir la corrosión. (Jorge Armando Tello González, 2022)

Figura 2.2

Representación de la corrosión por picadura



Nota. Se observa la corrosión por picaduras en la pieza metálica. Tomado de (Corredor Ortiz & Nonsoque Agudelo, 2021)

2.1.2.4. Corrosión por cavitación

La corrosión por corrosión ocurre cuando una pieza metálica entra en contacto con líquidos y está sometido a altas vibraciones, es decir, el flujo del líquido tiene una velocidad muy alta. Un ejemplo en donde ocurre este tipo de corrosión es el las turbinas de los buques, en las zonas de las hélices y en superficies cercanas, la velocidad del flujo o directamente la velocidad de las hélices causa que porciones del líquido pase a estado vapor debido a una caída de presión inferior a su tensión de vapor como en se muestra en la figura 2.3. Un aspecto semejante al daño por cavitación son las picaduras por corrosión, pero las zonas dañadas son más compactas y la superficie es más irregular. (Soutullo, 2021)

Figura 2.3

Corrosión por cavitación en hélice de turbinas



Nota. Se observa un daño por cavitación en una hélice de las turbinas de un buque. Tomado de (Soutullo, 2021)

2.1.2.5. Corrosión por microbiología

Esta corrosión se da en su mayoría en lugares alcantarillados, debajo de puentes, estructuras enterradas y equipos operados por agua donde los microorganismos pueden estar protegidos por estas estructuras. Los microorganismos causantes de esta corrosión son conocidas bacterias aeróbicas y anaeróbicas. Las bacterias aeróbicas son bacterias oxidantes de azufre. Es decir, oxidan el azufre dando lugar a ácido sulfúrico, en consecuencia, reduce el ph del entorno, en cuanto a las bacterias anaeróbicas son reductoras de sulfato, es decir, reducen el sulfato y produce sulfuro lo cual influye en la evolución de hidrogeno y acelera la oxidación del metal. Una de las formas de reducir este tipo de corrosión es aplicando un revestimiento al metal. Otra forma es la adición de inhibidores de corrosión como germicidas, que se pueden aplicar directamente a los sistemas corrosivos. (Guo, Verma, & Zhang, 2022)

2.1.2.6. Corrosión por erosión

Esta corrosión es causada por el movimiento relativo de los fluidos en la superficie de los materiales. La consecuencia de la corrosión por erosión son ranuras, agujeros redondos, surcos, etc. En la superficie del metal. Algunos de los equipos afectados por esta corrosión en la industria son los componentes bajo el agua, las palas de las turbinas, las tuberías de entrada de diferentes tanques, etc. La destrucción del metal es rápida o la velocidad de corrosión es mayor cuando la velocidad del fluido fluye a gran velocidad ocasionando que se rompan partículas de la capa protectora contra la corrosión, además, los productos de la corrosión suspendidos causan una acción extensa de grano grueso ayudando a la velocidad de corrosión (Guo, Verma, & Zhang, 2022).

2.1.2.7. Corrosión en medios acuosos

Generalmente esta corrosión es de naturaleza electroquímica, ya que, las reacciones electroquímicas se dan en la superficie del metal, dando como resultado que la pieza metaliza cambien de estado metálico a estado oxidado. Esto ocurre principalmente en electrolitos como el agua de mar o líquidos altamente ácidos. Se considera un ataque agresivo por la pérdida de material y porque se tratan de ataques localizados lo que a simple vista se notan picaduras (RIVERA, 2020)

2.1.3. Acero ASTM A36

El acero ASTM A36 es una aleación de hierro con carbono de máximo 0.29 % y otras pequeñas cantidades de minerales como el silicio y manganeso, para mejorar su resistencia a la tracción. (S.A, 2024)

Tabla 2.1

Composición química general del acero ASTM A36

C	Mn	Si	S	P
Máx. 0.29 %	Máx. 1.20 %	Máx. 0.40 %	Máx. 0.04 %	Máx. 0.05 %

Fuente: (S.A, 2024)

Este tipo de acero puede ser utilizado en elementos de gran tamaño, en hojas laminadas, donde se emplean aceros conformados. Por ello, los productos hechos de este material se usan en estructuras para construcción civil y de obras públicas, en aceros soldadas, muebles para el hogar y en materiales más sencillos. (Teran & Soledad, 2023)

2.1.4. Inhibidores de corrosión

Los inhibidores de corrosión son sustancias químicas que se agregan en pequeñas cantidades en un entorno líquido y agresivo, estos reducen la velocidad de corrosión. La pasivación, la precipitación y la adsorción en la superficie son las formas en que los inhibidores retrasan la corrosión del metal. Estos inhibidores se utilizan en el interior de las tuberías y en aceros al carbono como alternativa para el control de corrosión a los aceros inoxidables y aleaciones. Las industrias de producción de petróleo y gas, la refinación de petróleo, la fabricación de productos químicos, el tratamiento de agua y las industrias de aditivos para productos, son algunas de las principales que utilizan inhibidores de corrosión. (Umoren, Solomon, & Saji, 2022).

2.1.5. Inhibidores orgánicos

También llamados inhibidores ecológicos o inhibidores verdes, su principal objetivo es buscar minimizar los efectos negativos de los inhibidores químicos, especialmente en la toxicidad y daño ambiental. Estos inhibidores son derivados de fuentes naturales y son biodegradables. Se derivan principalmente de hojas, plantas, frutas y extractos naturales. Este tipo de materiales tienen grandes concentraciones de compuestos bioactivos, como fenoles, taninos, alcaloides, flavonoides y aceites esenciales. La maceración, infusión o destilación son algunos de los procesos de extracción de estos compuestos. (Quiñonez., 2024)

Mecanismo de inhibición a la corrosión

Tienen un mecanismo de inhibición similar al de los tradicionales, pero con la ventaja de ser menos tóxicos y más seguros para el ambiente. Estos tres son principales mecanismos.

Adsorción: los compuestos bioactivos presentes en los inhibidores verdes adsorben en la superficie del metal, formando una barrera que reduce la reacción electroquímica de la corrosión.

Formación de película: estos compuestos pueden reaccionar iones metálicos para formar una película protectora sobre la superficie del metal.

Pasivación: Este tipo de inhibidores facilitan la formación de una capa pasiva en el metal, aumentando su resistencia a la corrosión en ambientes específicos. (Quiñonez., 2024).

2.1.6. Inhibidores anódicos

También llamados inhibidores pasivantes, ya que causan un cambio anódico del potencial de corrosión, forzando a la superficie del metal entrar en una fase de pasivación.

Estos inhibidores se dividen en dos categorías:

1. Aniones oxidantes, como el nitrito, nitrato y cromato, que pueden pasivar el acero en ausencia de oxígeno.
2. Iones no oxidantes, como el molibdato, tungstato y fosfato, que necesitan la presencia del oxígeno para pasivar el acero (Umoren, Solomon, & Saji, 2022).

2.1.7. Inhibidores catódicos

Este tipo de inhibidores impiden una reacción catódica, aumentando la impedancia de la superficie y reduciendo la difusión de especies reducibles a estas áreas. Estos inhibidores tienen tres mecanismos de función:

1. Veneno catódico
2. Precipitado catódico
3. Eliminador de oxígeno

El veneno catódico ayuda a dificultar la recombinación y descarga de hidrogeno, sofoca los procesos de reducción catódica que equilibra la respuesta a la corrosión anódica, impidiendo una reacción catódica, es decir, la formación de átomos de hidrogeno y el desprendimiento de gas hidrogeno). Unos ejemplos de venenos catódicos pueden ser los iones de azufre, selenio, telurio y cianuro. Los precipitados son inhibidores catódicos como zinc, calcio, o magnesio que ayudan a la formación de oxido sobre la superficie del metal para formar una capa protectora. Estos también, pueden contener carbonato de calcio y magnesio. Los eliminadores de oxígeno inhiben la despolarización catódica inducida por el oxígeno y así ayudan a prevenir la corrosión. Los iones de sulfito y bisulfito son captadores de oxígeno a temperatura ambiente que reaccionan con el oxígeno y forman sulfato. (Umoren, Solomon, & Saji, 2022)

2.1.8. ALTAMISA (*Parthenium hysterophorus* L.)

Es una maleza no autóctona de América Central y del Sur que ha logrado extenderse a muchas partes del mundo. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza ha incluido esta planta como una de las 100

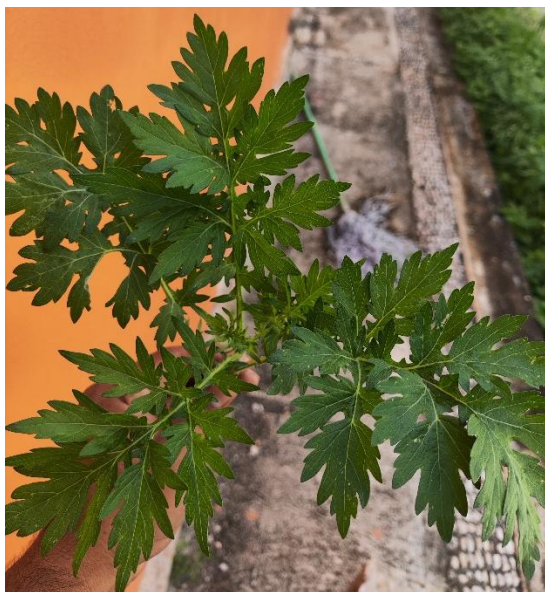
especies más invasoras del mundo. Se puede encontrar a lo largo de las carreteras, pastizales, praderas, bosques, sitios naturales, jardines y entre cultivos (Parthenium hysterophorus, 2022)

Parthenium hysterophorus L. es una planta herbácea ramificada, de porte recto, sus hojas en su etapa inicial tienen una forma de roseta basal. Por lo general, crece entre 0.5 y 1.5 m de altura, en ciertas partes del mundo puede llegar a medir 2 m de altura. Los tallos ya maduros son verdosos, cubiertos de pequeños pelos rígidos y se ramifican en la madurez (Factsheet, s.f.)

Algunos de los nombres más comunes que se le da a la maleza en México son: hierba de la hormiga, Altamisa, altanisa, canario, claudiosa blanca, escoba amargosa, escobilla, hierba amargosa. (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, s.f.). Español (Yucatán): altamisa; claudiosa blanca, hierba amarga, hierba del golpe, hormiguillo, yerba de asma; Español-Maya (Campeche): altanisa xiiw; Español-Maya (Quintana Roo): altanisa xiiw; Español-Maya (Yucatán): altanisa xiiw. (*Parthenium hysterophorus* L., s.f)

Figura 2.4

Planta altamisa (***Parthenium hysterophorus* L.**)



Nota. Se observa la planta altamisa de aproximadamente 20 cm en su etapa inicial de madurez con las hojas ramificadas, tomando una forma de roseta. Elaboración propia.

Figura 2.5

Hojas de la planta altamisa (***Parthenium hysterophorus* L.**)



Nota. Se observa los tallos verdosos y cubiertos de pequeños “pelos”, y las hojas ramificadas. Elaboración propia.

2.1.9. Maceración

La maceración es un proceso donde se coloca un sólido con componentes solubles que se puedan extraer, en este caso hojas de plantas verdes o secas y con ayuda de agua, metanol, etanol y otros químicos solubles se pueden extraer estos compuestos bioactivos de la planta (Attack, 2021). esta mezcla se deja en reposo durante un tiempo determinado (normalmente de 3 a 10 días), luego se decanta y se separa la materia sólida del extracto.

2.1.10. Tipos de maceración

2.1.10.1. Maceración en frío: en este proceso se utiliza principalmente agua o etanol. En este método necesita de tiempo, porque los productos van desprendiendo sus compuestos, fragancias y aceites poco a poco. (Attack, 2021).

2.1.10.2. Maceración en caliente: este proceso se inicia con frío y lentamente se calienta, para el sólido macerado va desprendiendo su líquido lentamente, una de las desventajas de este proceso es que los compuestos volátiles se pueden evaporar (Attack, 2021).

2.1.11. Métodos de caracterización de extractos

2.1.11.1. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son metabolitos de plantas, estos compuestos al defenderse de ataques fúngicos o bacterianos se sintetizan. En la actualidad, el interés por estos compuestos se ha incrementado por su poder antiinflamatorio, antioxidante, antimicrobiano y neuro protector (Comunicación, 2021).

Los fenoles y alcoholes son compuestos de formulación de química orgánica que contienen grupos hidroxilo, es decir, tienen un grupo OH. Cuando se encuentra un grupo hidroxilo unido a un anillo aromático, se conoce como fenol (estudiosfarmacéuticos.com, 2021)

Los principales grupos de polifenoles son: ácidos fenólicos (derivados del ácido hidroxibenzoico), estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos y flavonoides (ECOagricultor, 2021)

2.1.11.2. Método de determinación (método de folin-ciocalteu)

Es un método espectrofotométrico, que se utiliza para determinar los compuestos fenólicos totales. Los polifenoles presentes en los compuestos reaccionan con el reactivo Folin (complejo de ácido fosfomolibdico y fosfotúngstico) de color amarillo se reduce por los polifenoles y a pH básico se torna de color azul que se puede cuantificar espectrofotométricamente a una longitud de onda de 760 nm (Mex, Guillen, & Garma, 2023)

2.1.11.3. Capacidad antioxidante

Es la capacidad que tiene un compuesto para revertir o disminuir el efecto oxidativo de un compuesto afectado, gracias a la estructura química y a los polifenoles presentes en el compuesto antioxidante (Vicente, 2019 citado por Aguilar & Augusto, 2022).

2.1.11.4. Método de DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo)

Para evaluar la capacidad antioxidante de diferentes compuestos, como extractos vegetales, alimentos, productos farmacéuticos y suplementos dietéticos, se utiliza un método que se basa en la capacidad de los antioxidantes para donar electrones o hidrógenos a los radicales libres como el radical 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH), cuando esto sucede, se reduce el color púrpura intenso característico del radical. Este método de determinación de la actividad antioxidante proporciona una evaluación rápida y cuantitativa de los compuestos para neutralizar los radicales libres (HUB, 2024)

2.1.11.5. Análisis espectrofotómetro UV/VIS

El equipo espectrofotómetro es utilizado para medir la absorbancia de una muestra en función a una longitud de onda de una radiación electromagnética. Esta técnica analítica mide la cantidad de longitudes de onda discretas de luz UV o visibles que son absorbidas o transmitidas a través de una muestra de referencia. Proporciona información sobre lo que hay en la muestra y en que concentración (Kalstein, 2022)

2.1.11.6. La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

Esta técnica instrumental es utilizada en análisis químicos con la cual se pueden separar mezclas, purificar y cuantificar sus componentes, entre otros estudios. Se le da el nombre de HPLC por sus siglas en inglés High Performance Liquid Chromatography (Bolívar, 2020).

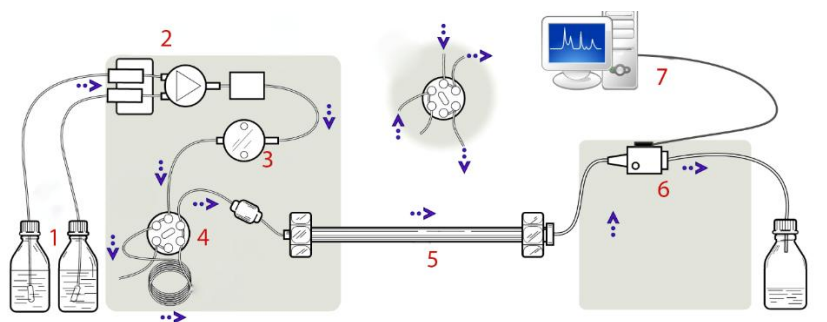
En 1900 el botánico M. S. Tswett inventó esta técnica al estudiar los pigmentos foliares (clorofila) donde separó los pigmentos en función a su interacción con

una fase estacionaria. Seis después publicó dos artículos en los cuales describen en detalle la técnica (Raja & Barron, 2022)

En la figura 2.6, se presentan los principales componentes de una HPLC, una bomba conduce un líquido (fase móvil) a un caudal específico (mililitros por minuto). El inyector sirve para introducir una muestra líquida al flujo de la fase móvil. La columna es la pieza más importante del equipo y la fase estacionaria de la columna separa los componentes de la muestra usando varios parámetros físicos y químicos. Se usan el detector para las moléculas individuales de la columna y la computadora sirve para tomar la señal del detector y así determina el tiempo de retención, los componentes de la muestra y un análisis cuantitativo (Raja & Barron, 2022)

Figura 2.6

Componentes del equipo HPLC



Nota. *esquemática de un sistema de HPLC: (1) disolvente, (2) válvula de gradiente, (3) bomba de alta presión, (4) bucle de inyección de muestra, (5) columna analítica, (6) detector y (7) computadora. Tomado de (Raja & Barron, 2022)*

2.1.12. Métodos evaluación de la corrosión

2.1.12.1. Método gravimétrico (pérdida de masa)

Este método es el más fiable para medir la velocidad de corrosión de los metales. El método gravimétrico mide la velocidad de la corrosión respecto al cambio de masa de las muestras antes y después de la corrosión, de igual manera, se puede utilizar para detectar la resistencia a la corrosión de los materiales, seleccionar agentes corrosivos y para verificar el efecto anticorrosivo al cambiar las condiciones del proceso. En la industria y en laboratorio este método se aplica en pequeñas piezas de prueba de materiales metálicos sometiéndolos a ambientes corrosivos como, equipos químicos, atmosfera, suelo, agua de mar o medio experimental, y después de cierto periodo de tiempo se retiran y se analizan (Emt, 2023)

2.1.12.2. Inspección visual

El objetivo de esta técnica es examinar a simple vista o con instrumentos simples como, reglas, lupas, espejos entre otros, las superficies de interés a evaluar su

condición, permitiendo identificar grietas por corrosión, corrosión localizada y generalizada, erosión, desgaste, socavados y porosidad (Insercor, 2020)

CAPITULO III

3.1. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se describe paso a paso la metodología que se siguió para este estudio, así como los materiales y equipos.

3.1.2. Elaboración del extracto

Las hojas de la planta Altamisa (*Parthenium hysterophorus L.*) se recolectaron en zonas de cultivo de maíz en el municipio de Dzitbalche, Campeche, donde se alcanzó a recolectar 500 gr de planta entera para su posterior análisis en los laboratorios del Instituto Tecnológico Superior de Calkiní. Las hojas se separaron cuidadosamente evitando las hojas manchadas y muertas, luego se llevaron a lavar una por una con abundante agua con el mismo proceso de selección de hojas menos dañadas, obteniendo 115 gr de hojas húmedas. Se metieron a secar al horno de laboratorio por una hora a 50 °C con el interés de solo perder la humedad y mantener a las hojas verdes.

Después de este proceso, al retirar las hojas se pesaron en una balanza analítica Adventurer, obteniendo 40 gr de hojas sin humedad, las hojas se cortaron con un cuchillo de cocina en dimensiones aproximadas de 5 mm. La maceración se realizó a una proporción de 1:10 por lo que, en un frasco de vidrio de 1 litro, se agregaron 40 gr de hojas cortadas y 400 ml de etanol al 96 % grado reactivo analítico y se dejó reposar por 5 días en un espacio seco con luz indirecta a temperatura ambiente de 25-30 °C. Después del tiempo transcurrido el extracto se filtró con un colador mediano de cocina para separar toda la materia sólida. De esta manera se obtuvo 300 ml de extracto etanólico.

3.1.3. Determinación de polifenoles totales por el método de folin-ciocalteu.

Este método se utiliza para determinar la cantidad de polifenoles presentes en el extracto. La muestra estudiada se mezcla con el reactivo Folin-Ciocalteu anticipadamente diluida con agua destilada. Seguidamente se deja reposar la solución obtenida durante unos pocos minutos a temperatura ambiente y en la oscuridad, para luego agregar una solución de carbonato de sodio. Finalmente dejamos reposar la solución por determinados minutos antes de proceder con la lectura de la absorbancia a 760 nm. Se utilizó ácido clorogénico para realizar la curva de calibración y las lecturas se hicieron por duplicado.

3.1.3.1. Solución de carbonato de sodio

Se realizó 10 ml de solución de carbonato de sodio al 20% con hidróxido de sodio 0.1N, ambos reactivos son de grado analítico. Primeramente, se disolvió 40 mg de hidróxido de sodio en 10 ml de agua destilada y se agregó 2 g de carbonato

de sodio en un vaso de precipitado de 100 ml, se mezcló con una vara mezcladora de laboratorio.

3.1.3.2. Solución stock de ácido clorogénico y preparación de la curva de calibración

Para la solución stock de ácido clorogénico, se preparó una solución de 500 mg/L. Se pesó 5 mg disolviéndolo en 10 ml agua destilada, alcanzando la concentración mencionada.

Para la curva de calibración fue preparado usando la solución estándar de ácido clorogénico a concentraciones de 0, 50, 100, 150, 200 y 500 ppm. Para esto se preparó 6 patrones en microtubos de 2 ml. Los cuales se agregaron la solución de ácido clorogénico, agua destilada, reactivo de Folin-Ciocalteu, dejando reposar 5 minutos en oscuridad, luego se agregó la solución carbonato de sodio al 20%, se enrazó a 1 ml con agua destilada y se dejó reposar por 60 minutos en oscuridad. En la tabla 3.1 se muestran las cantidades exactas para estas concentraciones de estándares.

Tabla 3.1

Preparación de los estándares para la curva de calibración

Patrones	Concentración (ppm)	Ácido clorogénico (μL)	Agua destilada (μL)	Reactivo Folin Ciocalteu (μL)	Carbonato de sodio 20 % (uL)
1	0	0	800	100	100
2	50	100	700	100	100
3	100	200	600	100	100
4	150	300	500	100	100
5	200	400	400	100	100
6	500	500	300	100	100

Nota: elaboración propia

La preparación del extracto etanolico de las hojas de la planta Altamisa (*Parthenium hysterophorus L.*), se hicieron por triplicado, agregando 10 μL del extracto 1200 μL de agua destilada, 100 μL del reactivo Folin-Ciocalteu y se dejó reposar 5 minutos en oscuridad, después se agregó 100 μL de la solución de carbonato de sodio al 20 % y se agregó 140 μL de agua destilada para alcanzar un volumen de 1550 μL, se dejó reposar 60 minutos en oscuridad, finalmente se procedió a leer en el espectrofotómetro UV/VIS Lambda 25 a una longitud de onda de 760 nm. Las lecturas se hicieron por duplicado.

3.1.4. Determinación de la capacidad antioxidante por el método de DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo)

Se preparó una solución de DPPH, para esto se pesó 10 mg del reactivo grado analítico y se disolvió en 30 ml etanol grado analítico al 96 % en un vaso de precipitado de 100 ml y se diluyó 2 ml en 30 ml de etanol al 96%. Esta dilución se tomó 100 μ L y se le agregó 900 μ L de etanol hasta establecer una absorbancia entre 0.7 y 0.8 como muestra 0. Se protegió de la luz del ambiente. Para la preparación del extracto etanólico de las hojas de la planta Altamisa (*Parthenium hysterophorus* L.). Se tomó 100 μ L del extracto y se agregó 900 μ L de la dilución de DPPH en un micro tubo de 2 ml y se dejó reposar 30 minutos en la oscuridad y finalmente se procedió a leer en el espectrofotómetro UV/VIS Lambda 25 a una longitud de onda de 515 nm para que posteriormente se calcula el porcentaje de capacidad antioxidante con la fórmula 3.1. Se hizo por triplicado.

$$\%Inhibición = \left[\frac{ABS_{inicial} - ABS_{final}}{ABS_{inicial}} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

Dónde:

ABS inicial: Absorbancia de la muestra 0 o blanco

ABS final: Absorbancia en 30 minutos

3.1.5. Preparación de las soluciones

Primero se hizo 500 ml de solución de ácido clorhídrico (HCl) a 1 M. Para esto se midió 42 ml de HCl en una probeta graduada de laboratorio y se agregó en un vaso de precipitado con 250 ml de agua destilada, después de agregar el HCl se agregó nuevamente agua destilada para alcanzar el volumen de solución mencionado. El mismo procedimiento se siguió para una solución de cloruro de sodio (NaCl) a 1 M, agregando 29.22 g de soluto.

3.1.5.1. Solución de HCl

El procedimiento para determinar los mililitros necesarios de HCl fue el siguiente:

El HCl tiene una pureza de 37 % por lo que se procede a determinar los moles de HCl en un litro, para esto se utiliza los siguientes datos:

Pureza del HCl: 37%

Densidad del HCl: 1.18 g/ml

Peso molecular del HCl: 36.45 g/mol

$$M = \frac{37\%}{100\%} * \frac{1.18 \text{ g}}{1 \text{ ml}} * \frac{1 \text{ mol}}{36.45 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} = 12 \frac{\text{mol HCl}}{\text{L}}$$

Después se determina la cantidad de moles que debe tener 500 ml de solución a 1 M con la fórmula 3.1 y 3.2.

$$M = \frac{m}{v} \quad (3.1)$$

$$m = M * v \quad (3.2)$$

Donde:

M: molaridad de la solución

m: moles en la solución

v: volumen de solución en litros

Entonces:

$$\frac{500 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} = 0.5 \text{ L}$$

$$m = 1 \text{ M} * 0.5 \text{ L}$$

m = 0.5 mol en 500 ml de solución

Por último, se calcula el volumen de HCl para 500 ml de solución.

$$\text{HCl} = \frac{0.5 \text{ mol}}{12 \text{ mol/L}} * 1000 = 42 \text{ ml}$$

3.1.5.2. Solución de NaCl

La preparación de 500 ml de solución de NaCl 1 M se determinó de la siguiente manera:

Se debe considerar que el peso molecular del NaCl es de 58.44 g/mol. Entonces se utiliza la ecuación 3.2 para el cálculo de moles en 500 ml

$$\frac{500 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} = 0.5 \text{ L}$$

$$m = 1 \text{ M} * 0.5 \text{ L}$$

m = 0.5 mol en 500 ml de solución

Después se determinó la cantidad de soluto en que deberá tener 500 ml de solución, con la ecuación 3.3.

$$M = m * pm \quad (3.3)$$

Donde:

m = masa (g)

M = moles

pm = peso molecular del soluto

Entonces:

$$M = 0.5 \text{ moles} * 58.44 \text{ g/mol}$$

$$M = 29.22 \text{ g}$$

3.1.6. Preparación de las probetas

Se utilizó un acero al carbono ASTM A36, en la tabla 3.2 se muestra la composición química de este acero.

Tabla 3.2

Composición química del acero al carbono ASTM A36

Elementos	C	P	Si
%	0.26	0.4	0.40

Nota: elaboración propia

Se cortaron 18 probetas con dimensiones 4 cm de largo, 1 cm de ancho y 4 ml de grosor.

Todas las probetas se limpiaron con la técnica mecánica mencionada en la norma ASTM G1-03, la cual propone diferentes maneras de preparación de muestras sometidas a ambientes corrosivos, para este trabajo se optó por una limpieza mecánica la cual se describe a continuación:

1. Con ayuda de un sistema creado para lijar, con un taladro industrial de 3/8" y con lijas no. 80 se desbastaron las superficies de las probetas de acero quitándole toda la capa protectora de óxido gruesa.
2. Manualmente se desbastaron las probetas con una lija no. 100 alcanzando una superficie con menos irregularidades.
3. Con lijas 400 y 600 se obtuvo una superficie lisa sin defectos notorios, con el fin de evitar que la oxidación empiece en zonas rasgadas de mayor tamaño provocando resultados no favorables.
4. Con dicho taladro y con una broca de 1/16" se perforaron los extremos de todas las probetas. El orificio debe ser lo suficientemente estrecho para pasar únicamente un cordel #100 de construcción.
5. Todas las probetas lijadas y perforadas se limpiaron con una tela húmeda y con alcohol etílico comercial al 70 % y se secaron con papel higiénico.

6. Este proceso se les realizó a todas las probetas cortadas.

3.1.7. Preparación de la prueba gravimétrica

Todas las probetas perforadas, limpiadas y secas se pesaron en una balanza analítica de laboratorio de precisión de 0,0001 y se anotaron todos los pesos de cada probeta correspondientes a cada solución.

La pérdida de masa en gramos se calcula con la ecuación 3.3.

$$m(g) = P_i - P_f \quad (3.3)$$

Todos los resultados para encontrar la eficiencia del extracto para la inhibición se interpretaron mediante la ecuación 3.4.

$$EI(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (3.4)$$

Donde:

m = masa perdida (g)

EI = eficiencia del inhibidor (%)

m_i = masa perdida sin extracto (g)

m_f = masa perdida con extracto (g)

De igual manera se calcula la velocidad de corrosión con la fórmula 3.5 establecida por la norma ASTM G1-03

$$R_{corr} = \frac{K * W}{A * T * D} \quad (3.5)$$

Donde:

K= Una constante establecido en norma

W= Pérdida de masa (g)

A= Área (cm²)

T= Tiempo de exposición (hrs)

D= Densidad (g/cm³)

3.1.7.1. Pruebas patrón sin inhibidor

La solución previamente preparada se dividió en 3 recipientes de vidrio de 100 ml, al mismo tiempo las probetas de acero se sujetaron con el cordel en la tapa del recipiente, dejando que la probeta se mantenga suspendida, de modo que

toda la superficie del acero entre en contacto con el electrolito. Este proceso se hizo con las dos soluciones tanto de HCl como de NaCl.

3.1.7.2. Pruebas con inhibidor

En las soluciones de HCl y NaCl separadas en 3 recipientes de vidrio cada solución, se adicionaron 500 y 1000 de extracto a cada recipiente, es decir, en 3 recipientes con solución de HCl se agregaron 500 ppm y en 3 recipientes con la misma solución se agregó 1000 ppm de extracto etanolico y finalmente se introdujo la probeta sujeta en la tapa con el cordel. Mismo proceso se siguió para la preparación de la prueba con la solución de NaCl.

3.1.8. Análisis de probetas sometidas

Las probetas sometidas a los ambientes corrosivos simulados, se retiraron 1 de cada solución sin extracto y con extracto cada 72 horas, toda la prueba tuvo un tiempo total de 216 horas.

3.1.8.1. Limpieza de las probetas

La norma ASTM G1-03 propone tres maneras para remover los productos de corrosión, por método químico, mecánico o electroquímico, método que se elige según el metal o el tipo de aleación a tratar. Para este caso se optó por el método mecánico utilizando únicamente una lija no. 400 ya que los productos del acero ASTM se remueven fácilmente sin ocasionarle ninguna pérdida del metal base.

Después, se limpiaron nuevamente con alcohol etílico para quitar el polvo de los productos de corrosión y se pesaron nuevamente para su posterior análisis.

3.1.9. Inspección visual

Se les aplicó un análisis visual a todas las probetas antes y después de sumergirlos y se les tomó fotografías a cada una para llevar un registro del estado en que se encuentran las probetas después de retirarlas en cada solución, para su posterior análisis.

CAPITULO IV

4.1. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1.2. Caracterización del extracto

4.1.2.1. Determinación de polifenoles totales por el método de folin-ciocalteu.

Las absorbancias y los promedios de las soluciones de calibración a unas concentraciones de 50, 100, 150, 200 y 500 ppm de ácido clorogénico después de las lecturas por duplicado en el espectrofotómetro se presentan en la tabla 4.1. Los promedios de calibración fueron graficados dando como resultado la figura 4.1 que presenta una tendencia lineal.

Tabla 4.1

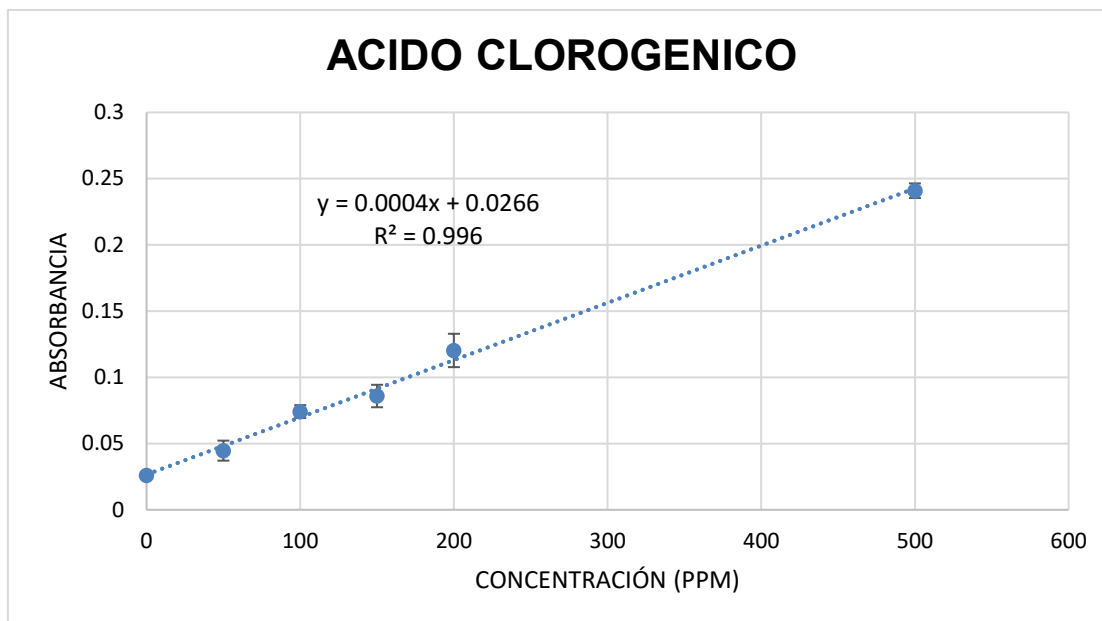
Absorbancias obtenidas en las lecturas para la curva de calibración.

Concentración ácido clorogénico (ppm)	Absorbancia 1	Absorbancia 2	Promedio	Desvest
0	0.0266	0.0252	0.0259	0.0010
50	0.0393	0.0500	0.0447	0.0076
100	0.0707	0.0776	0.07415	0.0049
150	0.0919	0.0799	0.0859	0.0085
200	0.1114	0.1292	0.1203	0.0126
500	0.2448	0.237	0.2409	0.0055

Nota. Absorbancias obtenidas para la curva de calibración la determinación de fenoles totales por el método de Folin Ciocalteu en el extracto de Altamisa (Parthenium hysterophorus L.). Elaboración propia.

Figura 4.1

Curva de calibración para la determinación de fenoles totales.



Nota: elaboración propia

En la figura 4.1 se presenta la R^2 la cual tiene como valor 0.996 considerado como una ecuación lineal. También presenta la ecuación de la recta $y=a + bx$, donde y corresponde a la absorbancia, x a la concentración de ácido clorogénico en mg/L. De esta manera para la cuantificación de los polifenoles totales se despeja x para encontrar la concentración del ácido clorogénico, obteniendo la ecuación 4.1.

$$\text{Concentración} = \frac{\text{absorbancia} - 0.0266}{0.0004} \quad (4.1)$$

En la tabla 4.2 se muestran las absorbancias de las muestras de extracto de Altamisa (*Parthenium hysterophorus* L.) dando como resultado 856.375 mg/L de concentración de ácido clorogénico.

Tabla 4.2

Resultado de absorbancias y concentración de ácido clorogénico en mg/L en el extracto de la planta Altamisa (Parthenium hysterophorus L.).

Absorbancia 1	Absorbancia 2	Promedio	Concentración acido clorogénico (mg/L)
0.3897	0.3486	0.3692	856.38

Nota: elaboración propia

El resultado del contenido de polifenoles totales fue de 856.38 mg/L, para la cuantificación de concentraciones más pequeñas en volúmenes este resultado de expresa en mg/100ml, es decir, 85.64 mg de ácido clorogénico por 100 ml de

extracto, lo que significa que el extracto etanólico contiene gran cantidad de polifenoles.

4.1.2.2. Determinación de la capacidad antioxidante por el método de DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo)

En la tabla 4.3, se observa el % de inhibición de la actividad antioxidante del extracto etanólico de la planta Altamisa. Este método permite determinar la capacidad de una sustancia que en este caso fue el extracto etanólico de eliminar radicales libres en la observación de la decoloración que provoca esta sustancia en una solución de DPPH. El extracto presenta una inhibición de estos radicales libres de un 60.7%, lo que indica que el extracto a concentraciones bajas presenta un gran porcentaje de actividad antioxidante.

Tabla 4.3 Porcentaje de actividad antioxidante del extracto de la planta Altamisa

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE (% DE INHIBICIÓN)					
MUESTRA 0	EXTRACTO MINUTO 30				INHIBICIÓN (%)
ABS	ABS 1	ABS 2	ABS 3	PROMEDIO	
0.7633	0.2908	0.3191	0.2903	0.3001	60.69

4.1.3. Pruebas gravimétricas.

4.1.3.1. Pérdida de masa en probetas de muestra

La prueba gravimétrica determina cuanta masa de un metal se pierde durante un periodo de tiempo en la es sometido a un ambiente corrosivo. Una vez recopilado los datos de todas las probetas en los tiempos correspondientes, el análisis se realizó mediante graficas indicativas de la masa perdida.

En la tabla 4.5 se presentan las masas perdidas en gramos y se incluyen la velocidad de corrosión en mm/año, para las probetas de muestra, es decir sumergidas en HCl en 1M sin extracto. Con los mismos datos, se presenta la tabla 4.6 que corresponde a las probetas en solución NaCl 1M sin extracto.

La figura 4.1, muestra esta tendencia de masa perdida en ambas soluciones. En la solución de HCl se observa un incremento de la masa perdida, iniciando un incremento del 16% a las 72 horas de inmersión, un aumento del 70% a las 144 horas que corresponde a 0.5451 gramos de masa perdida, con respecto a este tiempo y a la esta masa perdida, se incrementó 34% la masa perdida en 216 horas. Con pérdidas de masas menores, en la solución de NaCl se encuentra un incremento de 14% de masa perdida en 72 horas, en 144 horas el porcentaje de la masa perdida del acero fue del 63%, en la hora 216 esta pérdida aumento 0.0684 gr que corresponde un 40% de aumento.

Tabla 4.5 Pérdida de masa en solución HCl 1M

PERDIDA DE MASA (gr) EN SOLUCION HCl 1M		
TIEMPO (hrs)	PERDIDA DE MASA (gr)	Vcorr (mm/año)
0	0	0
72	0.1638	1.7965
144	0.5451	2.5265
216	0.8295	2.5631

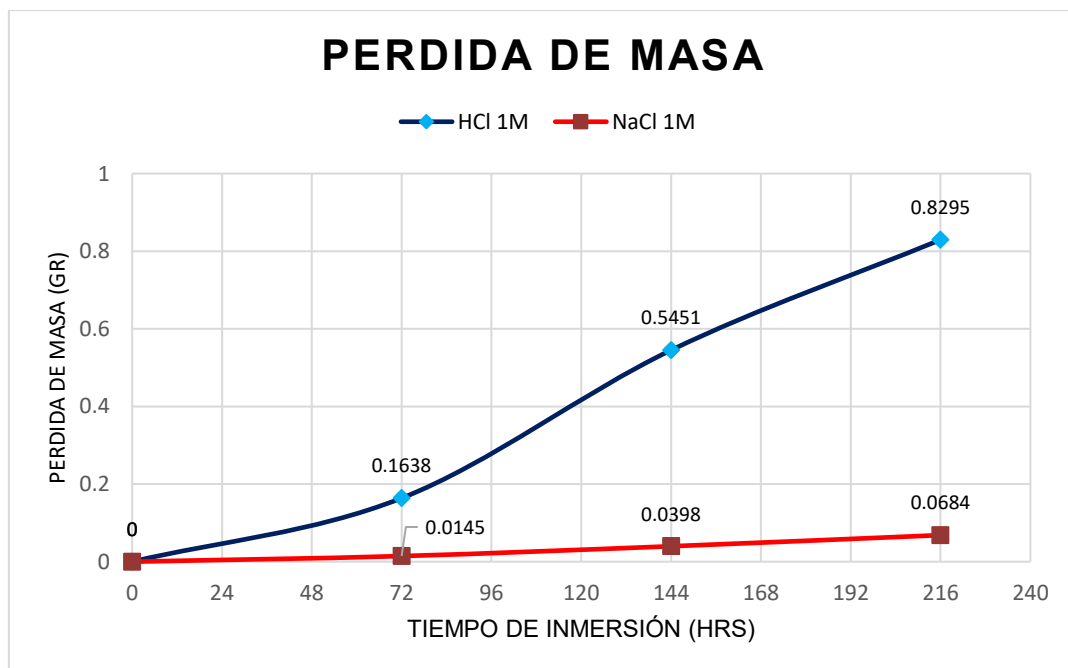
Nota: elaboración propia

Tabla 4.6 Pérdida de masa en solución NaCl 1M

PERDIDA DE MASA (gr) EN SOLUCION NaCl 1M		
TIEMPO (hrs)	PERDIDA DE MASA (gr)	Vcorr (mm/año)
0	0	0
72	0.0145	0.1344
144	0.0398	0.1845
216	0.0684	0.2114

Nota: elaboración propia

Figura 4.1 Grafico de la pérdida de masa en HCl y NaCl a 1M



Nota: elaboración propia

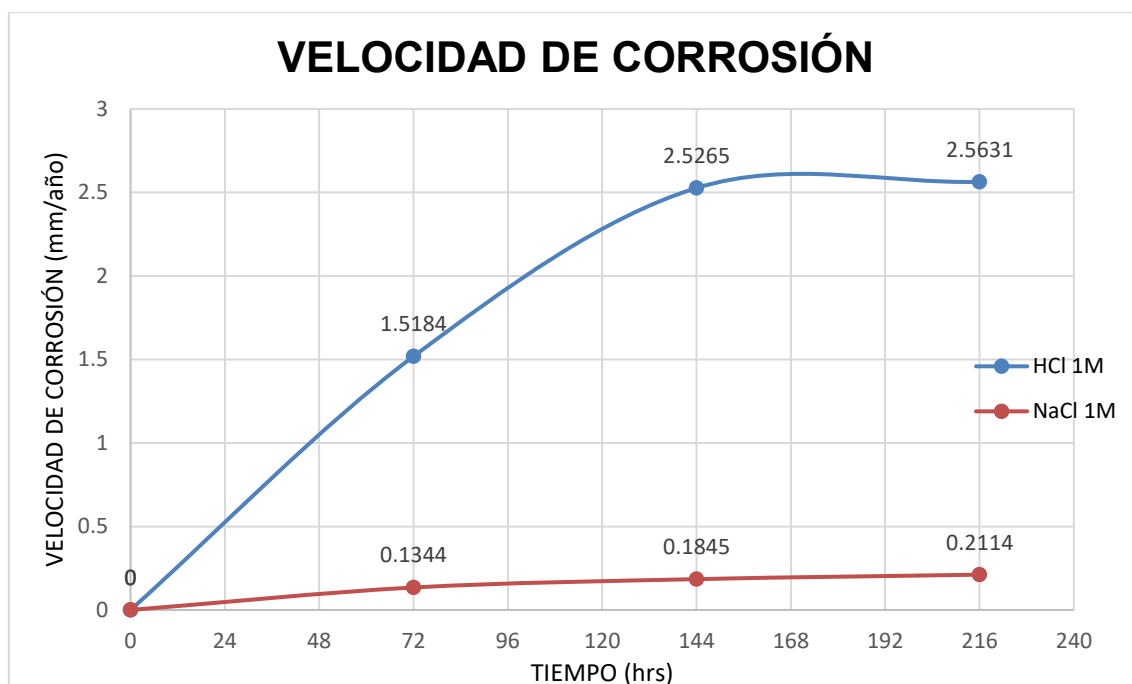
El acero al carbono A36 al ser sometido a una solución de ácido clorhídrico presenta mayor tasa de pérdida de masa, porque el ácido es altamente corrosivo que, al entrar en contacto con el hierro del acero, ocurre una reacción llamada corrosión ácida, este proceso genera cloruros de hierro y libera hidrogeno, que se puede observar visualmente, por lo que esta reacción debilita la estructura del

acero ocasionando graves daños como una corrosión por picadura y perdiendo masa significativamente.

Por otro lado, los iones de cloruro presentes en la solución de cloruro de sodio, reaccionan con la superficie del acero haciendo que este pierda electrones y genera óxido de hierro. En el experimento se observa que esta reacción es superficialmente por lo que no existe gran pérdida de masa. Las líneas de tendencia indican un avance de corrosión lineal, es decir, conforme avanza el tiempo la corrosión aumenta.

La figura 4.2, muestra que la velocidad de corrosión en la solución de HCl es ascendente, es decir, conforme pasa el tiempo la velocidad aumenta, hasta el tiempo de 144 horas, se observa que a las 216 horas la velocidad disminuye ligeramente, pero sin dejar su aumento, puede deberse por la cantidad de productos corrosivos presentes en la superficie del metal, impidiendo que la corrosión aumente considerablemente. El mismo proceso ocurre con la solución de NaCl, con la diferencia que la velocidad es menor.

Figura 4.2 Grafico de la velocidad de corrosión en HCl y NaCl a 1M



Nota: elaboración propia

4.1.3.2. Pérdida de masa en NaCl con extracto etanólico

La tabla 4.4 y 4.5, indican las pérdidas de masa y las velocidades de corrosión en la solución de NaCl 1M con concentraciones de 500 ppm y 1000 ppm de extracto etanólico, respectivamente.

Tabla 4.4 Pérdida de masa en NaCl 1M con 500 ppm

PERDIDA DE MASA EN SOLUCION NaCl 1M 500 PPM		
TIEMPO (hrs)	PERDIDA DE MASA (gr)	Vcorr (mm/año)
0	0	0
72	0.0054	0.0501
144	0.0115	0.0533
216	0.0172	0.0531

Nota: elaboración propia

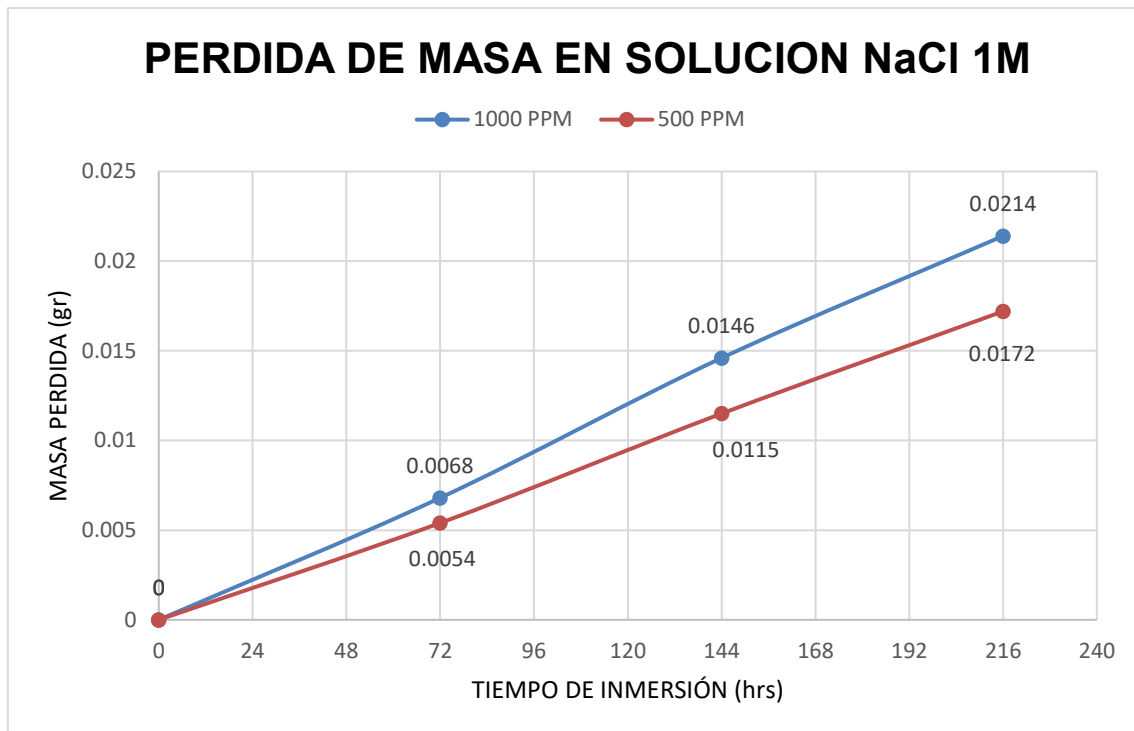
Tabla 4.5 Pérdida de masa en NaCl 1M con 1000 ppm

PERDIDA DE MASA EN SOLUCION NaCl 1M 1000 PPM		
TIEMPO (hrs)	PERDIDA DE MASA (gr)	Vcorr (mm/año)
0	0	0
72	0.0068	0.0630
144	0.0146	0.0677
216	0.0214	0.661

Nota: elaboración propia

En el gráfico de la figura 4.3, demuestra que extracto de la planta altamisa actúa como un inhibidor, ya que la pérdida de masa de acero ASTM A36 se reduce considerablemente. En comparación con la gráfica 4.2 donde se demostró que sin extracto la corrosión es mayor.

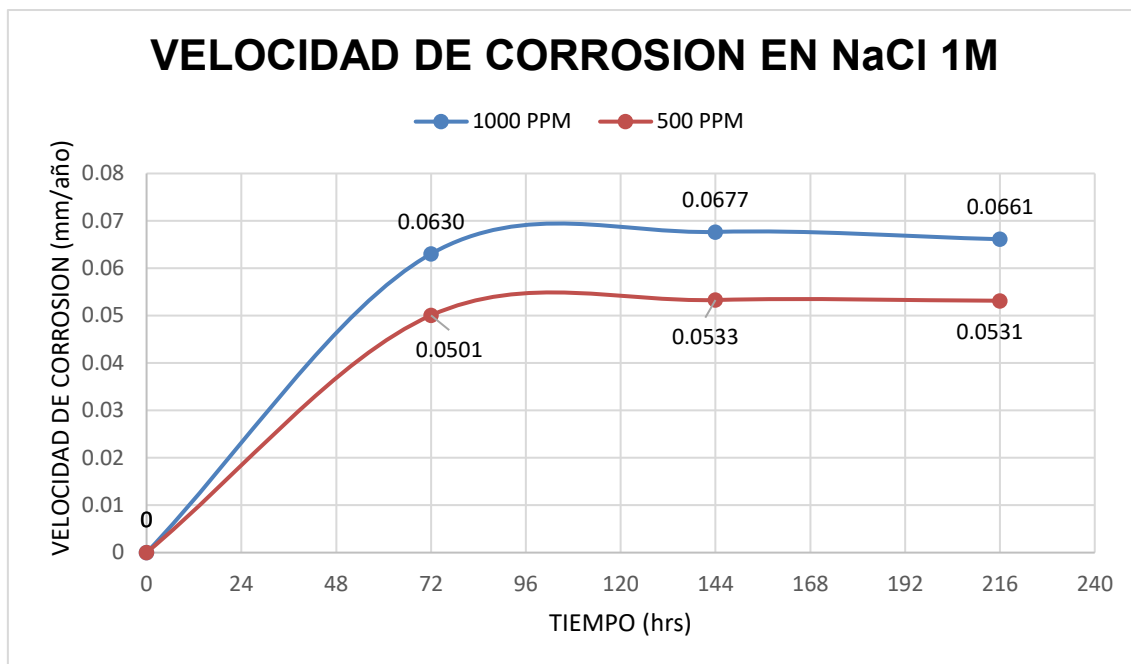
Figura 4.3 Grafico de la pérdida de masa en NaCl a 1M con 500 y 1000 ppm de extracto



Nota: elaboración propia

Se puede notar un incremento de velocidad de corrosión de 0.0630 mm/año con 1000 ppm de extracto y 0.0501 mm/año con 500 ppm, a las 72 horas, a las 144 horas esta velocidad aumenta ligeramente un 7% obteniendo 0.0677 mm/año con 1000 ppm, de este modo con 500 ppm de extracto la velocidad aumenta un 6%, sin embargo, se puede notar que la corrosión desciende ligeramente un 2% con ambas concentraciones de extracto, demostrado en la figura 4.4. Este comportamiento puede deberse a que el extracto actúa como una capa pasiva en la superficie del metal, reduciendo la velocidad en la que el metal se corroe.

Figura 4.4 Grafico de la velocidad de corrosión en NaCl a 1M con 500 y 1000 ppm de extracto.



Nota: elaboración propia

4.1.3.3. Eficiencia del extracto como inhibidor de la corrosión en NaCl 1M

En la tabla 4.6 así como en la figura 4.5, se presenta la eficiencia del extracto de la planta Altamisa como inhibidor de corrosión en concentraciones de 500 y 1000 ppm en una solución de NaCl a 1M.

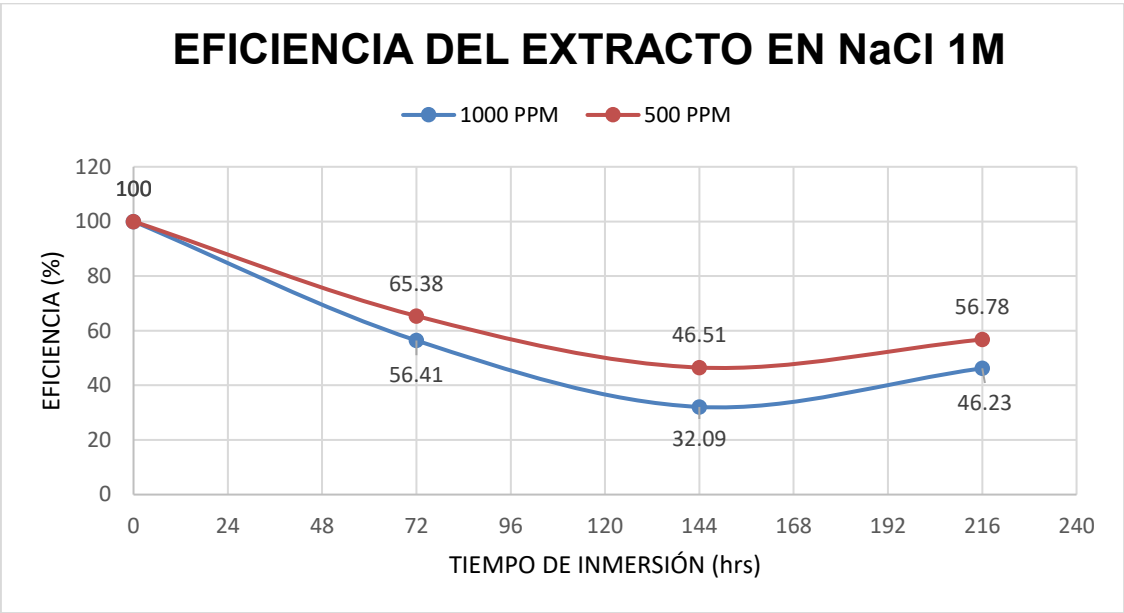
El extracto tuvo una eficiencia de 56.41% a 1000 ppm y 65.38 % a 500 ppm a las 72 horas de inmersión, con una diferencia del 9% el extracto a concentración de 500 ppm obtuvo mayor eficiencia. En cuanto a un tiempo de inmersión de 144 horas se observa que la eficiencia se redujo un 20% en ambas concentraciones, demostrando que, a 500 ppm obtuvo mayor eficiencia en 14% respecto a la concentración de 1000 ppm. A las 216 horas la eficiencia del extracto aumentó entre un 10 y 14% para ambas concentraciones. Este aumento puede deberse al fenómeno llamado fisiorción, en el que los compuestos orgánicos del extracto se adhieren a la superficie del acero, inhibiendo la corrosión, porque la eficiencia de inhibición aumenta en este tiempo de inmersión.

Tabla 4.6 eficiencia del extracto en NaCl a 1M con 500 y 1000 ppm de extracto.

EFICIENCIA (%) en NaCl 1M		
TIEMPO (hrs)	500 ppm	1000 ppm
0	100	100
72	65.38	56.41
144	46.51	32.09
216	56.78	46.23

Nota: elaboración propia

Figura 4.5 Grafico de eficiencia del extracto en NaCl a 1M con 500 y 1000 ppm de extracto



Nota: elaboración propia

Los datos recolectados y presentados en las tablas y graficas demuestran que, en un ambiente salino, en que caso simulado con una solución de cloruro de sodio a 1M, el extracto actúa como un inhibidor de la corrosión, observándose que a una concentración de 500 ppm este tiene mayor eficiencia.

4.1.3.4. Pérdida de masa en HCl con extracto etanólico

En las tablas 4.7, 4.8 se demuestran la perdida de masas en solución HCl a 1M en concentraciones de extracto de 500 y 1000 ppm respectivamente, de igual manera la figura 4.6 presenta la gráfica de los datos que corresponden a la pérdida de masa en gramos.

Estos datos indican que en esta solución la corrosión se incrementa, sin embargo, demuestra que el extracto disminuye este proceso. La pérdida de masa en una concentración de 1000 ppm de extracto, entre las horas 72 y 144 se incrementa considerablemente teniendo un 60% de aumento, pero conforme avanza el tiempo la masa perdida disminuye significativamente un 33%. Para una concentración de 500 ppm de extracto, la tasa de masa perdida fue menor en las horas correspondientes, en un intervalo de tiempo de 144 y 216 horas está perdida aumenta un 33%.

Tabla 4.7 Pérdida de masa en HCl 1M con 500 ppm

PERDIDA DE MASA EN SOLUCION HCl 1M 500 PPM		
TIEMPO (hrs)	PERDIDA DE MASA (gr)	mm/año
0	0	0

72	0.0811	0.7518
144	0.3111	1.4419
216	0.4681	1.4464

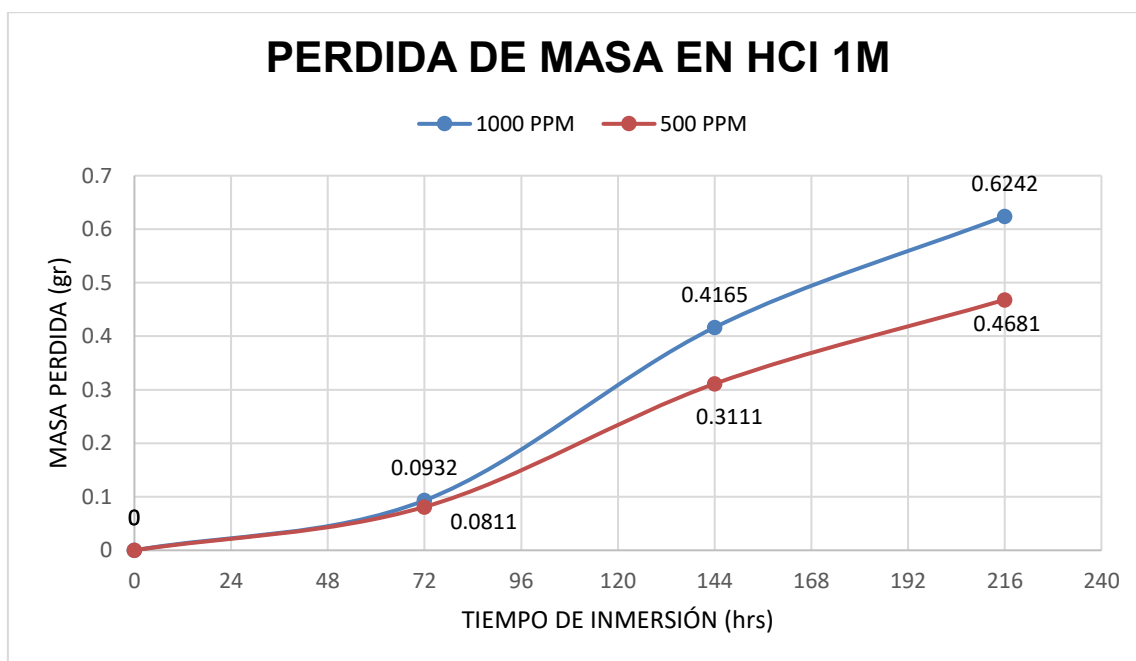
Nota: elaboración propia

Tabla 4.8 Pérdida de masa en HCl 1M con 1000 ppm

PERDIDA DE MASA EN SOLUCION HCl 1M 1000 PPM		
TIEMPO (hrs)	PERDIDA DE MASA (gr)	mm/año
0	0	0
72	0.0932	0.8639
144	0.4165	1.9304
216	0.6242	1.8978

Nota: elaboración propia

Figura 4.6 Grafico de la pérdida de masa en HCl a 1M con 500 y 1000 ppm de extracto

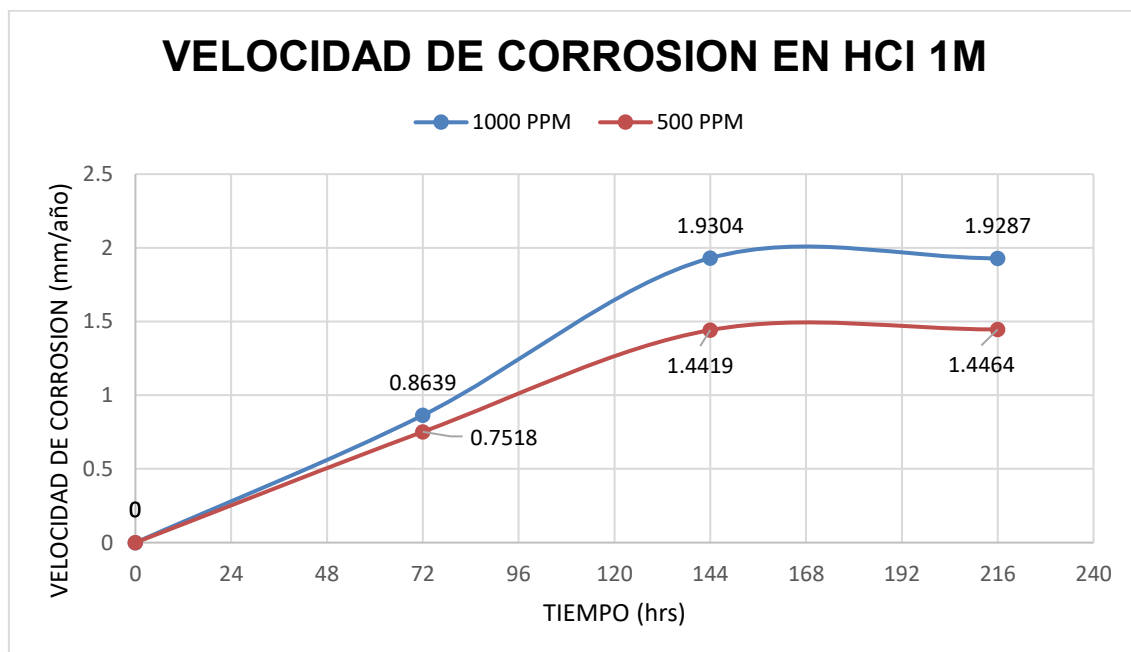


Nota: elaboración propia

En la figura 4.7, se presenta la gráfica de la velocidad de corrosión en HCl a 1M con 500 y 1000 ppm de extracto, en donde para la concentración de 500 ppm, la velocidad asciende en las 72 horas se tiene 0.7518 mm/año, aumentando un 47% la velocidad de corrosión hasta las 144 horas y ascendiendo ligeramente un 0.3%. En una concentración de 1000 ppm de extracto, la velocidad que incrementó considerablemente con un 55% fue en el intervalo de 72 y 144 horas,

pero se puede observar que en las 216 horas la velocidad de corrosión disminuyó un ligeramente 0.08%.

Figura 4.7 Grafico de la velocidad de corrosión en HCl a 1M con 500 y 1000 ppm de extracto



Nota: elaboración propia

4.1.3.5. Eficiencia del extracto como inhibidor de la corrosión en HCl 1M

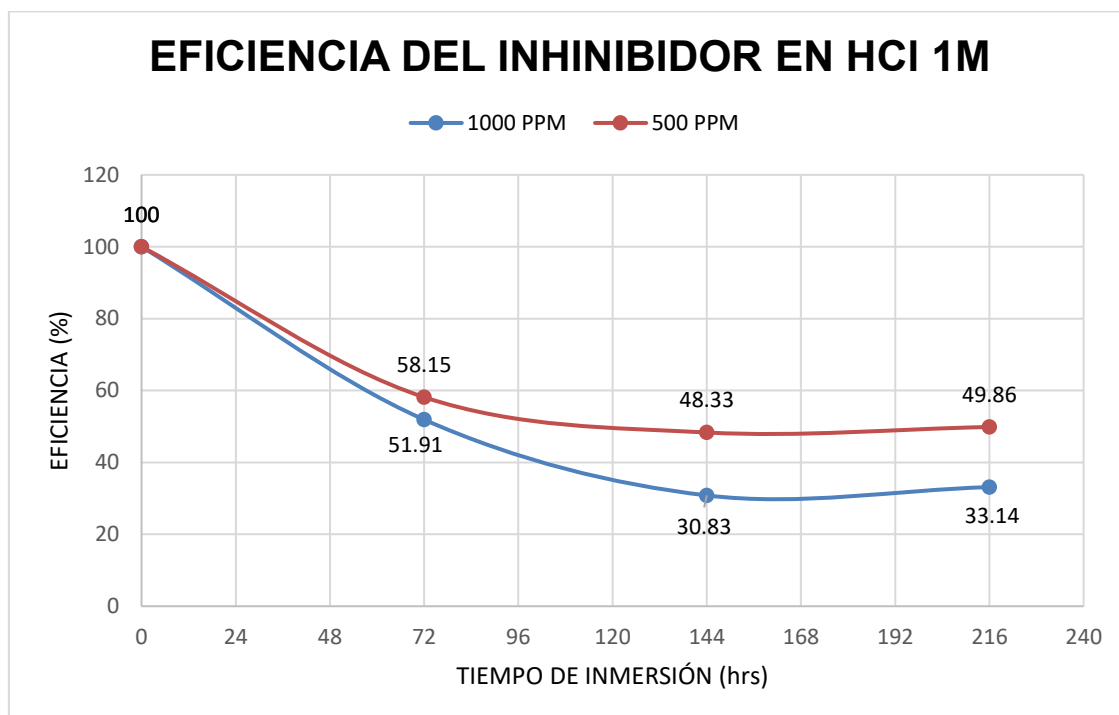
En 72 horas la eficiencia del extracto a 500 ppm fue del 58.15%, 6% más eficiente que en una concentración de 1000 ppm siendo del 51.91%. después de 144 horas de inmersión se nota una deficiencia en ambas concentraciones entre 10 y 15%, pero en 500 ppm sigue siendo más eficiente que en 100 ppm de extracto. Se observa que la eficiencia se incrementa levemente en las horas 216 un 2%. Este comportamiento puede deberse a la adherencia del extracto en la superficie del acero, sin embargo, este comportamiento fue mínimo por lo que la corrosión y la pérdida de masa se fue incrementando.

Tabla 4.9 Eficiencia del extracto en HCl a 1M con 500 y 1000 ppm de extracto.

EFICIENCIA (%) en HCl 1M		
TIEMPO (hrs)	500 ppm	1000 ppm
0	100	100
72	58.15	51.91
144	48.33	30.83
216	49.86	33.14

Nota: elaboración propia

Figura 4.8 Grafico de eficiencia del extracto en HCl a 1M con 500 y 1000 ppm de extracto



Nota: elaboración propia

4.1.3.6. Discusión de la prueba gravimétrica

La prueba gravimétrica por pérdida de masa, presenta comportamientos diferentes exactamente en las diferentes soluciones en las que fueron sometidos las probetas, de igual manera las concentraciones agregadas de extracto etanólico de la planta Altamisa fueron determinantes para la observación del fenómeno de corrosión. En la solución de NaCl a 500 ppm el extracto las probetas presentan menor pérdida de masa teniendo una eficiencia del 65.38% a 56.78% lo que indica que a esta concentración el extracto de la planta Altamisa inhibe la corrosión en el acero ASTM A36 en consecuencia la velocidad desciende a 0.0531 mm/año, en comparación de una concentración de 1000 ppm que obtuvo una eficiencia del 56.41 al 46.23%. De la misma manera, en la solución de HCl a 500 ppm de extracto obtuvo una mayor eficiencia del 58.15 al 49% reduciendo la velocidad de corrosión a 1.4464 mm/año a diferencia de una concentración de 1000 ppm que su eficiencia fue del 51 al 33%.

4.1.4. Inspección visual

4.1.4.1. Inspección visual de probetas en soluciones NaCl y HCl 1M sin extracto

La inspección visual es una de las pruebas no destructivas más importantes, siendo un ensayo simple que es considerado la principal y la primera prueba que se debe realizar en una inspección de cualquier tipo. En este trabajo esta prueba ayuda a detectar discontinuidades que afectan la superficie del acero, en su caso a detectar el grado de corrosión en las probetas sometidas a diferentes soluciones.

En la tabla 4.9, se presentan las fotografías tomadas de las probetas sumergidas en las soluciones, en donde fue necesario tomarles foto a estas probetas al instante de ser retiradas en las soluciones y después de ser limpiadas, con el objetivo de analizar el comportamiento de la corrosión. En la solución NaCl en un tiempo de inmersión de 72 horas, la probeta presenta pérdida de material en menor porcentaje y se puede observar en la superficie existe una menor cantidad de producto de corrosión, es decir, óxidos suspendidos, después de 144 horas se puede notar un avance de corrosión del acero porque presenta gran cantidad de óxido en la superficie y, por último, en 216 horas se observa una corrosión más propagada, pero los óxidos se ven adheridos a la superficie. En esta solución se determina que el acero presenta una corrosión uniforme, ya que, no existe presencia de cavidades o irregularidades en su superficie. En otro caso en una solución de HCl, a las primeras 72 horas se observa una corrosión acelerada, debido a que se presenta cavidades en el acero y conforme avanza en tiempo estas aumentan, por lo que, con estos resultados el acero presenta corrosión por cavitación, lo que hace que la pérdida de masa aumente significativamente.

Tabla 4.9. Probetas en soluciones NaCl y HCl a 1M sin extracto

Horas	NaCl 1M	HCl 1M
0		

72		
144		
216		

Nota: elaboración propia

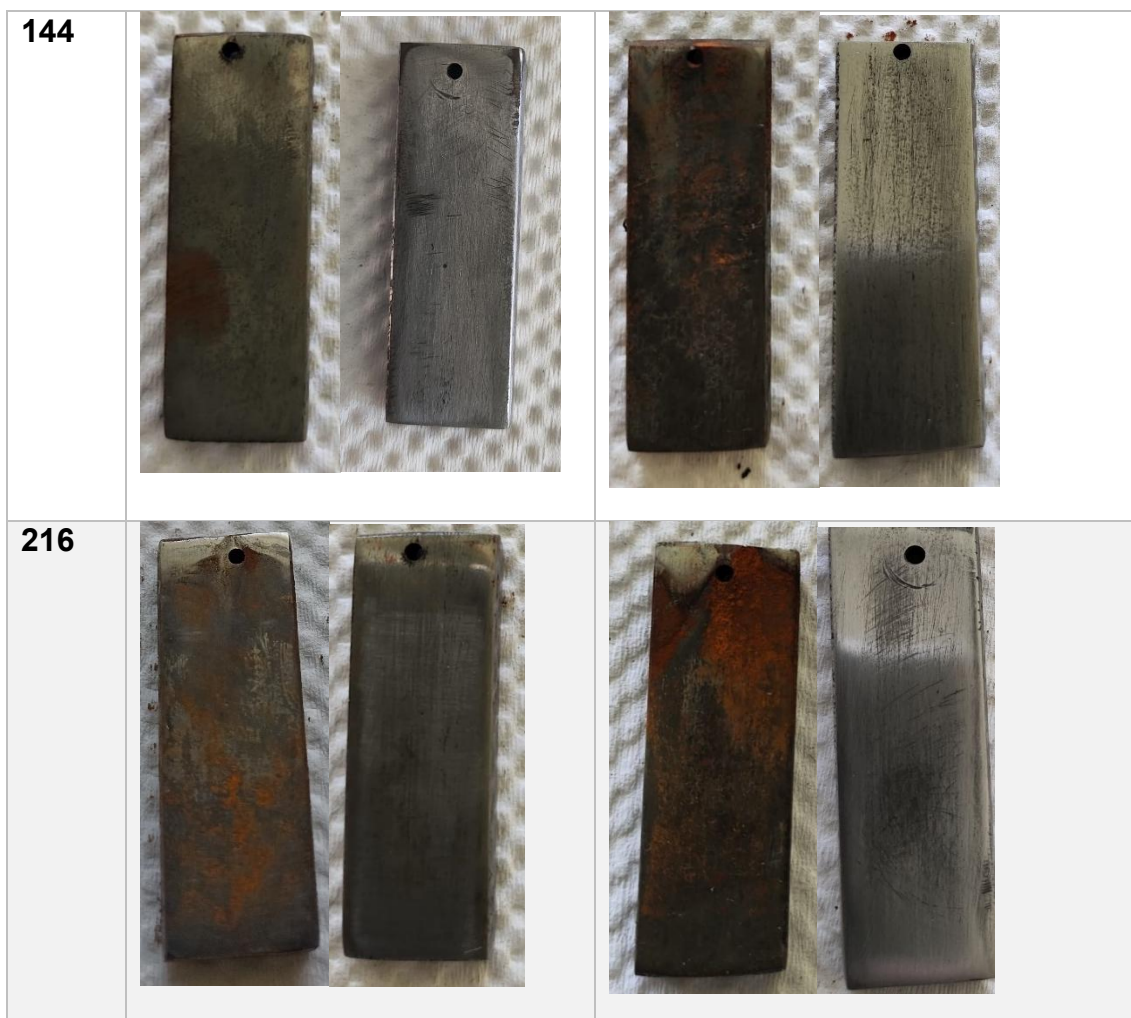
4.1.4.2. Inspección visual de probeta en solución NaCl 1M con extracto

La tabla 4.10, muestra las fotografías de las probetas en la solución NaCl con concentraciones de 500 y 1000 ppm. En ambas soluciones se observa que existe una pérdida de masa uniforme en la superficie del acero, por lo que no existe cambio en la corrosión uniforme. Las fotografías presentadas antes de limpiarlas demuestran que no existe una acumulación excesiva de productos de corrosión,

o que significa que la corrosión y su velocidad disminuyen significativamente, esto es por el extracto añadido, de igual forma se aprecia que en la superficie del acero presenta una coloración verde oscuro que puede deberse al fenómeno de fisiorción del extracto hacia la superficie del acero. En una concentración de 1000 ppm de extracto, es ligeramente diferente puesto que se observa mayores óxidos en la superficie el metal, aunque presenta una reducción de corrosión puede deberse a que en concentraciones más altas de extracto puede llegar a favorecer la corrosión.

Tabla 4.10 Probetas en solución NaCl 1M con extracto

	NaCl 1M	
Horas	500 ppm	1000 ppm
0		
72		



Nota: elaboración propia

4.1.4.3. Inspección visual de probetas en solución HCl 1M con extracto

En una solución de HCl con las concentraciones indicadas en la tabla 4.11, la corrosión se comporta como la formación de cavidades en la superficie del acero, sin embargo, se puede notar que este proceso disminuye considerablemente al añadirle el extracto etanólico de la planta altamisa. De la misma manera que en la solución de cloruro de sodio, a una concentración de 500 ppm de extracto es más efectivo la reducción de corrosión, esto se puede observar en las evidencias fotográficas. Los compuestos del extracto adheridos por fisisorción se pueden notar más en la concentración de 500 ppm. En una concentración de 1000 ppm también se puede notar una menor cantidad de cavidades lo que significa que la corrosión avanza lentamente, aunque a mayor cantidad de masa perdida en comparación a las probetas sumergidas en una concentración de 500 ppm.

Tabla 4.11 Probetas en solución HCl 1M con extracto

	HCl 1M	
Horas	500 ppm	1000 ppm

0		
72		
144		

216



Nota: elaboración propia

4.2. CONCLUSIONES

1. El extracto etanólico presenta una cantidad significativa de polifenoles presentes, dando un resultado de 85,64 mg de ácido clorogénico por 100 ml de extracto, lo cual presenta resultados confiables y aceptables en relación a la literatura. en cuanto a la eliminación de radicales libres por DPPH o actividad antioxidante presenta un 60.7% de esta inhibición a una concentración de 100 μ L, lo cual a esta concentración presenta una inhibición de radicales libres significativa.
2. Con base a los datos cuantitativos se concluye que el extracto de la planta Altamisa actúa como un inhibidor de la corrosión, alcanzando su mayor eficacia a una concentración de 500 ppm en una solución de NaCl a 1M.
3. De igual manera, en la inspección visual se observa el cambio significativo en la velocidad de corrosión para el acero ASTM A36. Teniendo un cambio más notable en la solución de NaCl a 1M con una concentración de 500 ppm de extracto etanólico.
4. Con estas pruebas realizadas, se determina y se concluye que el extracto de la planta *Altamisa* (*Parthenium hysterophorus L.*) si es un inhibidor de la corrosión para el acero ASTM A36. Por lo que la hipótesis principal de este trabajo se concluye como aceptable.

4.3. RECOMENDACIONES

1. La recomendación principal en este trabajo y en este tipo de estudios es utilizar más tecnologías para obtener mas resultados determinantes a una conclusión mas precisa.
2. El estudio de esta gama hacia los inhibidores verdes debería ser unos de los mas importantes en cualquier industria, principalmente en el enfoque de la corrosión.

BIBLIOGRAFIAS

1. Aguilar, D., & Augusto, R. (2022). *Capacidad antioxidante y antimicrobiana de extractos crudos de la hoja de Vasconcellea candicans* (A. GRAY) A. DC 1864 "MITO". FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA, Lima, Perú.
2. ALVAREZ, M. C. (2023). *ESTUDIO DE EXTRACTO DE GEOFFROEA DECORTICANS COMO INHIBIDOR DE LA CORROSIÓN PARA ACERO AL CARBONO AISI 1020 EN SOLUCIÓN 1 M NaCl*. UNIVERSIDAD DE ATACAMA, CHILE.
3. Attack. (2021). *¿Qué es Maceración?* Obtenido de Métodos de Separación de Mezclas: <https://metodosdeseparaciondemezclas.com/que-es-maceracion/>
4. *Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana*. (s.f.). Obtenido de Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=parthenium-hysterophorus>
5. Bolívar, G. (2020). *Cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC): fundamento, equipo, tipos*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/cromatografia-liquida-alta-eficacia/>
6. Calero, C., & Pulido, B. (2023). *Frabricación de un aditivo anticorrosivo mediante la extracción d polifenoles de material orgánico residual*. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C.
7. *Comunicación*. (2021). Obtenido de Los compuestos fenólicos, esos pequeños desconocidos: <https://cobcm.net/blogcobcm/2021/02/22/compuestos-fenolicos-desconocidos/>
8. Corredor Ortiz, T. A., & Nonsoque Agudelo, V. (2021). *Evaluación de un recubrimiento orgánico a base del extracto antioxidante de la semilla de chía para tuberías de transporte de agua de producción petrolera*. Fundación Universidad de América, Bogota D.C.
9. Diestra, E., & Zavaleta, L. (2023). *Influencia de la dosificación de Sapindus Saponaria sobre la velocidad de corrosión del acero 1.25 Cr-0.5Mo en HCl 1 M*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, Trujillo, Perú.
10. *ECOagricultor*. (2021). Obtenido de Polifenoles: 8 infusiones con alto contenido en antioxidantes.: <https://www.ecoagricultor.com/polifenoles-infusiones-antioxidantes/>

11. Emt. (2023). *Emt*. Obtenido de Factors affecting corrosion and how to calculate the corrosion rate: <https://emt-pipe.com/es/factors-affecting-corrosion-and-how-to-calculate-the-corrosion-rate/>
12. estudiosfarmaceuticos.com. (2021). *ALCOHOLES / FENOLES formulación química orgánica*. Obtenido de CLASES DE FARMACIA EN SALAMANCA: <https://www.estudiosfarmaceuticos.com/alcoholes-fenoles-formulacion-quimica-organica/>
13. *Factsheet*. (s.f.). Recuperado el 30 de julio de 2024, de Parthenium hysterophorus: [https://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Parthenium_hysterophorus_\(Parthenium_Weed\).htm](https://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Parthenium_hysterophorus_(Parthenium_Weed).htm)
14. FANO, O. (2021). ELABORACIÓN DE UN INHIBIDOR EXTRAÍDO DE LAS HOJAS DE HIGO PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE DECAPADO EN ACEROS AL CARBONO: AISI 1020 Y AISI 1045. *ELABORACIÓN DE UN INHIBIDOR EXTRAÍDO DE LAS HOJAS DE HIGO PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE DECAPADO EN ACEROS AL CARBONO: AISI 1020 Y AISI 1045*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA, AREQUIPA, PERÚ.
15. Guo, L., Verma, C., & Zhang, D. (2022). *Eco-Friendly Corrosion Inhibitors*. Elsevier.
16. HUB, S. (2024). *Determinación de actividad antioxidante por método DPPH*. Obtenido de Centro de Biotecnología Traslacional.: <https://cbt.softofahub.cl/servicio/determinacion-de-actividad-antioxidante-por-metodo-dpph/>
17. *Insercor*. (2020). Obtenido de Inspección Visual (VT): <https://www.insercor.com/portfolio/inspeccion-visual-vt/>
18. Jorge Armando Tello González, G. M. (2022). Recubrimientos orgánicos a base de aceite de linaza como inhibidor de la corrosión. En *Materiales Avanzados y Nanomateriales: aprovechamiento de fuentes naturales y sus beneficios al medio ambiente* (págs. 121-140). Barcelona: OmniaScience.
19. Kalstein. (2022). *Kalstein*. Obtenido de ¿Qué es un espectrofotómetro de UV-VIS?: <https://kalstein.co.ve/que-es-un-espectrofotometro-de-uv-vis/>
20. Loyola, A., & Andrés, L. (2023). *Carragenina-kappa natural como inhibidor de corrosión ecológico para la corrosión del acero de baja aleación en ácido clorhídrico 1 M*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, Trujillo, Perú.

21. Mex, R., Guillen, M., & Garma, P. (2023). Modelos para evaluar la actividad antioxidante en plantas. 155-160.
22. Mosley. (Agosto de 2022). *Phemtycs-Ingenieria*. Obtenido de Phemtycs: <https://phemtycs.com/corrosion-uniforme-o-generalizada/>
23. *Parthenium hysterophorus*. (2022). Obtenido de UF/IFAS Mid-Florida Research & Education Center: <https://mrec.ifas.ufl.edu/research/weedsbyflowercolor/white/partheniumhysterophorus/>
24. *Parthenium hysterophorus* L. (s.f). Obtenido de eFloraMex - Flora de México en línea: https://efloramex.ib.unam.mx/cdm_dataportal/taxon/81b379aa-db3b-4cf7-8002-db2ab623fd30
25. Quiñonez., E. (2024). Análisis comparativo de los inhibidores ecológicos vs. los tradicionales en el control de la corrosión. *Inspenet*.
26. Raja, P. M., & Barron, A. R. (2022). Cromatografía líquida de alto rendimiento. *Libretexts*.
27. RIVERA, I. A. (2020). *INHIBICIÓN DE LA CORROSIÓN DE ALUMINIO EN H2SO4 POR CHENOPODIUM AMBROSIOIDES*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS, MORELOS.
28. S.A, C. G. (2024). *Aceros especiales para aplicaciones industriales*. Bogota.
29. Soutullo, R. G. (2021). *Ingeniero Marino*. Obtenido de Corrosión y Tratamiento de Superficies: <https://ingenieromarino.com/corrosion-y-tratamiento-de-superficies-tratamiento-de-la-obra-viva-del-buque/#133-Corrosion-Cavitacion>
30. Teran, B., & Soledad, D. (2023). *Evaluación de la eficiencia de extracción de un inhibidor verde contenido en hojas de Molle por el metodo de infusión con aplicacion al decapado del acero ASTM A-36*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
31. Umoren, S. A., Solomon, M. M., & Saji, V. S. (2022). *Polymeric Materials in Corrosion Inhibition*. Elsevier.