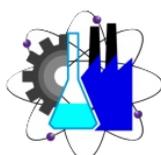


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**



**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA**



**Estudio de inhibición amigable de la corrosión del acero  
al carbono 1018 en medio ácido por especies vegetales**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE  
LICENCIADA EN INGENIERIA QUÍMICA**

**P R E S E N T A**

**NAYELLI PILAR SALGADO**

**DIRECTORA DE TESIS:**

**DRA. MARÍA GUADALUPE VALLADARES CISNEROS**

**CO-DIRECTORA DE TESIS:**

**DRA. ADRIANA RODRÍGUEZ TORRES**

**CUERNAVACA, MORELOS**

**MAYO, 2024**

## Resumen

La corrosión de metales y aleaciones es un fenómeno natural y costoso que afecta a numerosos sectores industriales. Es un proceso electroquímico en el cual los materiales metálicos reaccionan con su entorno y se deterioran gradualmente. El método empleado con mayor frecuencia para la disminución de la corrosión son los inhibidores convencionales, no obstante, resultaron ser dañinos para el medio ambiente por el uso excesivo de productos químicos para su obtención. Una alternativa amigable diseñada para brindar protección contra la corrosión son denominados inhibidores verdes de la corrosión, obtenidos de especies vegetales.

En el presente trabajo de investigación se evaluaron tres extractos naturales de Limón (*Citrus latifolia*), Palo azul (*Eysenhardtia polystachya*) y Jazmín azul (*Plumbago auriculata*), como inhibidores verdes de la corrosión en acero al carbono 1018 inmerso en una solución de ácido sulfúrico a 0.5 M, mediante la técnica electroquímica de Curvas de Polarización Potencial dinámicas (CPP). Las pruebas electroquímicas se realizaron a distintas concentraciones a una temperatura ambiente para determinar la eficiencia de inhibición de cada extracto natural.

Los extractos de *C. latifolia* y *E. polystachya* no mostraron una reducción en la velocidad de corrosión del material metálico, sin embargo, el *P. auriculata* a la concentración de 400 ppm mostró un porcentaje de inhibición del 28.43%. Posteriormente se realizaron pruebas electroquímicas al tiempo con la concentración de 400 ppm del extracto natural de *P. auriculata* para observar su comportamiento en el acero 1018 en el medio agresivo, obteniendo a las cuatro horas un porcentaje de inhibición del 12%, mostrando en las curvas de polarización una disminución mínima de la velocidad de corrosión.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Dra. Valladares Cisneros por su confianza, orientación, apoyo y conocimientos impartidos durante todo el proceso académico y el desarrollo del proyecto de investigación.

A la Dra. Fernanda Morales por su comprensión y compromiso durante toda mi estancia académica, por siempre alentar a seguir.

Al Dr. Jorge Urichurto Chavarin por brindarme la atención y disposición brindada.

A Germán por sus enseñanzas, consejos y paciencia durante todo el proceso de investigación y por convertir el trabajo difícil en risas.

A la Dra. Adriana por su orientación, apoyo y amabilidad de compartir sus conocimientos para lograr los objetivos con el desarrollo del proyecto de investigación.

## **Dedicatoria**

A mi familia y seres queridos, por su paciencia, comprensión y aliento durante toda esta etapa, gracias por estar siempre a mi lado.

## Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>2</b>
<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>10</b>
1.1 Justificación .....	11
1.2 Hipótesis .....	12
1.3 Objetivo General .....	13
1.3.1 Objetivos específicos .....	13
<b>Capítulo 2. Antecedentes.....</b>	<b>14</b>
2.1 El Acero.....	14
2.1.1 Acero al carbono 1018 .....	14
2.2 Corrosión de materiales metálicos .....	15
2.3 Tipos de corrosión.....	18
2.4 Técnicas electroquímicas para el estudio de la corrosión .....	22
2.4.1 Potenciales de corrosión.....	22
2.4.2 Curvas de polarización potencio dinámicas (CPP) .....	23
2.5 Inhibidores de la corrosión .....	24
2.5.1 Tipos de inhibidores .....	25
2.5.2 Inhibidores anódicos o de pasivación: .....	25
2.5.3 Inhibidores catódicos: .....	25
2.5.4 Inhibidores mixtos .....	25
2.5.5 Inhibidores sintéticos.....	26
2.5.6 Inhibidores naturales .....	26
2.6 <i>Citrus latifolia</i> (Limón) .....	27
2.7 <i>Eysenhardtia polystachya</i> (Palo azul). .....	29
2.8 <i>Plumbago auriculata</i> (Jazmín azul).....	30

<b>CAPITULO 3. Desarrollo Experimental</b> .....	31
3.1 Composición química del material metálico .....	31
3.2 Solución agresiva (electrólito) .....	31
3.3 Electrodo de trabajo .....	31
3.4 Inhibidores verdes de la corrosión .....	32
3.4.1 Obtención de los extractos naturales .....	32
3.4.2 Obtención de los inhibidores verdes (solución stock) .....	33
3.5 Celda electroquímica .....	34
3.5.1 Curvas de polarización potenciodinámica (CPP) .....	35
3.5.2 CPP al tiempo .....	35
<b>CAPITULO 4. Resultados y Discusión</b> .....	37
4.1 Evaluación de CPP del acero 1018.....	37
4.1.1 Extracto de <i>C. latifolia</i> .....	37
4.1.2 Extracto de <i>E. polystachya</i> .....	37
4.1.3 Extracto de <i>P. auriculata</i> .....	41
4.2 Evaluación de CPP de <i>P. auriculata</i> en el tiempo .....	43
<b>Capítulo 5. Conclusiones</b> .....	51
<b>Referencias</b> .....	52

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Especies naturales inhibidoras de la corrosión para el acero en medio ácidos.....	28
<b>Tabla 2.</b> Composición química del acero al carbono AISI 1018 .....	31
<b>Tabla 3.</b> Parámetros electroquímicos de <i>C. latifolia</i> obtenidos con CPP .....	38
<b>Tabla 4.</b> Parámetros electroquímicos de <i>E. polystachya</i> obtenidos con CPP .....	40
<b>Tabla 5.</b> Parámetros electroquímicos de <i>P. auriculata</i> obtenidos con CPP.....	42
<b>Tabla 6.</b> Parámetros electroquímicos obtenidos con las CPP y sin inhibidor.....	49
<b>Tabla 7.</b> Parámetros electroquímicos obtenidos con CPP y <i>P. auriculata</i> (400 ppm) .....	50

---

**Lista de Figuras**

<b>Fig. 1</b> Diagrama esquemático de una celda electroquímica .....	18
<b>Fig. 2</b> Representación de la corrosión uniforme.....	19
<b>Fig. 3</b> Corrosión localizada.....	20
<b>Fig. 4</b> Corrosión por agrietamiento por bajo tensión .....	20
<b>Fig. 5</b> Corrosión galvánica en una placa de acero .....	21
<b>Fig. 6</b> Corrosión por cavitación .....	21
<b>Fig. 7</b> Curva de polarización potenciodinámica.....	23
<b>Fig. 8</b> <i>Citrus latifolia</i> .....	28
<b>Fig. 9</b> Limoneno .....	29
<b>Fig. 10</b> <i>Eysenhardtia polystachya</i> .....	29
<b>Fig. 11</b> <i>Plumbago auriculata</i> .....	30
<b>Fig. 12</b> Plumbagina .....	30
<b>Fig. 13</b> Electrodo de trabajo de acero al carbono AISI 1018 .....	32
<b>Fig. 14</b> Solución stock (a) <i>C. Latifolia</i> (b) <i>E. polystachya</i> (c) <i>P. auriculata</i> .....	33
<b>Fig. 15</b> Celda electroquímica .....	34
<b>Fig. 16</b> Potenciostato Gill AC .....	35
<b>Fig. 17</b> Celda electroquímica con y sin presencia de inhibidor .....	36
<b>Fig. 18.</b> CPP en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5M sin y con la presencia del inhibidor de <i>C. latifolia</i>	37
<b>Fig. 19</b> Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de <i>C. latifolia</i> en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a diferentes concentraciones.....	38
<b>Fig. 20</b> CPP en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5M sin y con la presencia del inhibidor de <i>E. polystachya</i> .....	39
<b>Fig. 21</b> Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de <i>E. polystachya</i> en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a diferentes concentraciones.....	40
<b>Fig. 22</b> CPP en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5M sin y con la presencia del inhibidor de <i>P. auriculata</i> .....	41
<b>Fig. 23</b> Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de <i>P. auriculata</i> en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a diferentes concentraciones.....	42
<b>Fig. 24</b> CPP en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5M sin y con la presencia del inhibidor de <i>P. auriculata</i> .....	43

<b>Fig. 25</b> Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de <i>P. auriculata</i> en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5 M .....	44
<b>Fig. 26</b> CPP en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5M sin y con inhibidor de <i>P. auriculata</i> al tiempo de una hora .....	44
<b>Fig. 27</b> Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de <i>P. auriculata</i> en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5 M al tiempo de una hora.....	45
<b>Fig. 28</b> CPP en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5M sin y con inhibidor de <i>P. auriculata</i> al tiempo de dos horas .....	45
<b>Fig 29</b> Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de <i>P. auriculata</i> en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5 M al tiempo de dos horas .....	46
<b>Fig. 30</b> CPP en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5M sin y con inhibidor de <i>P. auriculata</i> al tiempo de cuatro horas .....	46
<b>Fig. 31</b> Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de <i>P. auriculata</i> en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5 M al tiempo de cuatro horas.....	47
<b>Fig. 32</b> CPP en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5M sin y con inhibidor de <i>P. auriculata</i> al tiempo de seis horas .....	47
<b>Fig 33</b> Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de <i>P. auriculata</i> en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5 M al tiempo de seis horas.....	48
<b>Fig. 34</b> CPP en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5M sin y con inhibidor de <i>P. auriculata</i> al tiempo de doce horas.....	49
<b>Fig. 35</b> Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de <i>P. auriculata</i> en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 0.5 M al tiempo de doce horas .....	49

## Capítulo 1. Introducción

En este trabajo se estudiaron *Citrus latifolia*, *Eysenhardtia polystachya* y *Plumbago auriculata* vegetales para determinar su capacidad de protección ante la corrosión que sufre el acero al carbono 1018 en medio ácido.

Este trabajo se marca en la importancia que tiene el sumar esfuerzos en la búsqueda de sustancias naturales y amigables aplicables en ingeniería ambiental y resolver los problemas que se producen en los procesos sin comprometer al medio ambiente.

De acuerdo con los resultados se puede mencionar que de las tres especies estudiadas la que mostró capacidad inhibidora de la corrosión hacia el acero al carbono 1018 en un medio ácido fue *Plumbago auriculata*. Mediante curvas de polarización potenciodinámicas (CPP) se obtuvo un valor de  $i_{corr}$  de 0.214, el cual refirió un porcentaje de eficiencia de inhibición cerca del 30% al emplearse 400 ppm del extracto metanólico de esta especie vegetal.

Como perspectivas de este trabajo es posible mencionar que *Plumbago auriculata* pueda explorarse en su actividad inhibitoria de la corrosión empleando otros materiales metálicos o bien otros electrolitos como pueden ser básicos o neutros.

## 1.1 Justificación

En las últimas décadas el uso de materiales metálicos se ha incrementado a gran escala en el sector industrial y la infraestructura, sin embargo, estos materiales son vulnerables a oxidarse en cualquier ambiente, siendo la corrosión el resultado de este proceso lo cual es inevitable. En consecuencia, la corrosión es la principal causa de pérdidas económicas por el reemplazo de material dañado, además de ser un riesgo en la seguridad y funcionamiento.

A partir de esto surge la necesidad de proteger el material metálico y mitigar la corrosión, para ello se usan inhibidores convencionales, no obstante, el uso de estos inhibidores de la corrosión resultan ser sustancias químicas tóxicas que perjudican al medio ambiente y al ser humano.

Esta problemática ha llevado a la búsqueda de obtener inhibidores de la corrosión naturales para poder proteger a los materiales metálicos de forma sostenible y amigable con el medio ambiente.

Por esta razón en el presente trabajo de tesis se propone el estudio de la evaluación inhibitoria amigable de la corrosión del acero al carbono 1018 inmerso en un medio ácido utilizando extractos vegetales de *Citrus latifolia*, *Eysenhardtia polystachya* y *Plumbago auriculata*.

## 1.2 Hipótesis

La actividad antioxidante se refiere a la estabilización del medio agresivo por el atrapamiento de especies químicas reactivas, es por lo que algunas especies vegetales son valiosas al tener asociada esta propiedad. Si la corrosión metálica un proceso en el cual se generan y producen especies reactivas, entonces *Citrus latifolia*, *Eysenhardtia polystachya* y *Plumbago auriculata* ejercen una mitigación del proceso de corrosión al cual se expone un material metálico inmerso en un medio ácido sulfúrico.

### **1.3 Objetivo General**

Determinar el mejor inhibidor natural de la corrosión de entre las siguientes especies vegetales *Citrus latifolia*, *Eysenhardtia polystachya* y *Plumbago auriculata*.

#### **1.3.1 Objetivos específicos**

1. Evaluar la eficiencia de inhibición de la corrosión para cada extracto vegetal mediante curvas de polarización potenciodinámicas.

2. Analizar los resultados obtenidos de la eficiencia inhibitoria de la corrosión para determinar la mejor especie vegetal.

## **Capítulo 2. Conceptos básicos y Antecedentes**

### **2.1 El Acero**

Es una aleación de hierro con una cantidad de carbono variable entre el 0.05% al 2.0%. En general, los metales y aleaciones tienen resistencias relativamente altas, rigidez alta, ductilidad o formabilidad y resistencia al impacto [1].

El acero conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos mejora sus propiedades fisicoquímicas, como la resistencia, tenacidad, dureza, entre otras. [2].

Por su amplio rango de propiedades el acero es una de las aleaciones más versátiles y fundamentales a nivel industrial, lo que lo posiciona como uno de los materiales metálicos con mayor producción con bajo costo. En México la producción nacional anual de productos terminados de 2022 es de 19.7 millones de toneladas de acero [3]. La producción del acero en México es llevada a cabo por diversas empresas siderúrgicas y representan una parte importante de la economía nacional. La industria del acero en México ha experimentado un crecimiento relevante en las últimas décadas desempeñando un papel esencial en el desarrollo económico y la infraestructura en el país.

#### **2.1.1 Acero al carbono 1018**

El acero al carbono AISI 1018 es una variedad de acero de bajo contenido de carbono que se caracteriza por su excelente maquinabilidad y soldabilidad. Dentro de su composición química el contenido de carbono se puede encontrar en un rango del 0.15 al 0.20 %, clasificándose como un acero de bajo carbono. Además del carbono, puede contener pequeñas cantidades de fósforo, azufre y manganeso [4].

El bajo contenido de carbono en el acero AISI 1018 permite que éste sea fácil de cortar, perforar, tornearse y fresar. Por lo que con este material se suelen fabricar piezas mecanizadas, como son ejes, tuercas, pernos, tornillos, componentes de máquinas y fabricación de tuberías. Sin embargo, por su capacidad de soldadura y conformabilidad el acero AISI 1018 también se utiliza en la fabricación de componentes de construcción como placas entre muchos otros usos.

Es importante mencionar que el acero AISI 1018 no es adecuado para aplicaciones de alta resistencia o dureza, ya que su bajo contenido de carbono otorga una resistencia limitada en comparación con aceros de mayor contenido de carbono.

## **2.2 Corrosión de materiales metálicos**

La corrosión es un proceso natural de deterioro que afecta a los metales cuando están expuestos a condiciones ambientales adversas. La vulnerabilidad de los materiales metálicos puede depender de varios factores, por ejemplo, el entorno que acelera el proceso de corrosión en materiales metálicos se caracteriza por la presencia de diversos componentes que interactúan con las superficies de los metales. Estos componentes pueden variar según el entorno y las condiciones específicas, pero algunos de los factores más comunes que contribuyen al ambiente corrosivo incluyen humedad, oxígeno, contaminantes atmosféricos, temperatura entre otros [5].

La corrosión tiene repercusiones significativas tanto en el sector económico como en el ambiental. Desde el punto de vista económico, los costos asociados a la corrosión son considerablemente elevados. Las industrias que dependen en gran medida de estructuras metálicas, como la construcción, la ingeniería naval y la aviación, enfrentan gastos sustanciales relacionados con la reparación y reemplazo de equipos afectados por la corrosión [6].

En el sector de la infraestructura, la corrosión de puentes, edificios y tuberías implica gastos considerables en mantenimiento y renovación. Los costos asociados

con la pérdida de eficiencia y vida útil de equipos industriales también son significativos. Además, la corrosión puede dar lugar a interrupciones en la producción y operaciones, afectando directamente la rentabilidad de las empresas [6].

La corrosión causa un impacto económico negativo para el sector industrial debido a los costos relacionados con la restauración y reposición de estructuras y partes de equipos, inclusive si para estos últimos el daño es irreparable se deberá realizar el reemplazo de los mismos [7]. La corrosión suele tener un impacto desagradable que se refleja en la generación de residuos y emisiones. La búsqueda de soluciones efectivas para mitigar la corrosión no solo beneficiará la viabilidad económica de las industrias, sino que también contribuirá a la preservación del medio ambiente.

Las tres razones principales de la importancia de la corrosión son: economía, seguridad y conservación [8]. La reacción que se origina en el fenómeno de la corrosión depende de la naturaleza química del entorno y de la concentración efectiva de las especies reactivas [9]. Cuando se ve desde el punto de vista de los procesos parciales de oxidación y reducción, la corrosión se puede clasificar en reacciones generalizadas [10].

La gran cantidad de energía presente en los metales y aleaciones les permite reaccionar química y electroquímicamente con su entorno, lo que da lugar a la formación de un compuesto estable. Este proceso eventualmente resulta en el deterioro del metal debido al mecanismo de corrosión [11].

La estructura y composición física de un material sólido se ve afectada en un ambiente corrosivo. En la corrosión química, la reacción ocurre entre el metal y las sustancias presentes en su entorno; en la corrosión electroquímica, implica la transferencia de electrones produciendo una corriente eléctrica en el proceso de corrosión [1].

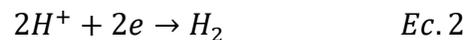
La corrosión es un proceso electroquímico que implica reacciones de oxidación y reducción entre el metal y electrolito. El estudio de la corrosión se basa

en la Teoría del Potencial Mixto. Esta teoría postula que las reacciones de oxidación y reducción en la corrosión electroquímica ocurren a la misma velocidad sobre la superficie metálica [12].

La reacción anódica es donde ocurre la oxidación, como ejemplo se presenta la oxidación del hierro como:



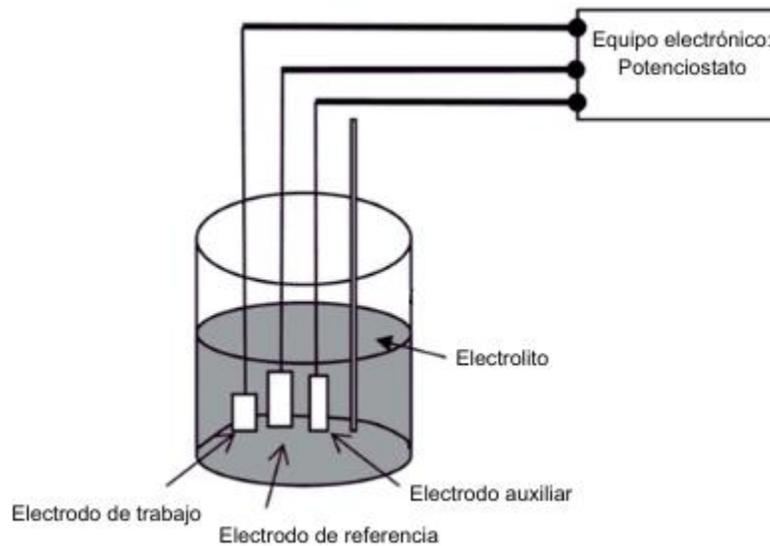
Para la reacción catódica donde ocurre la reducción, se representa como:



La corrosión involucra el movimiento de iones metálicos hacia la solución en zonas activas (ánodo), el paso de electrones del metal a un aceptor en zonas menos activas (cátodo), una corriente iónica en la solución y una corriente electrónica en el metal. El proceso catódico requiere la presencia de un aceptor de electrones como el oxígeno, agentes oxidantes o iones de hidrógeno. [13]

En los materiales metálicos el proceso de corrosión es normalmente electroquímico, es decir una reacción química en la que se produce una transferencia de electrones de una especie a otra. La corrosión, como proceso electroquímico, se basa en la reacción del metal en un medio que permita la circulación de electrones, convirtiéndose en un óxido u otro compuesto termodinámicamente estable en dichas condiciones, dando una reacción de oxidación-reducción en un medio conductor de la electricidad [9].

La celda en la que sucede este proceso consiste en los siguientes componentes básicos:



**Fig. 1** Diagrama esquemático de una celda electroquímica  
Modificado de Dariva y Galio, 2014.

Electrodo de trabajo. Puede ser una parte de la superficie del material metálico.

Electrodo de referencia. Puede ser el de Calomel o Ag/AgCl.

Electrodo auxiliar: Se utiliza una barra de grafito.

Electrolito. Es el medio que transporta los electrones.

Además, es necesario utilizar un equipo electrónico de medición conocido como potenciostato y/o una fuente de poder [14].

### 2.3 Tipos de corrosión

La localización de las zonas catódicas y anódicas sobre la superficie de un metal puede ser muy variada, provocando que el material se corra de formas muy diversas. Es útil clasificar la corrosión según las formas en las que se manifiesta, basándose esta clasificación en la apariencia del material metálico corroído [10].

Los cinco tipos frecuentes de corrosión son respecto a la apariencia exterior o las propiedades físicas alteradas son las que se presentan a continuación [8]:

## 1. Uniforme

Se distingue por una reacción química o electroquímica que ocurre de manera uniforme sobre toda la superficie expuesta o sobre un área grande. Este tipo de corrosión se caracteriza por producir un deterioro estético considerable. El metal se vuelve más delgado y eventualmente falla, representa la mayor destrucción del metal.



**Fig. 2** Representación de la corrosión uniforme.

Tomado de <https://www.swagelok.com/es/toolbox/material-selection-guide/corrosion-types>

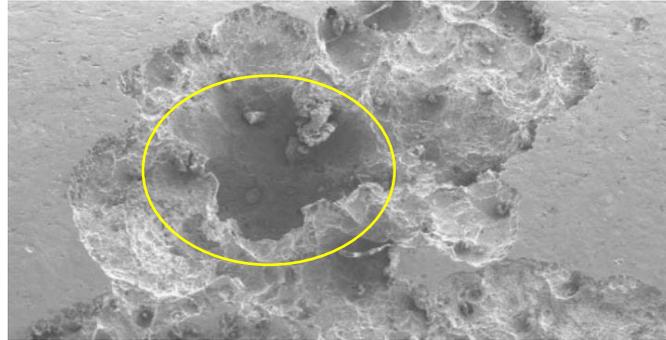
## 2. Localizada

Este tipo de corrosión ataca zonas específicas del material expuesto y ataca mayormente en algunas áreas que en otras (Figura 3). Si el ataque apreciable se limita a un área relativamente pequeña y fija de metal, que actúa como ánodo, los hoyos resultantes se describen como profundos. Si el área de ataque es relativamente más grande y no tan profunda, los pozos se llaman poco profundos.

## 3. Bajo fatiga/agrietamiento

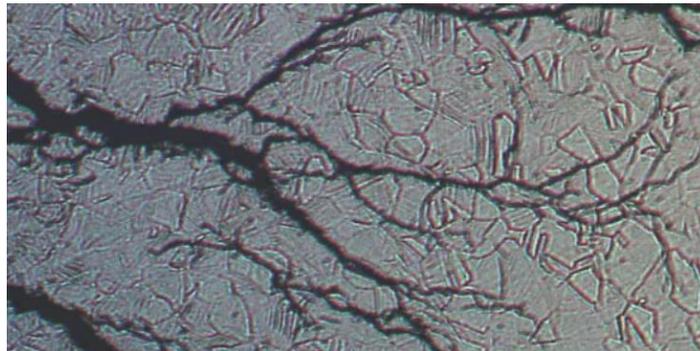
La corrosión por fatiga es un proceso que implica el desarrollo de fracturas por tensión debido a que los materiales metálicos están sometidos a ciclos repetidos de carga, por lo que pueden presentarse en ausencia de medios corrosivos. Así mismo implica la combinación de tensiones cíclicas continuas y la presencia de agentes corrosivos, lo que acelera significativamente el proceso de deterioro del material metálico expuesto.

En este tipo de corrosión, la tensión aplicada al material genera microfisuras (grietas) que con el paso del tiempo pueden propagarse debilitando aún más la superficie y puede resultar tanto en forma ínter granular como transgranular [15].



**Fig. 3** Corrosión localizada

Tomado de <https://www.swagelok.com/es/toolbox/material-selection-guide/corrosion-types>



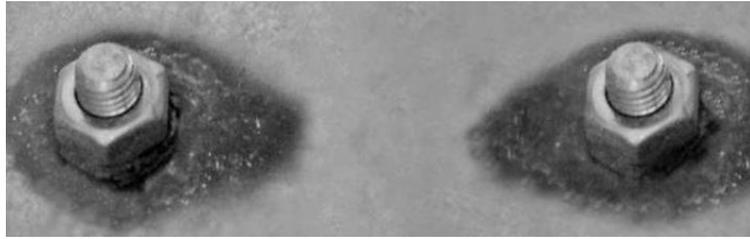
**Fig. 4** Corrosión por agrietamiento por bajo tensión

Tomado de <https://www.swagelok.com/es/toolbox/material-selection-guide/corrosion-types>

#### 4. Galvánica

La corrosión galvánica se manifiesta, cuando dos metales diferentes están en contacto eléctrico y en presencia de una solución (electrolito), resultando una diferencia de potencial eléctrico entre los metales. Este tipo de corrosión causa mayor daño en uno de los metales, lo que crea la corrosión del metal más activo.

Entre más grande sea la diferencia del potencial entre los dos metales, mayor será la posibilidad de que se dé la corrosión galvánica [15].



**Fig. 5** Corrosión galvánica en una placa de acero

Tomado de [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0379-39822015000300127](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822015000300127)

## 5. Cavitación

Es un fenómeno que puede ocurrir en sistemas hidráulicos, especialmente cuando hay flujo turbulento, ya que esta forma de corrosión se caracteriza por la formación y colapso de burbujas de vapor dentro del líquido, generando microcavitaciones que impactan contra las superficies metálicas, provocando daños y erosión en la superficie localmente [15].



**Fig. 6** Corrosión por cavitación

Tomado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542023000200010&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542023000200010&script=sci_arttext)

## 2.4 Técnicas electroquímicas para el estudio de la corrosión

El entendimiento de los procedimientos y mecanismos que controlan la corrosión en materiales metálicos es de gran interés en el ámbito de ingeniería, lo que ha impulsado la investigación y el desarrollo para su evaluación [16].

Las técnicas electroquímicas se fundamentan en las leyes de Faraday que relacionan el flujo de masa por unidad de área y tiempo con el flujo de corriente generada por la transferencia de electrones que se desprenden de una superficie metálica en un medio electrolítico [14].

### 2.4.1 Potenciales de corrosión

La técnica de potenciales de la corrosión se basa en la medición o control del potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ) y la corriente. El potencial es una medida de la capacidad de un metal para ceder o aceptar electrones en un medio corrosivo, mientras que la corriente es el flujo de electrones que ocurre durante el proceso de corrosión. Estas dos variables están estrechamente relacionadas y proporcionan información valiosa sobre la velocidad y el mecanismo de corrosión.

Este enfoque busca superar las limitaciones de los métodos convencionales al anticipar y estimar de manera más eficiente la resistencia a la corrosión de los materiales. El estudio se enfoca en la aplicación de este método a muestras metálicas expuestas a condiciones simuladas, destacando su utilidad para prever el comportamiento de materiales en entornos corrosivos, mediante el empleo de curvas de polarización y extrapolación de Tafel [17].

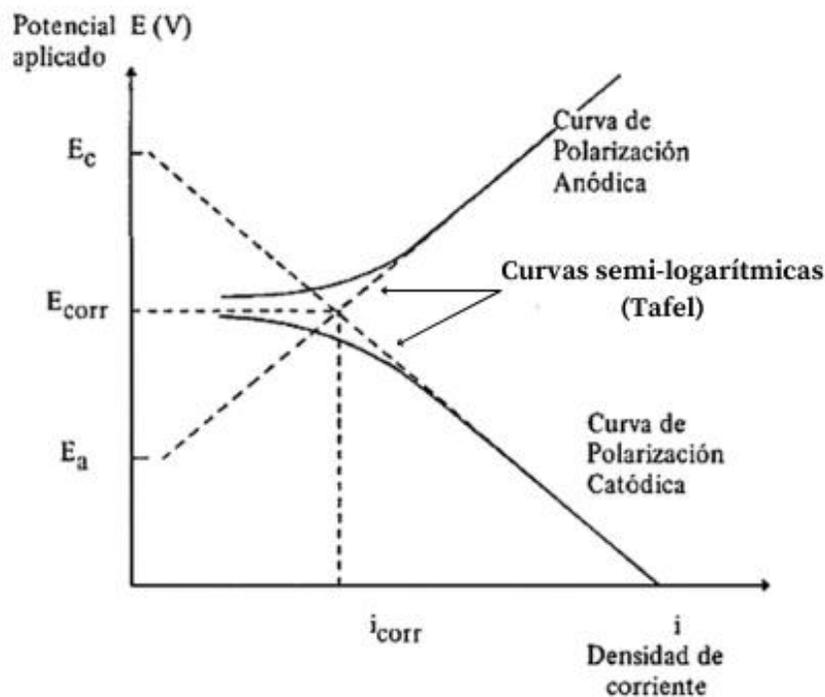
Para realizar mediciones electroquímicas se requiere de una celda electroquímica como se mencionó anteriormente. En numerosos documentos y reportes, la efectividad de un inhibidor se representa mediante un valor numérico, el cual se define de la siguiente manera:

$$\%EI = \frac{A_0 - A_1}{A_0} (100) \quad Ec. 3$$

Donde  $A_0$  representa el valor de la densidad de la corriente ( $i_{corr}$ ) de corrosión del metal inmerso sin la presencia del inhibidor y  $A_1$  es el valor correspondiente cuando la disolución contiene la presencia del inhibidor de corrosión [18, 19].

#### 2.4.2 Curvas de polarización potencio dinámicas (CPP)

Las CPP (Figura 7) son herramientas clave para entender la cinética de las reacciones electroquímicas en sistemas específicos, son gráficos que muestran la relación entre el potencial ( $E_{corr}$ ) contra el logaritmo de la densidad de corriente ( $i_{corr}$ ).



**Fig. 7** Curva de polarización potenciodinámica.  
Modificado de Ugaz y Díaz, 1998.

Las CPP muestran dos regiones distintas una anódica (oxidación) y catódica (reducción del oxígeno) que indican acerca de la cinética de las reacciones que

controlan el proceso de corrosión, en teoría, la variación potencial-densidad de corriente de ambas regiones debería ser lineal, pero hay desviaciones en las proximidades de  $E_{corr}$ . Sin embargo, ambas curvas poseen regiones en las que se cumple con una linealidad entre el potencial y el logaritmo de la densidad de corriente, las cuales son denominadas regiones de Tafel (Figura 7). Así mismo las regiones de Tafel permiten evaluar la corriente de corrosión ( $i_{corr}$ ), empleando el método de extrapolación de Tafel [12].

## 2.5 Inhibidores de la corrosión

Entre los diferentes métodos de prevención y/o control de la corrosión destacan los inhibidores de corrosión, se constituyen como compuestos químicos diseñados con el propósito de prevenir o disminuir el proceso corrosivo en materiales de naturaleza metálica. Estas sustancias se incorporan en bajas concentraciones, formando una capa protectora que recubre la superficie del metal, impidiendo la interacción directa con elementos corrosivos tales como el oxígeno o compuestos químicos agresivos. Su función primordial consiste en preservar la integridad estructural de los materiales, prolongando así su vida útil al mitigar los efectos perjudiciales de la corrosión [5, 6].

La opción del inhibidor a utilizar y la cantidad varían en función del entorno, el material metálico, la duración deseada de protección y la temperatura prevista. La temperatura máxima desempeña un rol crucial en la selección del inhibidor, ya que algunos componentes pueden ser sensibles a la descomposición térmica y perder su capacidad de inhibir [20].

### **2.5.1 Tipos de inhibidores**

#### **2.5.2 Inhibidores anódicos o de pasivación:**

Estos inhibidores funcionan al formar una capa protectora sobre la superficie del metal, que evita que los iones metálicos se disuelvan en el medio corrosivo.

Cuando se introduce un inhibidor anódico, se observa un desplazamiento del potencial hacia valores más positivos. Este fenómeno indica una mayor resistencia del metal a la corrosión, ya que la formación de una capa protectora impide la disolución de iones metálicos en el medio corrosivo [5, 18].

#### **2.5.3 Inhibidores catódicos:**

Los inhibidores catódicos funcionan al proporcionar electrones al metal, lo que reduce la velocidad de reacción catódica y evita la corrosión.

Al utilizar un inhibidor catódico, se observa un desplazamiento del potencial de corrosión hacia valores más negativos. Esta acción sugiere que el inhibidor proporciona electrones al metal, reduciendo así la velocidad de la reacción catódica y protegiendo efectivamente contra la corrosión [5].

#### **2.5.4 Inhibidores mixtos**

Estos tipos de inhibidores tienden actuar en ambas zonas catódicas y anódicas, retrasando el proceso de la corrosión [21]. La observación de la variación del potencial de equilibrio del metal al adicionar un inhibidor al sistema es crucial para comprender su acción en la protección contra la corrosión.

Por lo tanto, la observación de la variación del potencial de equilibrio del metal es una herramienta invaluable para entender el mecanismo de acción de los inhibidores y seleccionar el más adecuado para una aplicación específica.

### **2.5.5 Inhibidores sintéticos**

Este tipo de inhibidores se dividen en dos tipos:

*Inhibidores inorgánicos* son compuestos que actúan impidiendo la reacción anódica en el proceso de la velocidad de corrosión del material metálico. Algunos comunes son los fosfatos, sales de cromatos y molibdatos [22].

*Inhibidores orgánicos* son compuestos químicos derivados de productos sintéticos. Actúan formando una capa protectora sobre la superficie del metal, evitando el contacto con el medio corrosivo, llevando a cabo mecanismo de inhibición anódica, catódica y mixta. Los inhibidores orgánicos más comunes contienen elementos como sulfatos de sodio, fosfonatos, nitrógeno, alcoholes acetilénicos, aldehídos aromáticos, aminas, amidas, nitrilos, sales de iminio, entre otros, sin embargo, a pesar de su eficacia en el control del mecanismo de la corrosión, la mayoría de los inhibidores sintéticos además de ser costosos resultaron ser peligroso para los seres vivos y el medio ambiente debido a su alta toxicidad [22].

Debido al riesgo que ocasionan los inhibidores orgánicos sintéticos, se generó la necesidad del desarrollo de inhibidores de la corrosión que fueran amigables con el medio ambiente. A causa ha surgido el uso de fuentes naturales como frutas, semillas, condimentos, hojas y raíces [23].

### **2.5.6 Inhibidores naturales**

Los inhibidores naturales a partir de extractos naturales han demostrado su disponibilidad y la posibilidad de ser más respetuosos con el medio ambiente, además de su bajo costo y actualmente existen una cantidad de ellos procedentes de plantas y frutas [24].

La investigación ha demostrado que los productos extraídos de fuentes naturales y algunos compuestos no tóxicos pueden contener una variedad de compuestos químicos naturales que pueden interferir en el potencial y así retardar la velocidad de la corrosión formando una capa pasiva protectora [25].

Asimismo, se han ido descubriendo un gran número de sustancias y de especies vegetales con acción antioxidante, se ha reportado que contienen elementos como flavonoides, polifenoles, estilbenos, antocianinas, entre otros, los cuales poseen una estructura química que le puede otorgar la capacidad de reaccionar con un radical libre, de modo que, desde la perspectiva de la química, un antioxidante es una sustancia que impide o retrasa la oxidación de otra, comportándose como agente reductor [26].

Varias investigaciones han reportado el uso de extractos naturales, J. F. Rodríguez et al [27] reportan el comportamiento de la cascara de sandia (*Citrullus lanatus*) como inhibidor de la corrosión hacia el acero estructural A36 sometido en un medio ácido y salino, indicando una eficiencia de inhibición del 74% y 94% respectivamente.

En su investigación A. Mandurajo Ruiz et al [28] evaluaron el comportamiento del extracto (*Opuntia Ficus-Indica*) como posible inhibidor de corrosión en acero al carbono tipo AISI 1018 sometido en un medio ácido, mostrando una mayor eficiencia de inhibición del 84%.

En el estado del arte del estudio de inhibidores verdes de la corrosión se han evaluado diversas fuentes naturales para la protección de acero al carbono AISI 1018 en medio ácido las cuales se presentan en la Tabla 1.

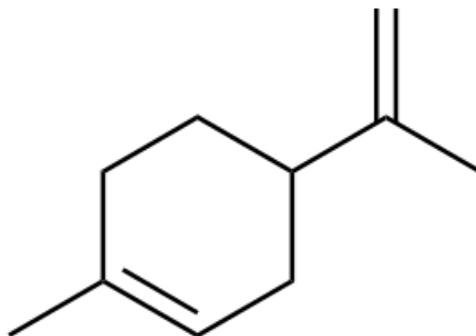
## **2.6 *Citrus latifolia* (Limón)**

*Citrus latifolia* (Figura 8) conocido también como limón Tahiti o limón Persa, es el cultivo de mayor demanda en México [29]. Es un árbol que llega a alcanzar alturas de 7 metros, sus hojas color verde tienen una fragancia característica de limón, presenta entre cuatro y cinco ciclos de brotación vegetativa que son acompañadas de flores [30]. Diferentes fuentes han reportado que *C. latifolia* presenta actividad antioxidante [31, 32], el componente principal es el limoneno (Figura 9).

**Tabla 1.** Especies naturales inhibidoras de la corrosión para el acero en medio ácido

Especie	Familia	Metal	Medio	%IE	Referencia
<i>Spirulina platensis</i> (Espirulina)	Oscillatoriaceae	Acero dulce	HCl y H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	66.57 y 81.99	[33] Kamal y Sethuraman, 2012
<i>Eucalyptus globulus</i> (Eucalipto)	Mirtaceae	Acero dulce	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	81	[34] Rekkab et al., 2012
<i>Cocos nucifera</i> (Coco)	Palmáceas	Acero dulce	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	--	[35] Umoren et al., 2014
<i>Prosopis laevigata</i> (Mezquite)	Fabaceae	Acero dulce	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	40	[36] Ramírez Arteaga et al., 2013
<i>Prunus pérsica</i> (Durazno)	Rosaceae	Acero al carbono	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	97	[37] Rodríguez Torres et al., 2018
<i>Bambusoideae</i> (Bambu)	Poaceae	Acero laminado	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y HCl	79	[38] Xianghong Li et al., 2012
<i>Melaleuca</i> (Árbol de té)	Myrtaceae	Acero al carbono	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98.99	[39] Gapsari Femiana et al., 2024
<i>Malus domestica</i> (Manzana)	Rosaceae	Acero al carbono	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	41	[40] Gómez Chacón, 2016

**Fig. 8** *Citrus latifolia*Tomado de <https://www.gardenia.net/plant/citrus-latifolia>



**Fig. 9** Limoneno

### **2.7 *Eysenhardtia polystachya* (Palo azul).**

*Eysenhardtia polystachya* (Figura 10) es un arbusto con hojas alternas, pinnada-compuestas: flores pequeñas, blancas, aromáticas, perteneciente a la familia de las leguminosas, es conocido como palo azul y tiene un amplio uso para el tratamiento de la nefrolitiasis, como depurativo de la sangre, diurético y antirreumático y trastornos de la vejiga que se desarrollan durante la diabetes. Los estudios fitoquímicos de *E. polystachya* indican una actividad antioxidante que puede atribuirse a la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides, un compuesto identificado es un flavan-3-oles [41, 42].



**Fig. 10** *Eysenhardtia polystachya*

Tomado de <https://mexico.inaturalist.org/taxa/139171-Eysenhardtia-polystachya>

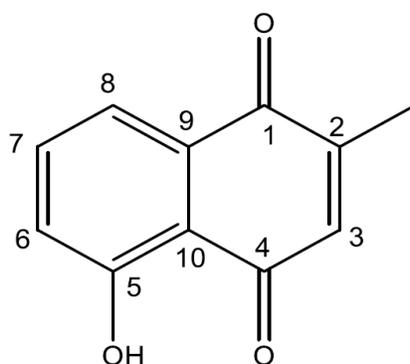
## 2.8 *Plumbago auriculata* (Jazmín azul)

*Plumbago auriculata* (Figura 11) es un arbusto cubierto de grupos de bellas flores de color azul pálido, esta especie vegetal es frecuentemente empleada como planta de ornato. Sin embargo, puede llegar a medir hasta 3 m de altura. Algunos autores han mostrado que *P. auriculata* tiene actividad antioxidante y uno de sus metabolitos secundarios aislado e identificado químicamente es la Plumbagina (Figura 12), y a la cual se le atribuyen las propiedades medicinales contra el cáncer, infecciones por hongos y bacterias, así como contra la inflamación y antioxidante [43].



**Fig. 11** *Plumbago auriculata*

Modificado de <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/78631-Plumbago-auriculata>



**Fig. 12** Plumbagina

## CAPITULO 3. Desarrollo Experimental

### 3.1 Composición química del material metálico

El material metálico utilizado en este proyecto de investigación fue el acero al carbono AISI 1018, su composición química se presenta en la Tabla 2 [44].

**Tabla 2.** Composición química del acero al carbono AISI 1018

<b>C</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>
<b>0.15-0.20%</b>	<b>&gt;90%</b>	<b>0.60-0.90%</b>	<b>&lt;0.04%</b>	<b>&lt;0.05%</b>

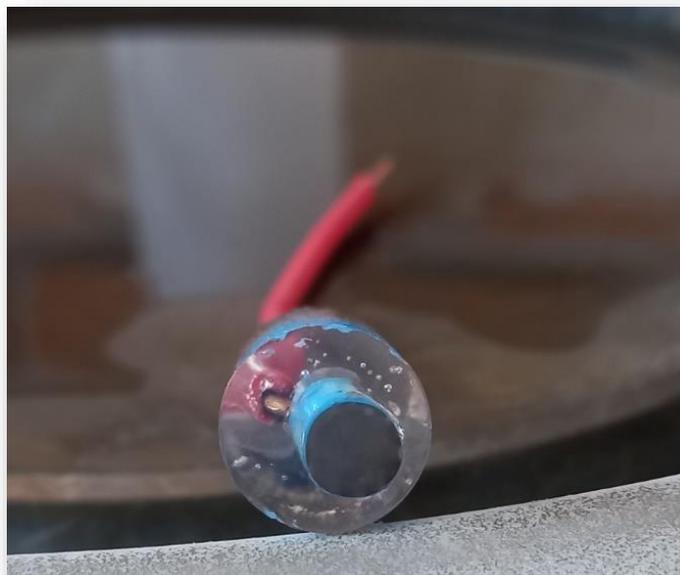
### 3.2 Solución agresiva (electrólito)

El agente corrosivo que se utilizó fue ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), en una concentración 0.5 M.

### 3.3 Electrodo de trabajo

Para las pruebas electroquímicas el material metálico se preparó como a continuación se describe: una barra cilíndrica de acero al carbono AISI 1018 se cortó en fragmentos de 3 cm de longitud, cada fragmento se denominó "probeta". Cada probeta metálica se ensambló a un cable conector que permitiría un contacto eléctrico, finalmente se capsularon en resina epóxica de cristal con un área de exposición de  $0.28\text{ cm}^2$ .

Antes de cada prueba las probetas se pulieron con papel de lija húmedo hasta grado 600 con el objetivo de obtener una superficie homogénea, después fueron lavadas con agua destilada y secados para su posterior uso. En la figura 13 se muestra un ejemplo del electrodo de trabajo.



**Fig. 13** Electrodo de trabajo de acero al carbono AISI 1018

### **3.4 Inhibidores verdes de la corrosión**

Las especies vegetales seleccionadas para evaluar su actividad como inhibidores de la corrosión fueron: *Citrus latifolia*, *Eysenhardtia polystachya* y *Plumbago auriculata*.

#### **3.4.1 Obtención de los extractos naturales**

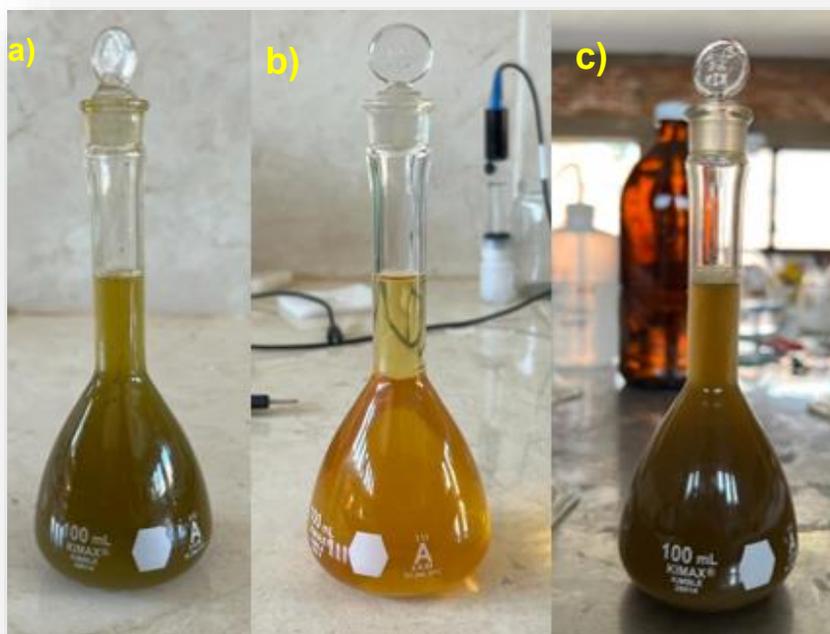
Partes aéreas de hojas y tallos de las plantas se secaron y trituraron, procesándose vía maceración para recuperar el contenido químico de cada especie vegetal.

Cada tejido vegetal fue colocado individualmente y por separado en matraces Erlenmeyer de 500 mL, se agregó metanol hasta cubrir el material vegetal en su totalidad. Los matraces se dejaron en reposo por 72 h en condiciones de oscuridad y una temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

Posteriormente el solvente fue filtrado y bajo el uso de un rota-evaporador fue separado el extracto del disolvente. El disolvente recuperado fue colocado nuevamente de acuerdo con su origen, por ejemplo: el solvente del proveniente del tratamiento de las hojas de *C. latifolia* volvió a colocarse en estas. Esta acción se repitió por dos ocasiones más y los tres residuos de cada tejido vegetal fueron reunidos en un mismo contenedor y estos se dejaron por 72 h para que el exceso de disolvente se evapore. Finalmente se pesó cada uno de los extractos orgánicos obtenidos por separado y se etiquetó cada frasco.

### 3.4.2 Obtención de los inhibidores verdes (solución stock)

Se pesó 0.2 g de cada uno de los extractos naturales mencionados anteriormente, se disolvió el extracto con 1 mL de metanol, finalmente en un matraz de 100 mL se agregó el extracto disuelto y se aforó con agua destilada, como se muestra en la Figura 14.



**Fig. 14** Solución stock (a) *C. Latifolia* (b) *E. polystachya* (c) *P. auriculata*

### 3.5 Celda electroquímica

Fue preparada una celda electroquímica convencional de tres electrodos (Figura 15): el electrodo de trabajo fue de acero al carbono AISI 1018, el electrodo de referencia fue de Ag/AgCl y como electrodo auxiliar se usó una barra de grafito. Los electrodos se sumergieron en la celda electroquímica conteniendo electrólito, con y sin inhibidor, alrededor de 5 minutos para alcanzar un estado de estabilización y posteriormente obtener las curvas de polarización correspondientes.

Para estimar la actividad inhibitoria amigable de la corrosión mediante la técnica electroquímica de curvas de polarización potenciodinámica, los inhibidores verdes fueron evaluados inicialmente en dos concentraciones a 200 y 400 ppm. Cada concentración se realizó por triplicado. De acuerdo con el resultado para cada inhibidor, éste será evaluado en concentraciones menores, mayores o entre el intervalo establecido de concentración.



**Fig. 15** Celda electroquímica

### 3.5.1 Curvas de polarización potenciodinámica (CPP)

La recopilación de datos de las curvas de polarización se realizó a través de un potenciostato Gill AC como se muestra en la Figura 16. El equipo fue programado a una velocidad de barrido de 100 mV/min, en un intervalo de -250 mV a +250 mV y con una longitud de ciclo de 5 minutos para cada prueba, obteniendo como resultado las curvas de polarización para su posterior análisis.

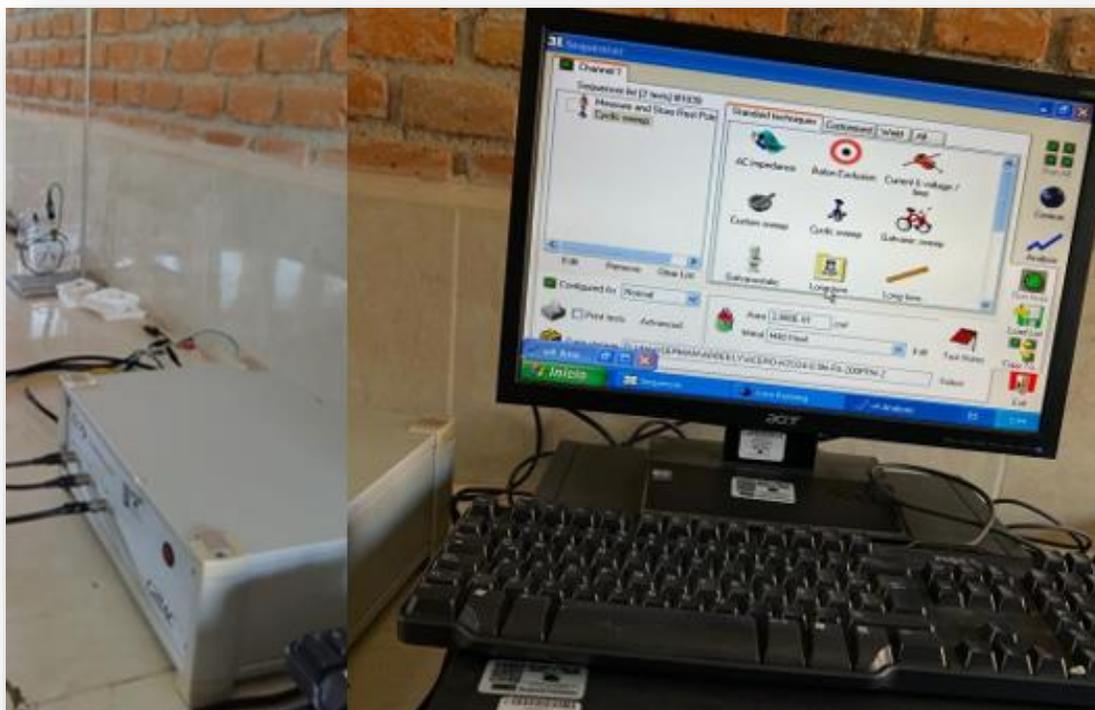
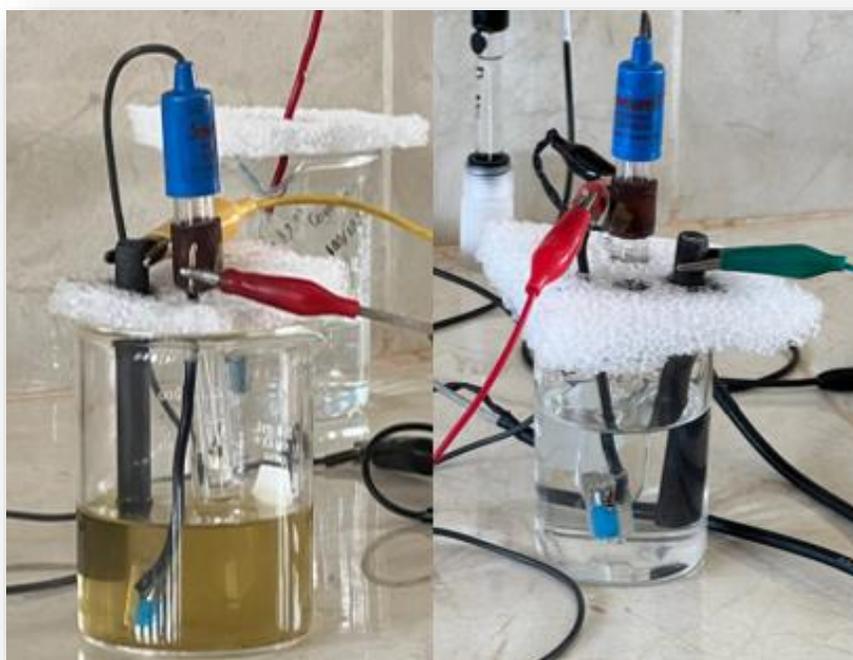


Fig. 16 Potenciostato Gill AC

### 3.5.2 Curvas de polarización potenciodinámica al tiempo

Una vez que se realizó el análisis de las curvas de polarización obtenidas de los extractos metanólicos de *C. Latifolia*, *E. polystachya* y *P. auriculata* en el medio agresivo en acero al carbono AISI 1018. Se decidió seleccionar el extracto verde que mejor actividad inhibitoria de la corrosión mostrara, para continuar con un estudio más detallado.

Empleando las mismas condiciones mencionadas anteriormente para la celda electroquímica, se realizaron pruebas al tiempo en un rango de 1, 2, 4, 6 y 12 horas utilizando la misma técnica electroquímica, así mismo se hizo la evaluación con y sin la presencia del inhibidor. Las probetas de trabajo fueron sumergidas en la solución durante el tiempo mencionado anteriormente, una vez transcurrido se obtuvo la adquisición de datos con el potenciostato Gill AC para la obtención de las curvas para su posterior análisis. La celda electroquímica construida se muestra en la Figura 17.



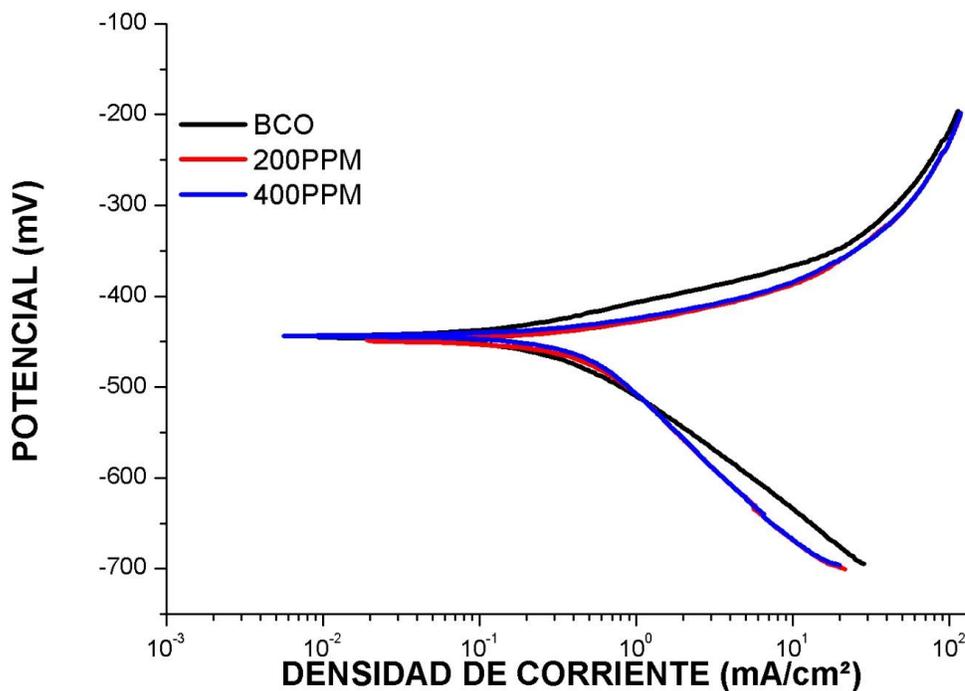
**Fig. 17** Celda electroquímica con y sin presencia de inhibidor

## CAPITULO 4. Resultados y Discusión

### 4.1 Evaluación de curvas de polarización potenciodinámica del acero 1018

#### 4.1.1 Extracto de *C. latifolia*

En la Figura 18 se muestran las curvas de polarización del acero al carbono 1018 inmerso en ácido sulfúrico, sin y con la presencia del inhibidor de extracto metanólico de *C. latifolia*, en las diferentes concentraciones.



**Fig. 18.** CPP en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0.5M sin y con la presencia del inhibidor de *C. latifolia*

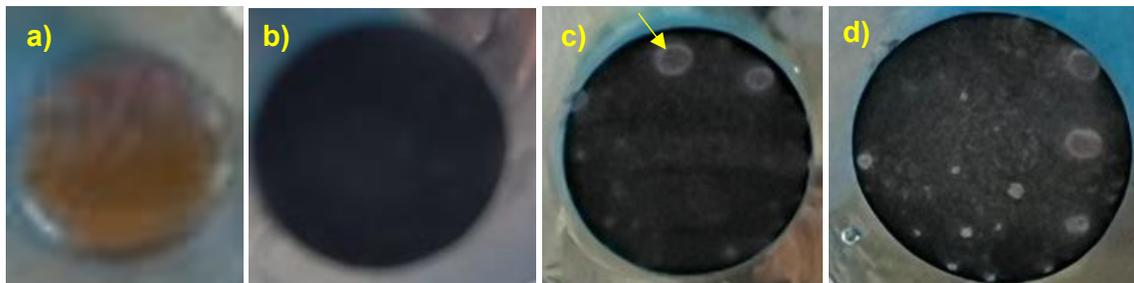
Con la adición del inhibidor en el rango potencial utilizado el cambio en las ramas catódicas y anódicas para ambas concentraciones resultó no significativo. Comparando el comportamiento de las CPP de la adición del inhibidor con el blanco, se aprecian ligeros cambios, lo que indica que la adición del inhibidor no reduce la tasa de corrosión del acero al carbono 1018 en el medio ácido. Lo que se corroboró con el cálculo de la eficiencia de inhibición empleando la ecuación 3, se produjeron resultados con valores negativos. El análisis del desplazamiento del potencial de

corrosión ( $E_{corr}$ ) mostró valores más negativos en ambas concentraciones con respecto a la prueba sin la presencia del extracto, sin embargo, no fueron significativos, como se puede apreciar en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Parámetros electroquímicos de *C. latifolia* obtenidos con CCP

<i>C. latifolia</i> (ppm)	$i_{corr}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$E_{corr}$ (mV)	$\beta_c$ (mV/década)	$\beta_a$ (mV/década)	%IE
0	0.299	-435.645	-131.816	-46.966	
200	0.472	-458.381	-141.907	-57.225	-58
400	0.409	-451.734	-138.149	-55.491	-37

En la Figura 19 se puede observar la comparación de las probetas de trabajo de acero 1018 sumergidas en medio ácido sin y con la presencia del inhibidor de *C. latifolia*. En la superficie de la probeta (Figura 19c) posterior a la inmersión en el medio ácido con inhibidor natural, se aprecia la formación de una película que se atribuye a los compuestos presentes en el inhibidor (ver flecha color amarillo, Figura 19c). Las zonas claras en estas superficies corresponden a la desorción de la delgada capa de residuos de corrosión formada.

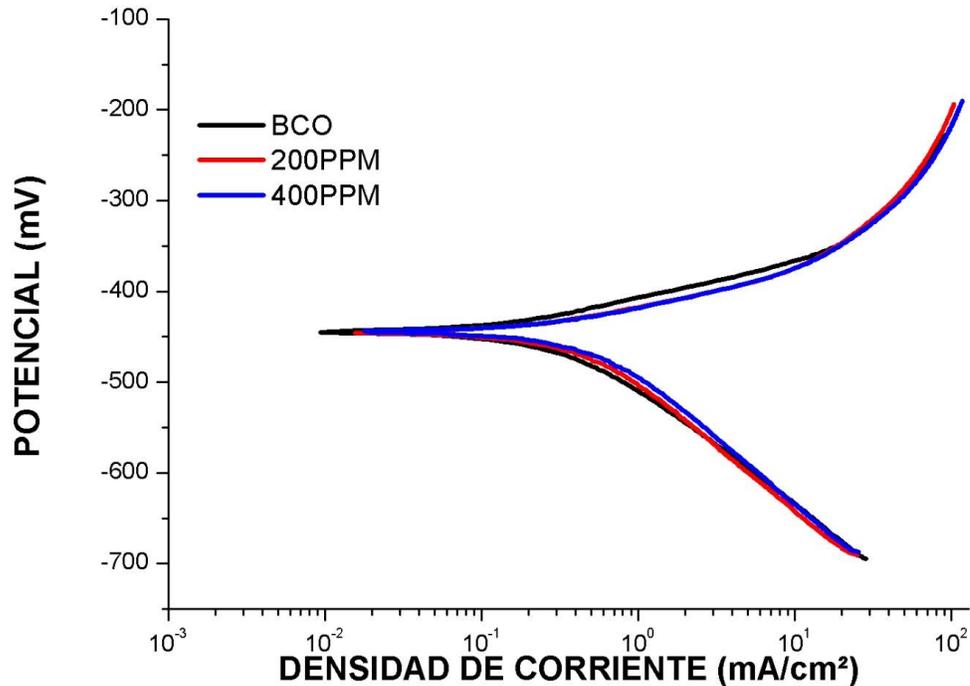


**Fig. 19** Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de *C. latifolia* en  $H_2SO_4$  a diferentes concentraciones

(a) Superficie de la probeta grado 600; (b) Superficie de la probeta posterior a la inmersión sin inhibidor; (c) y (d) Superficie de la probeta posterior a la evaluación del inhibidor natural 200 y 400 ppm respectivamente.

#### 4.1.2 Extracto de *E. polystachya*

En la Figura 20 se muestran las curvas de polarización del acero al carbono 1018 inmerso en ácido sulfúrico, sin y con la presencia del inhibidor de extracto metanólico de *E. polystachya*, en diferentes concentraciones.



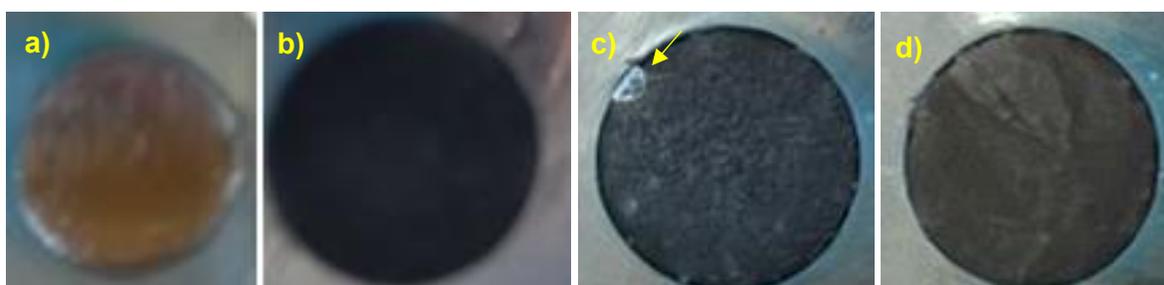
**Fig. 20** Curvas de polarización potenciodinámicas en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0.5M sin y con la presencia del inhibidor de *E. polystachya*

Como se puede apreciar en la Figura 20 la adición de dos concentraciones diferentes del inhibidor natural dentro de la celda de trabajo no mostró cambios significativos en las ramas anódica y catódica de las curvas de polarización. Por lo tanto, las pendientes fueron muy semejantes arrojando valores de  $i_{corr}$  muy cercanos, resultando por lo tanto una muy baja eficacia de inhibición Tabla 4.

**Tabla 4.** Parámetros electroquímicos de *E. polystachya* obtenidos con CPP

<i>E. polystachya</i> (ppm)	$i_{corr}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$E_{corr}$ (mV)	$\beta_c$ (mV/década)	$\beta_a$ (mV/década)	%IE
0	0.299	-435.645	-131.816	-46.966	
200	0.384	-442.846	-141.835	-60.429	-29
400	0.474	-441.907	-144.966	-58.550	-59

En la Figura 21 se puede observar la comparación de las probetas de trabajo de acero al carbono 1018 sumergidas en medio ácido sin y con la presencia del inhibidor de *E. polystachya*. En la superficie de las probetas donde se encuentra la presencia del inhibidor Figura 21c) se muestra una formación muy mínima de una película que puede atribuirse a los compuestos presentes en el inhibidor, sin embargo, en la superficie de la Figura 21d) no se mostró la formación de película a pesar de que la concentración fue mayor, demostrando que el inhibidor de *E. polystachya* no actúa como protección contra la corrosión del acero al carbono 1018.

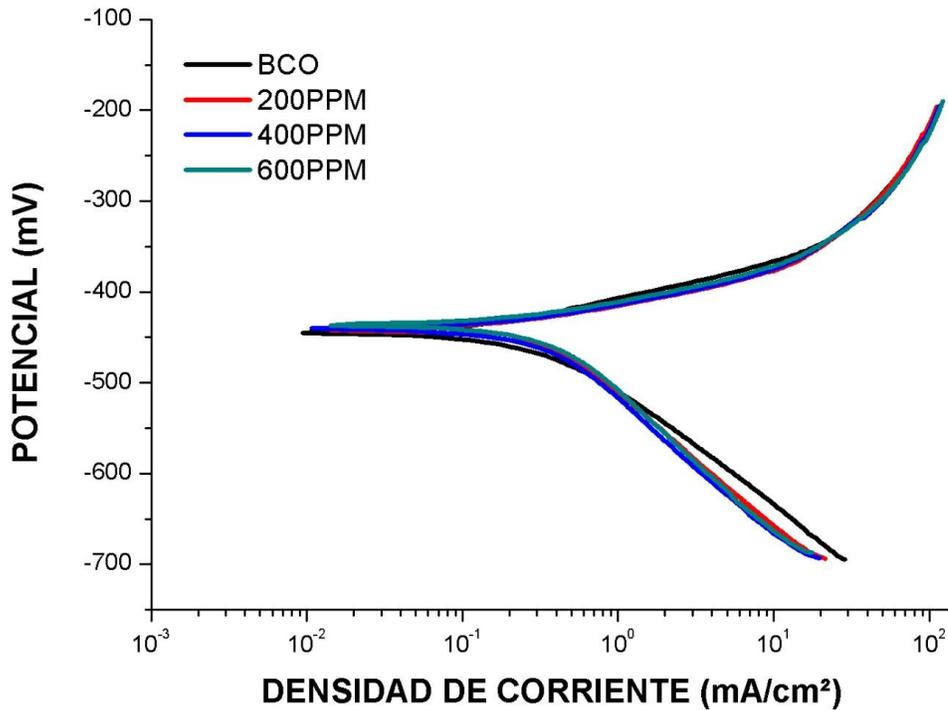


**Fig. 21** Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de *E. polystachya* en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a diferentes concentraciones

(a) Superficie de la probeta grado 600; (b) Superficie de la probeta posterior a la inmersión sin inhibidor; (c) y (d) Superficie de la probeta posterior a la evaluación del inhibidor natural 200 y 400 ppm respectivamente.

#### 4.1.3 Extracto de *P. auriculata*

En la Figura 22 se muestran las curvas de polarización del acero al carbono 1018 inmerso en ácido sulfúrico, sin y con la presencia del inhibidor de extracto metanólico de *P. auriculata*, en las tres diferentes concentraciones.



**Fig. 22** CPP en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0.5M sin y con la presencia del inhibidor de *P. auriculata*

Las CPP para el inhibidor de *P. auriculata* así como para el blanco, se observa un comportamiento similar en las ramas anódicas, sin embargo, en la ramas catódicas se observan ligeros cambios entre las ramas con inhibidor y sin inhibidor. Sin embargo, en la región de Tafel no se apreciaron cambios significativos con la adición del inhibidor. Sin embargo, se distinguió una disminución de la densidad de corrosión ( $i_{corr}$ ) más significativa en la concentración de 400 ppm, indicando una eficiencia del 28.43% Tabla 5, por lo tanto, se puede deducir que el inhibidor de alguna manera está modificando la rapidez de la corrosión en dicha concentración. Por otra parte, en la concentración de 600 ppm la eficiencia de inhibición no mostró una eficiencia positiva indicando que su adición reduce la tasa de corrosión del acero, lo cual puede atribuirse a que los extractos son mezclas de varios

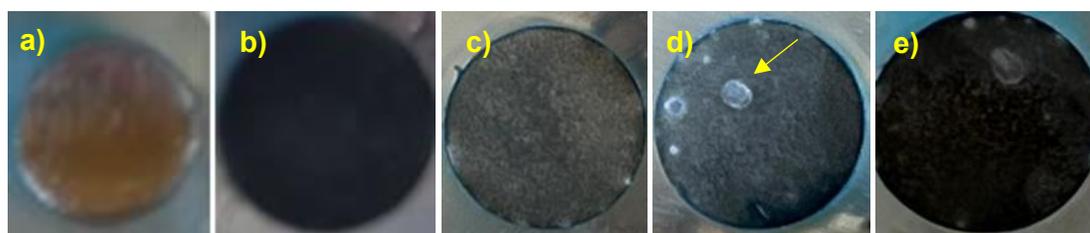
compuestos que pudieron actuar de distinta manera a dicha concentración. Asimismo, el comportamiento de las curvas indica un inhibidor de tipo catódico.

**Tabla 5.** Parámetros electroquímicos de *P. auriculata* obtenidos con CPP

<i>P. auriculata</i> (ppm)	$i_{corr}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$\beta_c$ (mV/década)	$\beta_a$ (mV/década)	%IE
0	0.299	-131.816	-46.966	
200	0.306	-145.087	-36.706	-2.34
400	0.214	-146.243	-35.260	28.43
600	0.317	-137.452	-51.662	-6.02

De acuerdo con la Figura 23 se puede observar la comparación de las probetas de trabajo de acero al carbono 1018 que fueron sumergidas en medio ácido sin emplear y cuando fue empleado el inhibidor de *P. auriculata*. En la superficie de las probetas donde se encuentra la presencia del inhibidor Figura 23d) se aprecia la formación de una película que puede atribuirse a la combinación de óxidos metálicos y compuestos propios del inhibidor.

Así mismo es posible distinguir menores defectos superficiales en comparación con resultados obtenidos por los extractos de *E. polystachya* Figura 21c) y *C. latifolia* Figura 19c).



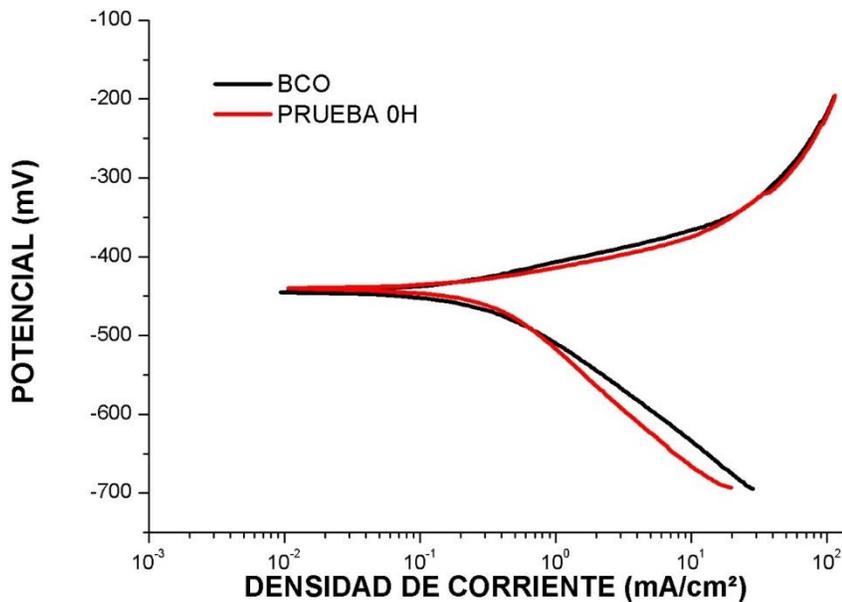
**Fig. 23** Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de *P. auriculata* en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a diferentes concentraciones

- (a) Superficie de la probeta grado 600; (b) Superficie de la probeta posterior a la inmersión sin inhibidor; (c), (d) y (e) Superficie de la probeta posterior a la evaluación del inhibidor natural 200, 400 y 600 ppm respectivamente.

## 4.2 Evaluación de CPP de *P. auriculata* en el tiempo

De acuerdo con los resultados arrojados en la eficiencia de inhibición a 400 ppm resultó interesante explorar el comportamiento de la actividad inhibitoria de *P. auriculata* en intervalos de tiempo (0, 1, 2, 4, 6 y 12 horas). Empleando el mismo sistema de celda y técnica electroquímica.

En la Figura 24 se presenta el primer intervalo de tiempo (corresponde al testigo y al uso del inhibidor al tiempo de inmersión).

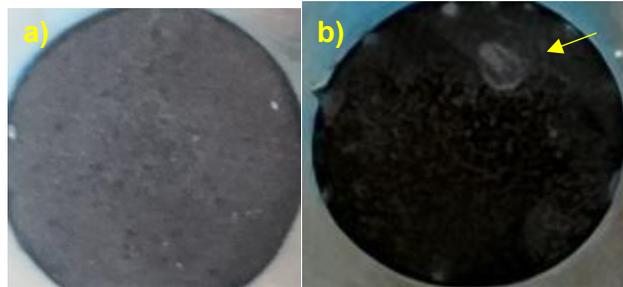


**Fig. 24** CPP en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 0.5M sin y con la presencia del inhibidor de *P. auriculata*

En la Figura 24 se puede apreciar que el inhibidor produce un ligero cambio en la rama catódica con respecto a cuando no se usa el inhibidor. Con este resultado podemos observar una reproducibilidad en la Figura 22. El valor de la  $i_{corr}$  obtenida fue similar al experimento previamente obtenido (Tabla 5).

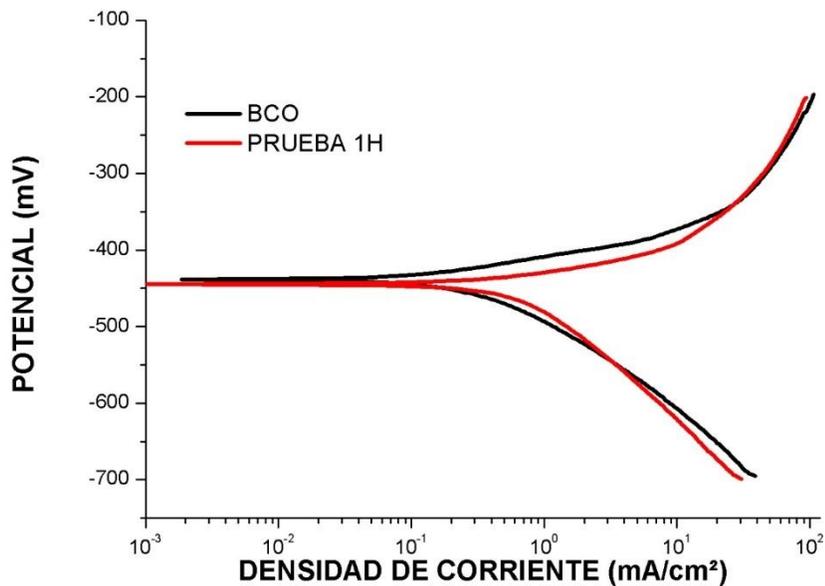
En la Figura 25 se puede observar el comportamiento de las superficies de las probetas de acero 1018 sumergidas en ácido con y sin la presencia del inhibidor, en la Figura 25b) se puede apreciar la formación de una película protectora, la cual

se puede atribuir a la presencia de óxidos metálicos y compuestos químicos, en comparación a la superficie de la Figura 25a).



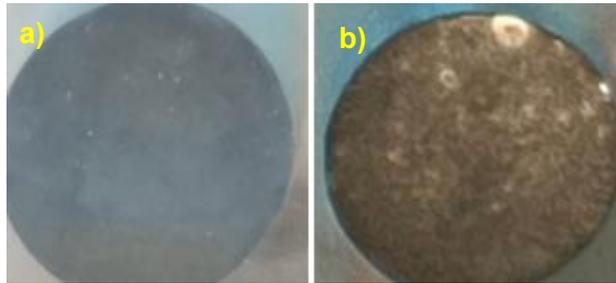
**Fig. 25** Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de *P. auriculata* en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 0.5 M  
(a) Superficie de la probeta posterior a la inmersión  
(b) Superficie de la probeta posterior a la evaluación del inhibidor natural a 400 ppm

El segundo intervalo de tiempo que se midió a los 60 minutos se muestra en la Figura 26, en el cual se observa que la pendiente de la rama anódica el potencial se desplazó hacia valores más negativos dando como resultado una  $i_{corr}$  que produjo por aplicación de fórmula en una menor eficiencia de inhibición.



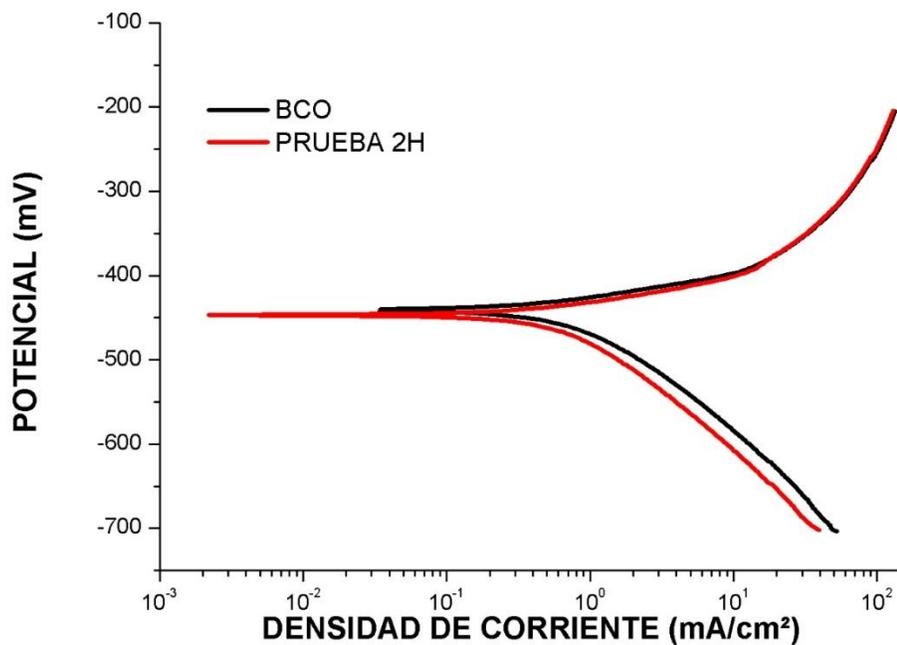
**Fig. 26** CPP en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 0.5M sin y con inhibidor de *P. auriculata* al tiempo de 1 h

El efecto de que ocurriera un porcentaje de menor inhibición se corroboró al apreciar la superficie metálica, la cual muestra un mayor daño (Figura 27).



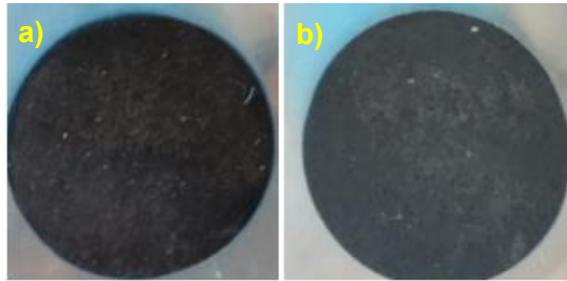
**Fig. 27** Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de *P. auriculata* en  $H_2SO_4$  a 0.5 M al tiempo de una hora  
 (a) Superficie de la probeta posterior a la inmersión sin inhibidor  
 (b) Superficie de la probeta posterior a la evaluación de una hora del inhibidor natural a 400 ppm

El tercer intervalo de tiempo fue medido a las dos horas (Figura 28) y dio como resultado un ligero cambio en la rama catódica y reduciendo el valor de  $i_{corr}$ , generando un pequeño incremento en el porcentaje de inhibición con respecto a la medición a los 60 minutos.



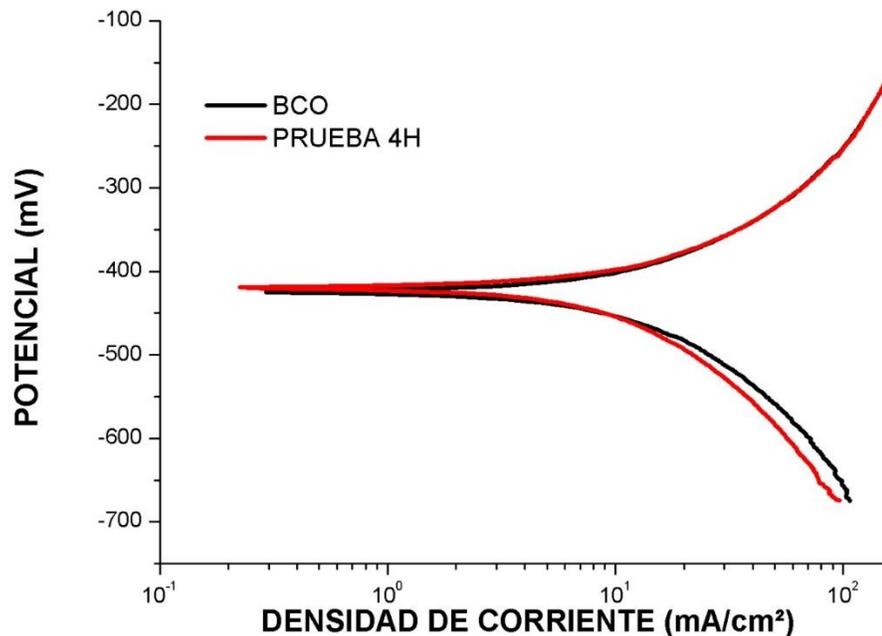
**Fig. 28** CPP en  $H_2SO_4$  a 0.5M sin y con inhibidor de *P. auriculata* al tiempo de 2 h

Sin embargo, la superficie de la probeta metálica físicamente no mostró una protección, y se generó corrosión localizada en el material expuesto (Figura 29).



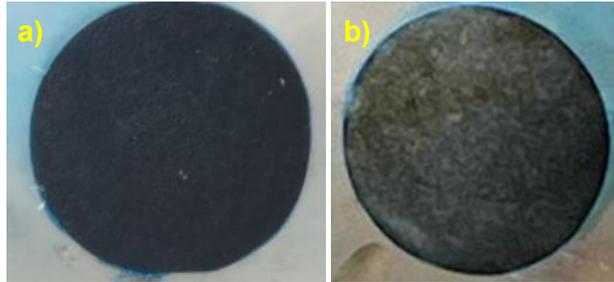
**Fig. 29** Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de *P. auriculata* en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 0.5 M al tiempo de dos horas  
 (a) Superficie de la probeta posterior a la inmersión sin inhibidor  
 (b) Superficie de la probeta posterior a la evaluación de dos horas del inhibidor natural a 400 ppm

El cuarto intervalo de tiempo que fue medido a las cuatro horas (Figura 30), mostrándose una modificación solo en la rama catódica, el  $i_{corr}$  de esta prueba electroquímica permitió obtener un porcentaje de inhibición incrementándose al doble con respecto a la prueba de dos horas.



**Fig. 30** CPP en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 0.5M sin y con inhibidor de *P. auriculata* al tiempo de 4 h

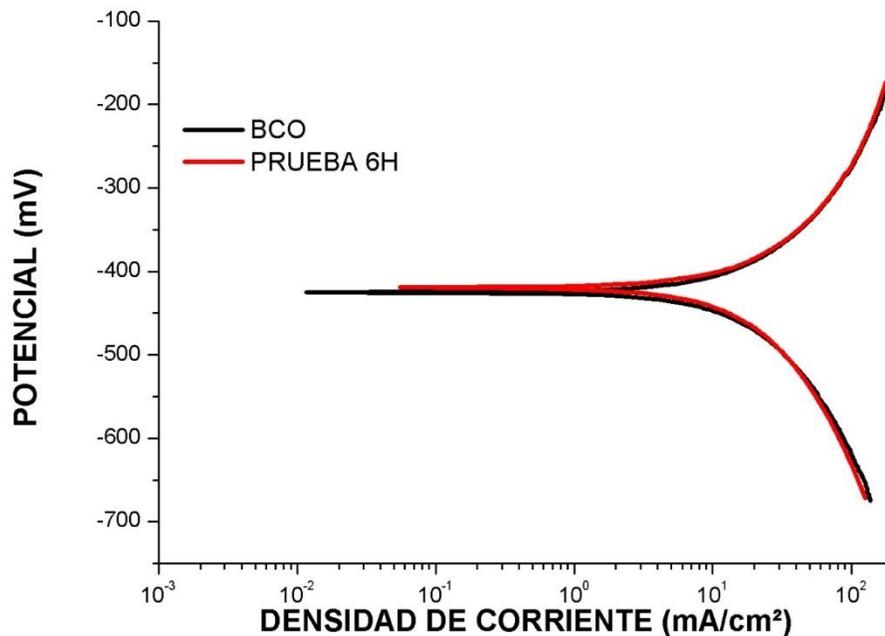
El efecto de la protección se puede observar con la imagen de la superficie de la probeta en la cual se aprecia una mayor área en la cual se formó la película de una mezcla de productos de corrosión y compuestos naturales del extracto (Figura 30).



**Fig. 31** Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de *P. auriculata* en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 0.5 M al tiempo de cuatro horas.

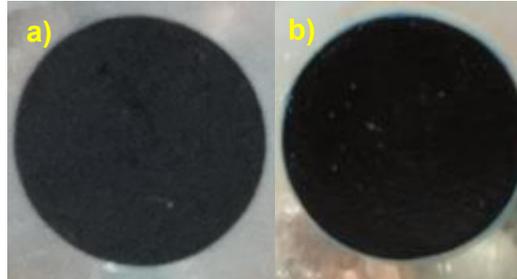
(a) Superficie de la probeta posterior a la inmersión. (b) Superficie de la probeta posterior a la evaluación de cuatro horas del inhibidor natural a 400 ppm

A las seis horas se realizó la siguiente medición, las ramas anódicas y catódicas no mostraron cambios significativos entre la medición sin inhibidor y con inhibidor (Figura 32).



**Fig. 32** CPP en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 0.5M sin y con inhibidor de *P. auriculata* al tiempo de 6 h

La observación de la superficie metálica permite distinguir algunas pequeñas picaduras debido a ello se puede asociar el nulo porcentaje de inhibición que se obtuvo en la prueba electroquímica (Figura 33).



**Fig 33** Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de *P. auriculata* en  $H_2SO_4$  a 0.5 M al tiempo de seis horas  
(a) Superficie de la probeta posterior a la inmersión  
(b) Superficie de la probeta posterior a la evaluación de seis horas del inhibidor natural a 400 ppm

El último intervalo de tiempo establecido para la valoración de la eficiencia de inhibición de *P. auriculata* fue realizado a las doce horas. Para este caso se observa una modificación en la rama catódica lo cual produjo una  $i_{corr}$  que a su vez permitió por fórmula estimar que se alcanzó un porcentaje de inhibición del 16%, así mismo de acuerdo con la literatura el desplazamiento en la rama catódica indica ser un inhibidor de tipo catódico (Figura 34 y Tabla 6).

Si bien existió un porcentaje positivo de inhibición a las doce horas, el que la probeta metálica permanezca durante todo este tiempo inmersa en la celda electroquímica, y con base en las observaciones realizadas en los intervalos de tiempo anteriores a este tiempo permite distinguir que, la capa protectora que se formó en el intervalo de 2 y 4 horas con el tiempo se desprende causando que el proceso de protección vuelve a comenzar, por lo tanto, se requeriría tener un estudio de intervalo de tiempo cada 30 minutos para poder comprender la dinámica del proceso de inhibición. Así mismo la superficie metálica de la probeta a las doce horas de inmersión muestra alta porosidad lo que implica que si bien hubo inhibición se compromete la integridad de la superficie metálica la protección.

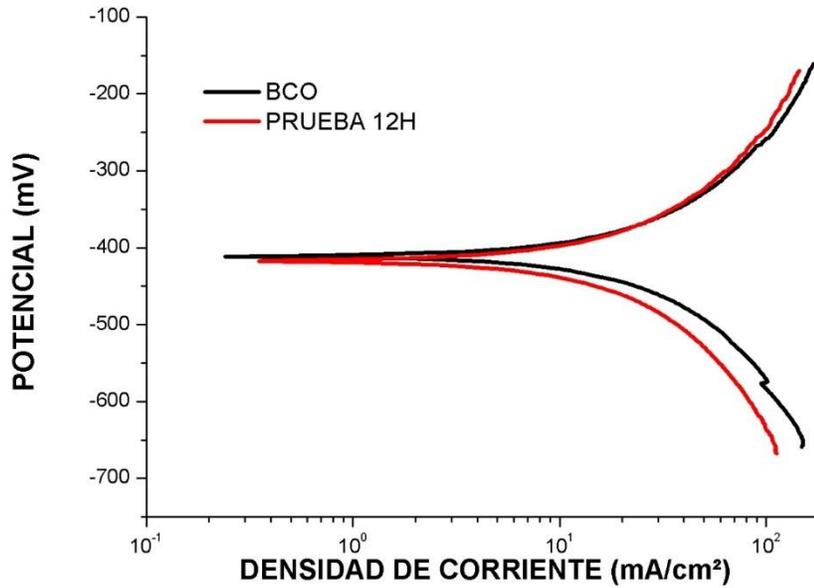


Fig. 34 CPP en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0.5M sin y con inhibidor de *P. auriculata* al tiempo de 12 h

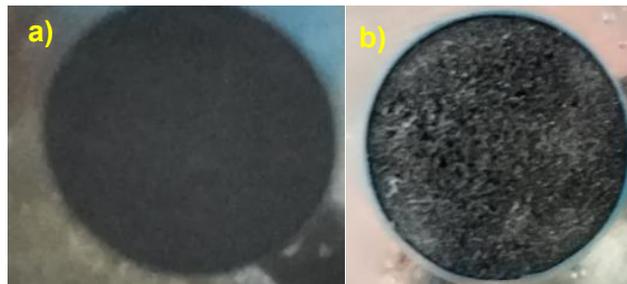


Fig. 35 Probetas de acero 1018 sin y con la presencia de *P. auriculata* en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0.5 M al tiempo de doce horas

- (a) Superficie de la probeta posterior a la inmersión sin inhibidor
- (b) Superficie de la probeta posterior a la evaluación de doce horas del inhibidor natural a 400 ppm

Tabla 6. Parámetros electroquímicos obtenidos con las CCP sin inhibidor

Solución agresiva (hr)	$i_{corr}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$E_{corr}$ (mV)	$b_c$ (mV/década)	$b_a$ (mV/década)
0	0.299	-435.645	-131.816	-46.966
1	0.679	-433.526	-132.659	-47.977
2	2.28	-487.283	-162.427	-99.422
4	13.251	-417.1724	-195.689	-142.148
6	17.156	-414.980	-187.861	-139.957
12	22.187	-396.507	-167.197	-142.775

**Tabla 7.** Parámetros electroquímicos obtenidos con CPP y *P. auriculata* (400 ppm)

<b><i>P. auriculata</i></b> <b>(hr)</b>	<b><math>i_{corr}</math></b> <b>(mA/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>E_{corr}</math></b> <b>(mV)</b>	<b><math>b_c</math></b> <b>(mV/década)</b>	<b><math>b_a</math>(mV/década)</b>	<b>%IE</b>
<b>0</b>	0.214	-449.789	-146.243	-35.260	28.43
<b>1</b>	1.28	-443.352	-160.694	-64.451	-89
<b>2</b>	2.11	-504.046	-152.023	-104.335	7
<b>4</b>	11.703	-425.939	-221.05	-139.017	12
<b>6</b>	17.456	-412.789	-206.96	-139.957	-2
<b>12</b>	18.581	-405.587	-212.596	-162.306	16

## Capítulo 5. Conclusiones

El presente trabajo mostró que los extractos metanólicos de *C. latifolia* y *E. polystachya* mediante la evaluación electroquímica en 0.5M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> no presentaron protección contra la corrosión en acero al carbono 1018, obteniendo valores negativos en la eficiencia de inhibición.

Por el contrario, el extracto de *P. auriculata* resultó tener una inhibición con el empleo de 400 ppm del 28.43%, a dicha concentración se realizó la evaluación electroquímica en el tiempo para poder observar el comportamiento del inhibidor, sin embargo, disminuyó la tasa de eficiencia de inhibición con respecto a la prueba a la inmersión.

Podría continuarse estudiando la actividad inhibitoria de *P. auriculata* empleando otros electrólitos, por ejemplo, medios neutros o alcalinos. Así mismo se podrían emplear otros materiales metálicos, por ejemplo, aluminio u otros aceros.

## Referencias

- [1] D.R. Askeland, P.P. Fulay & W. J. Wright. Ciencia e ingeniería de materiales. 6ta ed. Cengage Learning.
- [2] Aceros Levinson. ¿Qué es el acero? [En línea]. Disponible en: <https://www.aceroslevinson.com/>
- [3] Canacero, "Acero en cifras". [En línea]. Disponible en: <https://www.canacero.org.mx/>
- [4] Serviacero Especiales, "Hoja Técnica AISI 1018". Disponible en: [https://portal.serviacero.com/assets/webfiles/3/files/49\\_1018.pdf](https://portal.serviacero.com/assets/webfiles/3/files/49_1018.pdf)
- [5] J. A. Salazar Jiménez, "Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales," Tecnología en Marcha, vol. 28, no. 3, pp. 127-136, 2015.
- [6] A. Al-Amiery, W. N. R. W. Isahak, and W. K. Al-Azzaw, "Sustainable corrosion inhibitors: A key step towards environmentally responsible corrosion control," Ain Shams Engineering Journal, vol. 15, no. 5, 2024.
- [7] O. S. Shehata, L. A. Korshed, y A. Attia, "Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications," IntechOpen, 2018.
- [8] R.W. Revie & H. H. Uhlig. Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering. 4ta ed. Wiley Interscience [En línea]. Disponible en: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5955761/mod\\_resource/content/1/CORROSION\\_AND\\_CORROSION\\_CONTROL\\_An\\_Intro%20%20Revie%20and%20Uhlig.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5955761/mod_resource/content/1/CORROSION_AND_CORROSION_CONTROL_An_Intro%20%20Revie%20and%20Uhlig.pdf)
- [9] F. C. de León Gómez & D. J. Alcaraz. Manual básico de corrosión para ingenieros. Editum, 2004.
- [10] M. G. Fontana. Corrosion engineering. 3ra ed. New York, McGraw-Hill, 1987.

- [11] P. J. Maldonado, F. Corvo, E. Garcia, M. Chan & F. Aguirre, "Evaluación del extracto etanólico de semillas de *Mucuna pruriens* (picapica) como inhibidor de la corrosión del acero al carbono en medio ácido", Colección memorias de los congresos de la sociedad química de México.
- [12] A. Ugaz Lock y I. Díaz Tang. Principios de las técnicas electroquímicas en estudios de procesos de corrosión, *RevQuim*, vol. 2, n.º 1, pp. 23-31, 1988.
- [13] P. Bothi & M. Gopalakrishnan. "Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media", Elsevier, vol. 62, 2008.
- [14] J. Uruchurtu, & J. L Ramirez. "Método Experimental en la Corrosión: Impedancia Electroquímica", 2011.
- [15] F. Martínez. "Corrosión. Tipos. Prevención", *Ciencias técnicas agropecuarias*. vol. 32, no.2. mar. 2023. [En línea]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542023000200010&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542023000200010&lng=es&tlng=es).
- [16] "Métodos de prueba y evaluación de corrosión". [En línea]. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lqi/coatl\\_p\\_m/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lqi/coatl_p_m/capitulo3.pdf)
- [17] W. López, P. Rodríguez, J. Avila & J. Genescá. "Tres métodos para evaluar una velocidad de corrosión", *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 2015.
- [18] L. A. Godínez, Y. Meas, R. Ortega-Borges, & A. Corona, "Los inhibidores de la corrosión", *Rev. metal.*, vol. 39, no. 2, pp. 140–158, 2003.
- [19] C. G. Dariva y A. F. Galio, "Developments in Corrosion Protection," INTECHOPEN, 2014.
- [20] L. P. Tejeda Benítez, P. J. Meza Castellar, E. D. Altamiranda Percy, y M. J. Berrocal Bravo, "Uso de extractos de plantas como inhibidores de corrosión," *Informador Técnico*, 2014.
- [21] J. L. Amaya, M. Cornejo, y A. Rigail-Cedeño, "Análisis del costo del ciclo de vida de inhibidores de corrosión para la protección de estructuras de hormigón armado,"

LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering Innovations for Global Sustainability, 2016.

[22] L. P. Tejeda Benítez, P. J. Meza Castellar, E. D. Altamiranda Percy, y M. J. Berrocal Bravo, "Uso de extractos de plantas como inhibidores de corrosión", *Revista de Metalurgia*, vol. 78, no. 2, pp. 155-164, 2014.

[23] M. G. Valladares Cisneros, R. M. Melgoza Alemán, y C. Cuevas Arteaga, "Inhibidores naturales en el control de la corrosión de materiales metálicos", *Inventio*, vol. 11, no. 25, pp. 1-7, 2015.

[24] Z. Agraje, I. Barahona, J. Quiroz, H. Pino, C. Hernández, y C. Saavedra, "Análisis comparativo de inhibidores verdes vs inhibidores tradicionales en la corrosión de los metales", *Rev-RIC*, vol. 5, n.º 2, pp. 83-89, 2020.

[25] J. A. Pinilla Bedoya y D. Garcés López, "El aguacate como inhibidor natural de corrosión," *Boletín Ambiental*, 2017.

[26] D. A. Flores Maltos, J. Sandoval Cortés, B. Valdivia Urdiales y C. N. Aguilar González, "Uso de técnicas electroquímicas para evaluar el poder antioxidante en alimentos," *Investigación y Ciencia*, vol. 18, no. 49, pp. 20-25, 2010.

[27] J. F. Rodríguez, E. Rodríguez, L. F. Suárez, K. T. Velasco, C. Ramos y E. Malagón, "Eficiencia de un inhibidor verde extraído de la cáscara de la sandía en la corrosión del acero estructural A36 evaluado en medios ácido y salino," *Revista ion*, vol. 33, no. 1, 2020.

[28] A. Mandujano Ruíz, J. Morales Hernández, H. Herrera Hernández, L. E. Corona Almazán y J. M. Juárez García, "Evaluación del comportamiento electroquímico del extracto de nopal (*Opuntia Ficus-Indica*) como posible inhibidor de corrosión," *Revista de Metalurgia*, vol. 53, no. 4, p. 108, 2017.

[29] C. A. Aburto-González, A. M. Castillo-González, G. Alejo-Santiago, B. A. López-Bueno, P. Juárez-López, G. G. López-Guzmán, y R. Enciso-Arámbula, "Nutrición de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) mediante el enfoque del método racional," 2021.

- [30] M. F. Martínez, H. B. López, y J. O. Orduz-Rodríguez, "Generalidades del cultivo, descripción botánica, variedades y fenología de la lima ácida Tahití," 2020.
- [31] J. D. Toscano-Garibay, M. Arriaga-Alba, J. Sánchez-Navarrete, M. Mendoza-García, J. J. Flores-Estrada, M. A. Moreno-Eutimio, J. J. Espinosa-Aguirre, M. González-Ávila, y N. J. Ruiz-Pérez, "Antimutagenic and antioxidant activity of the essential oils of *Citrus sinensis* and *Citrus latifolia*," *Scientific Reports*, , vol. 7, no. 1, 2017.
- [32] R. Kummer, F. C. Fachini-Queiroz, C. F. Estevão-Silva, R. Grespan, E. L. Silva, C. A. Bersani-Amado, y R. K. N. Cuman, "Evaluation of Anti-Inflammatory Activity of *Citrus latifolia* Tanaka Essential Oil and Limonene in Experimental Mouse Models," 2013.
- [33] C. Kamal and M.G. Sethuraman. "*Spirulina platensis* – A novel green inhibitor for acid corrosion of mild steel", *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 5, no.2, pp. 155-161, 2012.
- [34] S. Rekkab, H. Zarrok, R. Salghi, A. Zarrouk, Lh. Bazzi, B. Hammouti, Z. Kabouche, R. Touzani and M. Zougagh. "Green corrosion inhibitor from essential oil of *Eucalyptus globulus* (Myrtaceae) for C38 steel in sulfuric acid solution", *J. Mater. Environ*, vol. 3, no 4, pp. 613-627, 2012.
- [35] S. Umoren, M. Solomon, U. Eduok, I. Obot and A. Israel. "Inhibition of mild steel corrosion in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution by coconut coir dust extract obtained from different solvent systems and synergistic effect of iodide ions: Ethanol and acetone extracts", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 2, no.2, pp. 1048-1060, 2014.
- [36] M. Ramírez Arteaga, M.G. Valladares and J.G. González Rodríguez, "Use of *Prosopis Laevigata* as a Corrosion Inhibitor for Al in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ", *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 8, no 5, pp. 6864-6877, 2013.
- [37] A. Rodríguez Torres, O. Olivares, M.G. Valladares and J.G. González, " Effect of green corrosion inhibition by *Prunus persica* on AISI 1018 carbon steel in 0.5 M

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>", *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 13, no 3, pp. 3023-3049, 2018.

[38] X. Li, S. Deng and H. Fu, "Inhibition of the corrosion of steel in HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions by bamboo leaf extract", *Corrosion Science*, vol. 62, pp. 163-175, 2012.

[39] F. Gapsari, P. H. Setyarini, F. Utaminingrum, A. M. Sulaiman, M. F. Haidar, & T.S. Julian, "Melaleuca leaves extract as eco-friendly inhibitor for low carbon steel in sulfuric acid ", *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, pp. 100657, 2024.

[40] V. L. G. Chacon, "Eficiencia de un inhibidor verde extraído de cáscara de manzana mediante el sistema soxhlet en la corrosión del acero 1018 en medio ácido", tesis de maestría, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, 2016, [En línea].

[41] R. M. P. Gutierrez y E. G. Baez, "Evaluation of antidiabetic, antioxidant and antiglycating activities of the *Eysenhardtia polystachy*," *Pharmacognosy Magazine*, vol. 10, p. S404, 2014.

[42] C. Ledesma Carrasco, "Cernimiento de efectos farmacológicos de *Eysenhardtia polystachya* en gatos," Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2011. Disponible en: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/420231>.

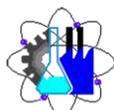
[43] Ferrero, V., C. de Vega, G. I. Stafford, J. Van Staden, y S. D. Johnson. 2009. "Heterostyly and pollinators in *Plumbago auriculata* (Plumbaginaceae)". *South African Journal of Botany*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2009.06.014>.

[44] ASM Metals Handbook, Volume 1. *Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys*.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA  
Programas educativos de calidad reconocidos por CIEES, CACEI y CONACYT  
SGI certificado en la norma ISO 9001:2015 e ISO 21001:2018



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería

**FORMA T-4A  
NOMBRAMIENTO COMITÉ REVISOR**

Cuernavaca, Mor., a 22 de mayo de 2024

**DRA. MARIA ELENA NICHÓ DÍAZ  
DRA. ELSA CARMINA MENCHACA CAMPOS  
DRA. MARÍA GUADALUPE VALLADARES CISNEROS  
DRA. FERNANDA MORALES GUZMÁN  
DRA. ADRIANA RODRÍGUEZ TORRES  
P R E S E N T E**

Me permito comunicarles que han sido designadas integrantes del **COMITÉ REVISOR** del trabajo de **TESIS** titulado:

**Estudio de inhibición amigable de la corrosión del acero al carbono 1018 en medio ácido por especies vegetales**

Que presenta la **C. NAYELLI PILAR SALGADO**

Dirigido por: **DRA. MARÍA GUADALUPE VALLADARES CISNEROS** y **DRA. ADRIANA RODRÍGUEZ TORRES**

Del programa educativo de: **INGENIERÍA QUÍMICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA**

Para obtener el grado académico de: **LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA**

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

*Se anexa firma electrónica*  
**MTRA. ANGÉLICA GALINDO FLORES**  
DIRECTORA INTERINA DE LA FCQel

**D I C T A M E N**

**MTRA. ANGÉLICA GALINDO FLORES**  
DIRECTORA INTERINA DE LA FCQel  
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para emitir **DICTÁMEN** sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

<b>VOTO</b>	<b>NOMBRE</b>
APROBATORIO	<b>DRA. MARIA ELENA NICHÓ DÍAZ</b>
APROBATORIO	<b>DRA. ELSA CARMINA MENCHACA CAMPOS</b>
APROBATORIO	<b>DRA. MARÍA GUADALUPE VALLADARES CISNEROS</b>
APROBATORIO	<b>DRA. FERNANDA MORALES GUZMÁN</b>
APROBATORIO	<b>DRA. ADRIANA RODRÍGUEZ TORRES</b>

Se anexan firmas electrónicas de cada revisor, en las cuáles se incluye la fecha y hora que se ha emitido el voto aprobatorio.

AGF/fmg



**UAEM**  
RECTORÍA  
2023 - 2029



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

ANGELICA GALINDO FLORES | Fecha:2024-05-22 21:31:36 | FIRMANTE

pB97Lew+ExBfW6OT0+1emejP9jWbrf3WfqvOpbVyffFb/KMyUwH2pCQCsXNIOPiYNU3zbiwTIT5P11qkUFunGCuX/Pyo8EKLJCcuzY//Ns2SaLAW5yzF9RvgB8Hc2RD+9a8dx9Q2NrYpylCYxMkN03Ur+s7woisGqW3vMXp8cb7iBlvFRV/VPFEhF6jc9d0BPUV/n9QjJ7HxSWclruP3Zq02loQK8IZQa0hTt18x0lmYGqNclq5ju9c7hsaisDR1ZE1kqNFMwz8Ss1d6xCB7qgyGoYitzRrR9YmXaepv5ujLXTriEo2hUCTNJsRZR0j9+ms3h5te+okf0wuzUwA==

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



[A2u9H0saW](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/2GU7UPS3moFTMJQq4lwvdEAmqmXBhlaP>



UAEM  
RECTORÍA  
2023-2029



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

**MARIA GUADALUPE VALLADARES CISNEROS | Fecha:2024-05-24 11:31:21 | FIRMANTE**

eUdD+i0ihrUM0zUHilgPwDUZtgp8G5cJAq2lyYRUgrNAzrK3+Dl9QvDfiynWky9h/wCMCzcu2IM9zqwschsDOOzvsiZ1s6r1rhqGwtVZ/3kstYFG+BMoKk7Y003FvPzZ9Rylq8qQrvW7FTuZKNUr3uGNlJfSkeBGABEtXpoGSqEUU2HwI9487CO0QUZ4GOUi3/GBrSTE4T9KKqW3oxNZJiDUa0ZULRqxdCtgaxQTmAevj7Uqs10Rt1hB7wx0LpIN+nnlSYd2YJs6oNhh9/q4mT8H+3r/UMQT8ds8iXYsbsNNHuo5M9pJthO/s40PqClItrCUXtkg5os77SrRlixyQ==

**ADRIANA RODRIGUEZ TORRES | Fecha:2024-05-24 11:51:11 | FIRMANTE**

Wr3vB54tRwEGBWr59TpDt57WYXtcwwTs1HV9+p87MMFDKa8uP8NQzDhShKzEZHV/RLp4Sav9k+fd3DUOETJgd9ZbvesOz/6g7rjk8CtNkLXu9n3JYnb16r+4li+j/N29oDmKtBfU5BopSmWF+mnMd0iN1+N5qMu1zaAGXXQE/Vs2qVTiEli/Xl+mSHrY+Qq7muJhr+OZVstyxxHcll7hWc0/12/c9oNVX2s2ZuMMUFKndKYOdmrhrwNjHP3YC3kQ1kzLGvamZJ21CTh6psW6EshStEjb7D3HPTxb7xm+iQzynvzeNHqRL0rw7/B4ME7sEEsP95O2uLQ14dckN2Q==

**ELSA CARMINA MENCHACA CAMPOS | Fecha:2024-05-24 15:19:23 | FIRMANTE**

I9pyS1akVyC9kP2wnkr2KulosfXVXpO++VFcxllbuVZYvTxMmYHpWhaAhazYk1k0hhWIYsxFuJ9htrq68YMEyDBfdwY07ul+3+T70LvalE9EeY1PkkFexALTel5KciGz2UuGwPCgQmzJFxcsgy2PbLX16RE9xezUj7RwSXnuhACj6Hs5y2qFe3BfxZ/ezDweil8V2JcSMOcdPdBSQyd4d5b6EsaJ6t2SuugDbyekLTYCenmujwvlf5cD/jzkYDCFmY5iaWoXG3HlVnWr6QBInobgMSf1QK5gpx/3NTPGsL1qgFGc7aT3eTikKFYUsmychagsyW8QRZo4fnqWweHA==

**FERNANDA MORALES GUZMAN | Fecha:2024-05-27 18:21:17 | FIRMANTE**

cTuSY47n/7cvkdp3GQ+qaNflu8Opf93DRXo2IF4Z2BC6KnL84JaQ8W5Fwq/6JFp+AHATw2Jlg5zQDjBLdh3fiPj+OjOh+g4Mp/NmFQy222/+XXxPa5yE8t8kjlXTRYnNhl/lpZgW+eKLgT4CbS+3eAavZ5PdPWj7eL2RcVycEdivphpS775CzQ0uZTIkKFlu8mdixN4NNdFQ4GUzM1UnjJgHCZSpelBaDwG7MBIAPv3Mrv/OCRfM4wwSUY2kLzzKQ0cWfqlF1jhUmCYD5say9jtGIEI822tdn/yYuNaBV7Yqearr0yYt6RxeJEU1WH8bHMa4nf0RvgJoolH0RA8VQ==

**MARIA ELENA NICH0 DIAZ | Fecha:2024-06-04 17:22:20 | FIRMANTE**

dEBRLyETHOfLRI/hf2P/d27KibD4s9QtMFwOzn+Kdn/ZvrImeMZxjFOHRZH4U+FwR+2Dkytj1OArxuTfarn6NFRqB1Kx/1oWUCKr0X6i2OisKhFKWfetoETnPVPPrD6odLD29z0gei2zPqgXo557rbB6C6cB11k9UfDZY+BRh/uUOhEhTFpoRwCi1vWTj7l8Pys0OjWPbA14AmlmA/lq600b/1Mi1huHw3JfEwZ5emzKphE2fxtwzeqo9WLuJNfVVGofiv8H7MC9TNAXS0w7GmEv+t4rsVH2F7DTi6NzB0/OXh4Yax5FBxQe3OZrxQr4TS3pri0c964mm9m0CuQ==

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



w59Gr3L12

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/Q0Y2D5qqUsmU7hkj9ki1aCBgmyPETI5e>



UAEM  
RECTORÍA  
2023-2029