



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

Evaluación de un inhibidor de corrosión para acero A36, elaborado a partir de  
cáscaras de plátano

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil**

**Autor:**

Montero Torres, Carlos Darío

**Tutor:**

MSc. Diego Hernán Hidalgo Robalino

**Riobamba, Ecuador. 2024**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Carlos Darío Montero Torres**, con cédula de ciudadanía **120616694-2** autor del trabajo de investigación titulado: **“Evaluación de un inhibidor de corrosión para acero A36, elaborado a partir de cáscaras de plátano”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor(a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 08 de noviembre de 2024



---

Carlos Darío Montero Torres

C.I:120616694-2

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Ing. Diego Hidalgo MSc.** catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación “**Evaluación de un inhibidor de corrosión para acero A36, elaborado a partir de cáscaras de plátano**”, bajo la autoría de Carlos Dario Montero Torres; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 08 días del mes de agosto de 2024.



**Ing. Diego Hernán Hidalgo Robalino MCs.**  
TUTOR

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Evaluación de un inhibidor de corrosión para acero A36, elaborado a partir de cáscaras de plátano**, presentado por Carlos Dario Montero Torres, con cédula de identidad número 1206166942, bajo la tutoría de Mgs. Diego Hernán Hidalgo Robalino; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba, 08 de noviembre de 2024

Mgs. Oscar Cevallos

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE  
GRADO**

  
Firma

Mgs. Raúl Salazar

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE  
GRADO**

  
Firma

Mgs. Marcelo Guerra.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE  
GRADO**

  
Firma



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-08.15  
VERSIÓN 01: 06-09-2021

## CERTIFICACIÓN

Que, **Montero Torres Carlos Darío** con CC: **1206166942**, estudiante de la Carrera de **Ingeniería Civil**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"Evaluación de un inhibidor de corrosión para acero A36, elaborado a partir de cáscaras de plátano"** cumple con el 7%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 08 de agosto de 2024

MSc. Diego Hidalgo  
**TUTOR**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, mis dos hermanos, mi abuelita y mi tía, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida, mi más sincero agradecimiento. Este logro no habría sido posible sin su sacrificio, esfuerzo y amor incondicional. Ellos han sido mi motivación constante para superar cada obstáculo y alcanzar mis metas.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis amigos más cercanos, José, Juan y Erik. Ustedes han estado a mi lado en los momentos más importantes de mi vida, brindándome apoyo incondicional y compartiendo experiencias que siempre llevaré conmigo. También quiero agradecer especialmente a mis mejores amigos de la carrera, Bladimir y Davis, quienes han sido una fuente constante de ánimo y respaldo en este recorrido universitario. Su compañía y camaradería han sido esenciales para superar cada desafío. A cada amigo que he conocido a lo largo de los semestres, gracias por ser parte de este camino y por contribuir a que esta etapa sea inolvidable.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a la Universidad Nacional de Chimborazo y sus docentes por estos años de formación, que han sido un tiempo invaluable de crecimiento personal y académico. De manera especial quiero agradecer a mi tutor, el Ingeniero Diego Hidalgo, por su orientación y paciencia en este proceso. Su experiencia, compromiso y apoyo fueron clave para el desarrollo de este proyecto.

Con gratitud.

***Carlos Darío Montero Torres.***

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres, Jaime Montero y Katherine Torres, les dedico este logro con el más profundo amor y gratitud. Ustedes me han enseñado el valor del esfuerzo y la dedicación, siendo mi inspiración y fuerza en cada paso. Gracias por su apoyo incondicional y por creer en mí siempre.

A mis hermanos, Jaime Montero y Katherine Montero, esta dedicatoria es también para ustedes, por ser mi compañía en el camino y mi motivación diaria. Su cariño y ánimos han sido fundamentales para mantenerme enfocado y recordar que todo esfuerzo tiene una recompensa.

A mi abuelita y mi tía, Marcia Montero, gracias por abrirme las puertas de su hogar y brindarme un lugar lleno de amor y comprensión durante esta etapa universitaria. Su generosidad y cuidado han sido un refugio invaluable en este recorrido.

***Carlos Darío Montero Torres***

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN .....	15
1.1 Antecedentes.....	15
1.2. Planteamiento del Problema.....	16
1.3. Objetivos .....	18
1.3.1. General.....	18
1.3.1. Específicos .....	18
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO .....	19
2.1. Conceptos Generales.....	19
2.1.1. Acero.....	19
2.1.2. Acero A36 .....	19
2.1.3. Corrosión .....	21
2.1.4. Tipos de Corrosión .....	21
2.1.5. Factores que influyen en el proceso de corrosión .....	23
2.1.6. Inhibidores de corrosión .....	23



2.1.7. Tipos de Inhibidores según procedencia.....	24
2.2. Estado del Arte .....	25
CAPITULO III. METODOLOGÍA .....	27
3.1. Tipo de investigación .....	27
3.2. Modalidad de investigación .....	28
3.3. Método de ensayo .....	28
3.3.1. Preparación de placas .....	28
3.3.2. Fabricación de probetas .....	29
3.3.3. Preparación de inhibidor. ....	29
3.3.4. Ensayo de corrosión acelerada. ....	30
3.3.5. PH y conductividad de los medios .....	31
3.4. Métodos de análisis y procesamiento de datos.....	31
3.5. Análisis estadístico.....	32
3.6. Metodología ensayo de tracción.....	33
3.7. Limitaciones .....	33
CAPITULO IV. RESULTADOS.....	34
4.1. Datos Pérdidas de masa.....	34
4.2. pH y conductividad final.....	35
4.3. Velocidad de Corrosión.....	36
4.4. Eficiencia de Inhibidor.....	39
4.5. Ensayo de Tracción a placas de acero.....	41
4.5.1. Curvas esfuerzo deformación de placas .....	42
4.5.2. Esfuerzos, módulo de elasticidad, resiliencia y tenacidad.....	43
CAPITULO V. DISCUSIÓN.....	45
5.1. Análisis de pérdida de masa. ....	45

5.2. Velocidad de corrosión y eficiencia del inhibidor.....	45
5.3. Análisis del ensayo a tracción .....	47
CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
6.1. Conclusiones .....	48
6.2. Recomendaciones .....	49
BIBLIOGRAFÍA: .....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Composición química del acero A36 (ASTM Standards, 2019). .....	19
<b>Tabla 2:</b> Propiedades mecánicas del acero A36 (ASTM Standards, 2019). .....	20
<b>Tabla 3:</b> pH y conductividad de soluciones a las que fueron expuestas las placas. ....	31
<b>Tabla 4:</b> Datos de pérdida de masa.....	34
<b>Tabla 5:</b> Valores de pH y conductividad final.....	36
<b>Tabla 6:</b> Variación de masa. ....	37
<b>Tabla 7:</b> Velocidad de corrosión.....	38
<b>Tabla 8:</b> Promedio de velocidades de corrosión. ....	39
<b>Tabla 9:</b> Mediana de velocidad de corrosión. ....	39
<b>Tabla 10:</b> Eficiencia del inhibidor. ....	40
<b>Tabla 11:</b> Esfuerzo, módulo de elasticidad, resiliencia y tenacidad.....	43
<b>Tabla 12:</b> Media de módulo de elasticidad, esfuerzo de fluencia, resiliencia y tenacidad. ....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Pérdidas de masa a 0.5 M de HCl, a) 0% de inhibidor, grupo control, b) 5% de inhibidor, c) 10% de inhibidor, d) 15% de inhibidor.....	35
<b>Figura 2</b> Eficiencia según concentración del inhibidor. ....	40
<b>Figura 3:</b> Eficiencia de inhibidor las primeras 24 horas. ....	41
<b>Figura 4:</b> Curvas esfuerzo-deformación del ensayo a tracción a 0.5 M de HCl a) 0% de inhibidor, b) 5% de inhibidor, c) 10% de inhibidor, d)15% de inhibidor. e) placas control, no fueron sometidas a ningún proceso de corrosión. ....	42
<b>Figura 5:</b> Variación de propiedades mecánicas del ensayo a tensión para cada grupo, a) módulo de elasticidad en GPa, b) esfuerzo de fluencia en MPa, c) resiliencia en MJ/m <sup>3</sup> , d) tenacidad en MJ/m <sup>3</sup> .....	44

## ÍNDICE DE IUSTACIONES

<b>Ilustración 1:</b> Esquema metodológico .....	27
<b>Ilustración 2:</b> Placa de acero con medidas en milímetros .....	28
<b>Ilustración 3:</b> Probera usada como envase para los ensayos de corrosión.....	29

## RESUMEN

La preocupación por la conservación del medio ambiente y la búsqueda de alternativas sostenibles han impulsado el uso de inhibidores verdes de corrosión. La corrosión es un problema crítico en la industria que compromete la integridad de los materiales y estructuras. En esta tesis se evaluó la eficiencia de un inhibidor de corrosión elaborado a partir de cáscara de plátano para proteger acero A36 en ácido clorhídrico (HCl). Se realizaron ensayos de corrosión acelerada midiendo la pérdida de masa de placas de acero expuestas a diferentes concentraciones del inhibidor (0%, 5%, 10%, y 15% v/v) en HCl 0.5M, las placas fueron expuestas al medio corrosivo durante dos semanas. Los resultados mostraron que la velocidad de corrosión fue mayor durante las primeras 24 horas, con una reducción significativa en los grupos tratados con inhibidor. La eficiencia del inhibidor se determinó promediando las velocidades de corrosión durante 10 días, obteniendo eficiencias de 15% (5% inhibidor), 31% (10% inhibidor), y 34% (15% inhibidor). Además, se realizaron pruebas de tracción en las placas para evaluar cambios en sus propiedades mecánicas, comparando los resultados con un grupo control. Los ensayos demostraron que no hubo alteraciones significativas en las propiedades mecánicas del acero entre los grupos de estudio de corrosión acelerada, pero si con hubo variaciones entre los expuestos al ensayo de corrosión y el grupo control. Se concluye que el inhibidor es más efectivo en las primeras horas de exposición, sin gran diferencia entre las concentraciones de 10% y 15%.

**Palabras clave:** Inhibidor de corrosión, acero A36, cáscara de plátano, ácido clorhídrico, ensayos de corrosión, velocidad de corrosión, eficiencia del inhibidor, pruebas de tracción, propiedades mecánicas.

## ABSTRACT

Concerns about environmental conservation and the search for sustainable alternatives have driven the use of green corrosion inhibitors. Corrosion is a critical issue in the industry that compromises the integrity of materials and structures. In this thesis, the efficiency of a corrosion inhibitor made from banana peel was evaluated to protect A36 steel in hydrochloric acid (HCl). Accelerated corrosion tests were conducted by measuring the mass loss of steel plates exposed to different concentrations of the inhibitor (0%, 5%, 10%, and 15% v/v) in 0.5M HCl. The plates were exposed to the corrosive medium for two weeks. The results showed that the corrosion rate was highest during the first 24 hours, significantly reducing the groups treated with the inhibitor. The efficiency of the inhibitor was determined by averaging the corrosion rates over ten days, resulting in efficiencies of 15% (5% inhibitor), 31% (10% inhibitor), and 34% (15% inhibitor).

Additionally, tensile tests were performed on the plates to evaluate changes in their mechanical properties, comparing the results with a control group. The tests demonstrated that there were no significant alterations in the mechanical properties of the steel among the accelerated corrosion study groups, but there were variations between those exposed to the corrosion test and the control group. The inhibitor is most effective in the first hours of exposure, with no significant difference between the 10% and 15% concentrations.

**Keywords:** Corrosion inhibitor, A36 steel, banana peel, hydrochloric acid, corrosion tests, corrosion rate, inhibitor efficiency, tensile tests, mechanical properties.



Reviewed by:

Mgs. Sofia Freire Carrillo

**ENGLISH PROFESSOR**

C.C. 0604257881

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

El acero, un material que ha tenido un gran impacto a nivel de la industria y la construcción, se produce desde el siglo XIX y es producto de la creación de procesos de fusión. El acero destaca en el ámbito de la construcción por sus propiedades mecánicas y fisicoquímicas. Además, la fabricación de acero se ha desarrollado significativamente durante los dos últimos siglos, lo que ha permitido la producción de acero de alta calidad a costos relativamente bajos e intervalos de tiempo cortos (Gavilán, 2017). Por ejemplo, el uso de la barra de refuerzo es un material compuesto principalmente de hierro y carbono que se utiliza para aumentar la resistencia y durabilidad de una estructura ya que presenta una alta resistencia a la tracción permitiendo que la estructura soporte mayores cargas y esfuerzos sin romperse, por lo que se utiliza en una variedad de aplicaciones de construcción, incluida la construcción de edificios, puentes, presas, cimientos y otros tipos de estructuras.

Sin embargo, el acero es muy susceptible a la corrosión, un proceso electroquímico en el que el metal se deteriora debido a la interacción con su entorno, especialmente cuando se expone a la humedad, el oxígeno y otros elementos del medio ambiente. La corrosión del acero es uno de los productos químicos con mayor impacto negativo en la industria durante el último siglo (Paredes et al., 2013). Cabe recalcar que la oxidación no es necesariamente negativa, ya que en niveles controlados la capa de óxido de hierro que se forma durante el proceso de oxidación en las varillas corrugas resulta en un mejor desempeño de la varilla dentro del hormigón, esto a su vez está respaldado por la (NEC, 2015), en donde se menciona que no es objetable el uso de acero de refuerzo con una película delgada de oxidación, pero si la capa de óxido del acero se debilita o daña, el acero del interior puede reaccionar con el oxígeno, la humedad y otros factores, lo que resulta en mayor oxidación del material que finalmente conduce a la corrosión, reduciendo la sección del material, su resistencia y vida útil.

Para el control en ambientes corrosivos, la industria trata químicamente la fase de agua o gas para mitigar problemas específicos. Estos tratamientos químicos reciben nombres según el problema de corrosión que resuelven y, en la mayoría de los casos, el objetivo principal es mitigar el problema de corrosión y desgaste general por la acción corrosiva del electrolito en contacto con el metal. En estos casos, se requiere tratamiento con inhibidores de corrosión, los cuales son

compuestos químicos que brindan protección contra la corrosión que puede presentarse en el acero por acción del medio en el cual se encuentra (Santamaría & Dominguez, 2021).

Si bien los inhibidores de corrosión son efectivos, sus propiedades químicas los hacen persistentes, difíciles o no degradables, y en la mayoría de los casos altamente tóxicos, por lo que el uso de inhibidores de corrosión de origen sintético no se considera una solución a largo plazo. El uso generalizado y prolongado de estos inhibidores ha tenido un impacto en el medio ambiente (Valladares et al., 2015). En este contexto, la cáscara de plátano emerge como una alternativa sostenible para el desarrollo de inhibidores de corrosión para metales. La cáscara de plátano es conocida por sus propiedades antioxidantes. Los antioxidantes pueden ayudar a proteger los metales de la oxidación, que es una forma común de corrosión.

El propósito de esta investigación es el desarrollo y aplicación de un inhibidor de corrosión a partir de cáscaras de plátano y realizar un estudio para analizar la velocidad de corrosión de placas de acero A36, simulando el ambiente climático del oriente del Ecuador. Este estudio se enmarca en la búsqueda de soluciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, aprovechando desechos orgánicos para la protección de materiales industriales. La elección de la cáscara de plátano se basa en su disponibilidad, bajo costo y propiedades antioxidantes naturales que pueden ser beneficiosas para la inhibición de la corrosión.

La investigación se centrará en el aprovechamiento de las propiedades anticorrosivas de la cáscara de plátano en forma de inhibidor, y su aplicación en pruebas de corrosión acelerada. Se espera que los resultados demuestren la eficacia del inhibidor derivado de cáscaras de plátano en comparación con inhibidores comerciales, proporcionando una solución económica y ecológicamente amigable para la protección del acero A36 en condiciones ambientales adversas.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

El acero desempeña un papel crucial en la industria de la construcción por sus propiedades mecánicas y amplio rango de aplicaciones, además el acero es considerado un material económico y duradero en comparación con otros materiales de construcción, además el acero gracias a ser un material de bajo costo de producción, reciclabilidad, durabilidad, reducción de emisiones, es considerado un material altamente sostenible (Helena Gervásio, 2014).



Pese a las capacidades del acero, este es muy propenso a sufrir daños por corrosión el cual causa deterioro en las estructuras de hormigón armado o estructuras con perfiles de acero, por tanto surgió la necesidad de protegerlo ya que la corrosión es uno de los mecanismos de deterioro detectados con más frecuencia por lo que constituye un problema a nivel mundial, el problema de la corrosión del acero está estrechamente relacionado con la interacción de sus componentes con el medio de exposición, lo que en muchos casos conduce a una importante degradación del hormigón(Abel Castañeda, 2007).

En el último siglo la corrosión del metal es uno de los procesos químicos con mayor impacto negativo. El costo estimado en daños a los materiales debido a la corrosión en los países desarrollados aumentó a aproximadamente 3,5% del PIB (Producto Interno Bruto). El 20% de esto se puede ahorrar si se aprovecha al máximo las tecnologías y cuidados existentes para mitigar el proceso químico (Paredes et al., 2013).

El clima tropical cálido, húmedo, con altas temperaturas y con recurrente precipitaciones durante todo el año como el que se presenta en la Amazonía ecuatoriana, puede llegar a ser muy agresivo con el acero A36. Los factores que determinan el grado de agresividad de una atmósfera pueden clasificarse en dos: Meteorológicos y de Contaminación. El más importante de los primeros es el tiempo en el cual la atmósfera iguala o supera el 80% de la humedad relativa (tiempo de humectación)(Cadena & Sosa, 2021).

Muchos de los inhibidores de corrosión utilizados actualmente son sintéticos y presentan un riesgo inherente para la salud de los seres humanos además pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente cuando estos son usados de manera irresponsable en la industria (Valladares et al., 2015).

La importancia de esta investigación radica en que surge la necesidad de desarrollar inhibidores de corrosión que sean tanto efectivos como respetuosos con el medio ambiente. La cáscara de plátano, el cuál es un residuo orgánico, las cuales pueden contribuir a la contaminación si no se desechan correctamente, ya que pueden producir metano y lixiviados en los vertederos en donde son desechadas comúnmente, pero las propiedades antioxidantes de la cáscara de plátano pueden ser aprovechadas y usadas en forma de un inhibidor verde por su alto contenido en antioxidantes y potasio los cuales tienen potencial para la inhibición de la corrosión en el acero.

Además, dependiendo de la eficacia como inhibidor a la corrosión del acero A36 de las cascaras de plátano, el uso de desperdicio del plátano contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) según la (ONU, 2021), tales como:

1. ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura): Esta investigación podría conducir al desarrollo de nuevas tecnologías y materiales para la protección de infraestructuras metálicas.
2. ODS 12 (Producción y consumo responsables): El uso de desechos de frutas como la cáscara de plátano para desarrollar inhibidores de corrosión promueve la economía circular y reduce el desperdicio.
3. ODS 13 (Acción por el clima): Al reemplazar los inhibidores de corrosión sintéticos con alternativas más verdes, se pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de inhibidores de corrosión.
4. ODS 14 (Vida submarina) y ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres): Los inhibidores de corrosión sintéticos pueden ser tóxicos para el medio ambiente. Al reemplazarlos con inhibidores verdes, se puede reducir la contaminación y proteger la biodiversidad.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. General**

- Evaluar la eficacia de un inhibidor de corrosión desarrollado a partir de cáscara de plátano en la prevención de la corrosión del acero A36.

#### **1.3.1. Específicos**

- Formular un inhibidor de corrosión a base de cáscara de plátano y determinar la concentración óptima para su aplicación en el acero A36.
- Realizar ensayos de corrosión acelerada para evaluar la eficacia del inhibidor de corrosión a base de cáscara de plátano en la prevención de la corrosión del acero A36.

## CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Conceptos Generales

#### 2.1.1. Acero

El acero es un tipo de hierro que si se mantiene a alta temperatura y se enfría lentamente adquiere las propiedades del hierro dulce, pero si por el contrario se enfría rápidamente alcanza un estado templado en el que se vuelve totalmente funcional y su dureza es capaz de deformar cualquier objeto duro.

El acero es un material de alta importancia en la construcción debido a su resistencia y maleabilidad. Ha sido ampliamente utilizado en la fabricación de estructuras metálicas, así como en el refuerzo de estructuras de concreto. El avance en la fabricación del acero ha permitido obtener un material de alta calidad y de bajo costo de producción. El acero desempeña un papel crucial en la industria de la construcción, especialmente en la construcción de estructuras de concreto reforzado. El concreto con acero embebido es considerado un material económico y duradero en comparación con otros materiales de construcción (Medina Adán, 2019).

#### 2.1.2. Acero A36

El acero estructural ASTM A36 es una aleación de acero al carbono común acero con menor contenido de carbono y mayor contenido de hierro. Esto ha llevado a que se le denomine “acero dulce”, lo que lo convierte en un acero de bajo costo, lo que lo convierte en uno de los aceros más comercializados y utilizados en el mundo en estructuras como edificios, puentes y plantas industriales (Córdova Carlos, 2017).

En la tabla 1 se presenta la composición química del acero estructural A36.

**Tabla 1:** Composición química del acero A36 (ASTM Standards, 2019).

Elemento	Contenido (%w)
Carbono (C)	0.26
Cobre (Cu)	0.20
Manganeso (Mn)	-

<b>Fósforo (P)</b>	0.04
<b>Silicio (Si)</b>	0.40
<b>Azufre (S)</b>	0.05

Dado que la composición química estructural del acero A36 es relativamente simple, principalmente Fe, como puede verse en la tabla anterior, es fácil de soldar y muestra grandes ventajas en la construcción, por lo que pertenece al acero estructural A36. Debido a su facilidad de conformado, este acero se puede producir en diferentes formas como placas, láminas, tubos, juntas, etc.

En la tabla 2 se presentan las propiedades mecánicas del acero estructural A36.

**Tabla 2:** *Propiedades mecánicas del acero A36 (ASTM Standards, 2019).*

<b>Propiedades Mecánicas</b>	<b>Valor</b>
<b>Resistencia a la tracción</b>	400-550 MPa
<b>punto de rendimiento</b>	250 MPa
<b>alargamiento a la rotura (en 200 mm)</b>	20.0%
<b>alargamiento a la rotura (en 200 mm)</b>	23.0%
<b>Módulo de elasticidad</b>	200 GPa
<b>Módulo volumétrico (típico para el acero)</b>	140 GPa
<b>Coeficiente de Poisson</b>	0.26
<b>Módulo de corte</b>	79.3 GPa

### **2.1.3. Corrosión**

La corrosión es un proceso en el que un material, generalmente un metal, se deteriora debido a una reacción con el medio ambiente. Aunque los metales son los materiales más comúnmente afectados, otros materiales como la madera, cerámica y plásticos también pueden corroerse. A veces, el material puede fallar inesperadamente debido a cambios en su estructura interna, incluso si no hay cambios visibles en el material. La corrosión es un proceso natural y espontáneo que puede ser causado por diferentes agentes como gases, ácidos, sales, sustancias orgánicas, entre otros (Fajardo González et al., 2022).

La corrosión es un proceso destructivo que ocurre cuando un metal o aleación reacciona química o electroquímicamente con su entorno, lo que provoca que los átomos metálicos se conviertan en compuestos químicos o minerales. La corrosión es la tendencia natural de los metales a volver a su estado combinado, es decir, al estado en que se encuentran en la naturaleza, que es su estado estable desde el punto de vista termodinámico (Salazar José, 2015).

### **2.1.4. Tipos de Corrosión**

#### **2.1.4.1. Corrosión Generalizada**

La corrosión generalizada, también conocida como corrosión uniforme, es un tipo de corrosión que se manifiesta de manera uniforme sobre toda la superficie de un material. Este fenómeno ocurre cuando un material, generalmente un metal, sufre una oxidación uniforme en su superficie debido a reacciones químicas o electroquímicas con el ambiente circundante. La corrosión generalizada es uno de los tipos más comunes de corrosión y puede resultar en una pérdida de material que compromete la integridad estructural del componente afectado, pero es relativamente fácil de predecir y controlar, por lo que un accidente producido por este es de rara ocurrencia (Revie & Uhlig, 2011).

#### **2.1.4.2. Corrosión Localizada**

Este tipo de corrosión es particularmente insidioso porque puede causar fallas catastróficas en estructuras y componentes metálicos sin una pérdida significativa de material en general. Según (Revie & Uhlig, 2008), la corrosión localizada es generalmente más peligrosa que la corrosión generalizada porque puede perforar completamente el metal en áreas pequeñas y conducir a fallas estructurales rápidas e inesperadas. Los procesos de corrosión localizada más comunes son:

- **Picaduras (Pitting):** Pequeñas cavidades o agujeros que se forman en la superficie del metal debido a la acción de agentes corrosivos.
- **Corrosión Intergranular:** Ocurre a lo largo de los límites de los granos del metal, afectando su cohesión y resistencia.
- **Corrosión por Grietas (Crevice Corrosion):** Se desarrolla en áreas estrechas y confinadas donde el acceso del medio corrosivo es limitado, como en las juntas o bajo depósitos.
- **Corrosión Galvánica:** Resulta de la interacción electroquímica entre dos metales diferentes en contacto, como por ejemplo cuando existe una unión física o eléctrica, en presencia de un electrolito.

#### 2.1.4.3. Corrosión combinada con un fenómeno físico

La corrosión combinada con un fenómeno físico, también conocida como corrosión asistida por el medio ambiente, se refiere a la interacción entre procesos corrosivos y factores físicos que aceleran el daño al material. (Revie & Uhlig, 2008) menciona que este tipo de corrosión ocurre cuando un material, generalmente un metal, se somete simultáneamente a condiciones corrosivas y a fenómenos físicos como estrés mecánico, erosión o abrasión. La corrosión combinada con fenómenos físicos incluye:

- **Corrosión bajo Tensión:** Interacción entre corrosión y estrés mecánico que causa grietas en el material a tensiones más bajas de lo normal.
- **Corrosión Erosión:** Aceleración de la corrosión debido a la acción mecánica de un fluido en movimiento sobre la superficie del metal. Común en tuberías y equipos que transportan líquidos o gases a alta velocidad.
- **Fatiga Corrosiva:** Ocurre cuando un material está sujeto a ciclos repetidos de tensión y un ambiente corrosivo, lo que lleva a una mayor velocidad de formación de grietas y eventual falla del material.

### **2.1.5. Factores que influyen en el proceso de corrosión**

La corrosión es un fenómeno complejo influenciado por diversos factores ambientales y materiales. A continuación, se describen los factores más relevantes que afectan el proceso de corrosión:

#### **2.1.5.1. Composición del medio**

La presencia de ciertos iones en el ambiente, como cloruros y sulfatos, puede acelerar significativamente la corrosión. Estos iones facilitan la disolución del metal y la formación de productos de corrosión (Revie & Uhlig, 2008).

#### **2.1.5.2. PH del medio**

Según (Jones, 1996) el pH del entorno corrosivo influye en la velocidad de las reacciones electroquímicas. Ambientes muy ácidos o alcalinos pueden acelerar la corrosión. Por ejemplo, el acero es altamente susceptible a la corrosión en soluciones ácidas debido a la mayor concentración de iones  $H^+$  que facilitan la oxidación del metal.

#### **2.1.5.3. Temperatura**

La temperatura es un factor crucial que afecta la tasa de corrosión. Generalmente, un aumento en la temperatura incrementa la velocidad de las reacciones electroquímicas, acelerando la corrosión. Este efecto se observa comúnmente en sistemas industriales donde las temperaturas elevadas pueden provocar una corrosión más rápida.

#### **2.1.5.3. Presencia de Oxígeno**

El oxígeno disuelto en el medio es esencial para la reacción catódica en muchos procesos corrosivos (Revie & Uhlig, 2008). En sistemas acuosos, el oxígeno actúa como el agente oxidante en la reacción catódica, facilitando la formación de óxidos en la superficie del metal.

### **2.1.6. Inhibidores de corrosión**

Los inhibidores de corrosión son sustancias que se utilizan para prevenir o disminuir la corrosión de los metales y otros materiales. Estos productos químicos se agregan en pequeñas concentraciones al medio corrosivo y actúan en la interfase metal-solución, disminuyendo o previniendo la reacción entre el metal y el medio.

La efectividad de un inhibidor depende de una variedad de factores, por lo que su selección varía según el clima, el tipo de acero, el tiempo de protección requerido y la temperatura esperada, siendo la temperatura un factor crítico. Los inhibidores de corrosión se pueden clasificar en tres tipos: anódicos, catódicos o mixtos, dependiendo de si interfieren principalmente con el ánodo, el cátodo o ambos (Al-Amoudi et al., 2003).

Según (Revie & Uhlig, 2011) los Inhibidores también se pueden clasificar según sus mecanismos de acción:

#### **2.1.6.1. Inhibidores Anódicos**

Estos inhibidores funcionan formando una película pasivante en la superficie del ánodo, reduciendo la tasa de oxidación del metal.

#### **2.1.6.2. Inhibidores Catódicos**

Funcionan disminuyendo la tasa de la reacción catódica. Esto se puede lograr mediante la precipitación de compuestos en el cátodo o reduciendo la concentración de agentes oxidantes en la solución.

#### **2.1.6.3. Inhibidores Mixtos**

Afectan tanto a la reacción anódica como a la catódica. Estos inhibidores son efectivos en un amplio rango de condiciones y son ampliamente utilizados en la industria.

### **2.1.7. Tipos de Inhibidores según procedencia**

#### **2.1.7.1. Inhibidores Orgánicos**

Estos inhibidores contienen moléculas orgánicas con grupos funcionales que pueden adsorberse en la superficie del metal, formando una barrera protectora. Los inhibidores orgánicos son especialmente efectivos en medios ácidos (Chandrabhan Verma et al., 2021).

#### **2.1.7.2. Inhibidores Inorgánicos**

Estos incluyen sales de metales como cromatos, nitratos y fosfatos. Los inhibidores inorgánicos suelen ser más estables a altas temperaturas y se utilizan ampliamente en sistemas industriales (Chandrabhan Verma et al., 2021).



### **2.1.7.3. Inhibidores Verdes:**

Debido a la creciente preocupación por el medio ambiente, se han desarrollado inhibidores de corrosión a partir de fuentes naturales, como extractos de plantas y residuos agrícolas. Estos inhibidores ofrecen una alternativa ecológica a los compuestos químicos tradicionales(Xhanari et al., 2017).

Según (Tejeda Benítez et al., 2014), estas sustancias disminuyen la corrosión debido a la presencia de metabolitos secundarios como compuestos fenólicos, alcaloides, flavonoides, esteroides, taninos, vitaminas, aminoácidos, aceites volátiles y otros compuestos orgánicos. Su estructura química incluye largas cadenas de carbono con un extremo polar, formadas por heteroátomos como oxígeno, azufre, nitrógeno, fósforo, radicales OH o enlaces múltiples con electrones  $\pi$  desapareados. Esta estructura puede dotar a estas moléculas de cargas negativas y aumentar la densidad electrónica, favoreciendo la adsorción del inhibidor sobre la superficie del metal y la transferencia de electrones del inhibidor al metal.

## **2.2. Estado del Arte**

El estudio de los inhibidores de corrosión ha sido un tema de interés en la ingeniería de materiales durante muchos años. Los inhibidores de corrosión son sustancias que, al ser agregadas en pequeñas concentraciones en el medio corrosivo, disminuyen o previenen la reacción entre el metal y el medio(Ian Didiere Vázquez Aguirre et al., 2018). Sin embargo, muchos de los inhibidores de corrosión tradicionales son altamente tóxicos para los seres humanos y el medio ambiente (Ortega Ramirez et al., 2021)

En respuesta a esto en los últimos años, la investigación en el campo de la corrosión y su mitigación ha evolucionado significativamente, enfocándose cada vez más en el desarrollo de inhibidores de corrosión ecológicos y sostenibles. Estos inhibidores "verdes" están diseñados para ser biodegradables, no tóxicos y eficientes. Estos inhibidores verdes a menudo se derivan de fuentes naturales, como plantas y frutas, proporcionando una alternativa viable a los inhibidores químicos tradicionales que son conocidos por sus efectos adversos sobre el medio ambiente (Ahamad & Quraishi, 2010).

Uno de los enfoques más prometedores ha sido el uso de extractos de plantas y residuos agrícolas como inhibidores de corrosión. Los extractos naturales contienen una variedad de compuestos orgánicos, tales como alcaloides, flavonoides, taninos y otros compuestos fenólicos, que han demostrado tener propiedades inhibidoras de la corrosión (Satapathy et al., 2009). Por ejemplo, los estudios de (Raja & Sethuraman, 2008) han documentado la eficacia de extractos de plantas como inhibidores de corrosión para diversos metales, destacando su capacidad para adsorberse sobre la superficie metálica y formar una barrera protectora que reduce la tasa de corrosión.

Un ejemplo de esto es un estudio que evaluó un extracto obtenido de la cáscara de la sandía (*Citrullus lanatus*) como inhibidor de corrosión del acero estructural A36 en medio ácido (HCl 0,5 M) y medio salino (NaCl 3,5 %) a diferentes tiempos de exposición (Rodríguez et al., 2020). Este estudio representa un avance significativo en la utilización de desechos orgánicos para la producción de inhibidores de corrosión eficaces y ecológicos.

También, (Abiola & James, 2010) evaluaron la actividad inhibidora del aloe vera sobre el zinc en una solución de ácido clorhídrico (HCl 2 M) durante la pérdida de peso. Al revisar la velocidad de corrosión, se estableció que las moléculas inhibidoras del extracto siguen la isoterma de Langmuir, y la propiedad inhibidora fue directamente proporcional a la concentración del extracto. Finalmente, la eficiencia fue del 67 % a una concentración de HCl del 10 % v/v.

Es importante destacar que, aunque estos estudios representan avances prometedores en el campo de los inhibidores de corrosión verdes, todavía hay mucho trabajo por hacer. La eficacia de estos inhibidores debe ser evaluada en una variedad de condiciones y en diferentes tipos de metales. Además, se deben realizar análisis de costos para determinar la viabilidad económica de la producción a gran escala de estos inhibidores.

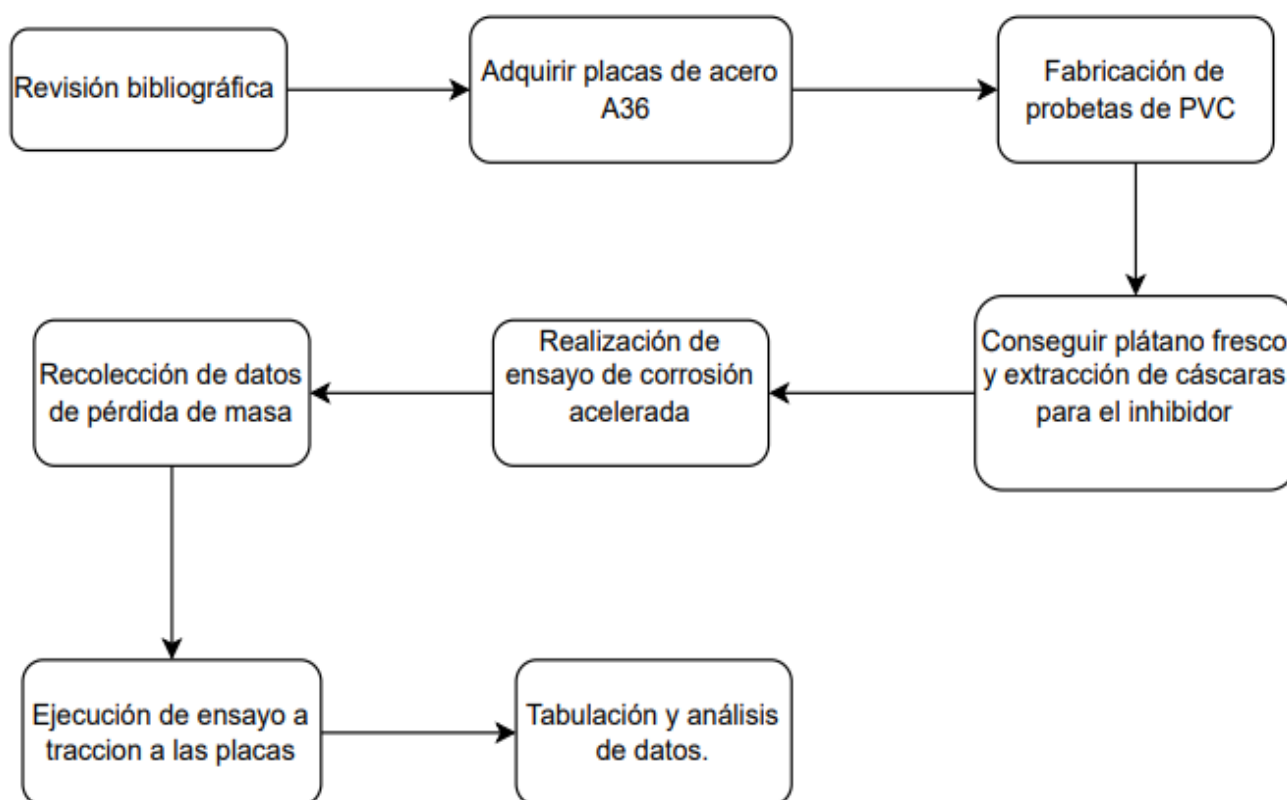
## CAPITULO III. METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo de investigación

Para evaluar la eficacia del extracto acuoso de cáscara de granada como inhibidor de la corrosión de varillas de acero, se realizará un estudio cuantitativo experimental. El extracto se conseguirá a partir de la cascará de plátano utilizando agua destilada como solvente. Se controlará la concentración del extracto, la concentración del medio corrosivo, el número y tamaño de las muestras de acero A36 para cuantificar el impacto de estos factores en la eficiencia de inhibición. Posteriormente se realizará una prueba de pérdida de peso, una de resistencia a tensión de las probetas para determinar la eficiencia inhibidora del extracto y si la corrosión ha afectado las propiedades mecánicas del material. De igual forma se busca describir las propiedades del acero antes y luego del ensayo, así como las observaciones que se hagan durante el mismo.

#### *Ilustración 1:*

##### *Esquema Metodológico*



### 3.2. Modalidad de investigación

Este proyecto se basará en dos modalidades de investigación, con las cuales se podrá recopilar la información requerida para el cumplimiento de los objetivos establecidos, una de ellas es la investigación de campo en la que se realizará ensayos en base a la metodología presente en (Saavedra Lorena, 2017), en donde se recolectará las cáscaras de plátano, debido a que estas pueden ser encontradas en abundancia en Ecuador.

Se considerará un número de probetas adecuadas para el análisis de la eficacia del inhibidor de cáscara de plátano, por cada una de las diferentes concentraciones del inhibidor que se aplicará al medio corrosivo.

El medio corrosivo será el ácido clorhídrico (HCl), un ácido fuerte que se disocia completamente con una disolución acuosa. En el ensayo se va a monitorear el avance de la corrosión y medir los parámetros como la pérdida de peso, velocidad de corrosión, para al finalizar el ensayo, realizar pruebas de resistencia a la tensión de las probetas sometidas al ambiente corrosivo.

Otra modalidad es la revisión bibliográfica de la cual vamos a indagar, clasificar y seleccionar las investigaciones relevantes y posibles aplicaciones a este proyecto.

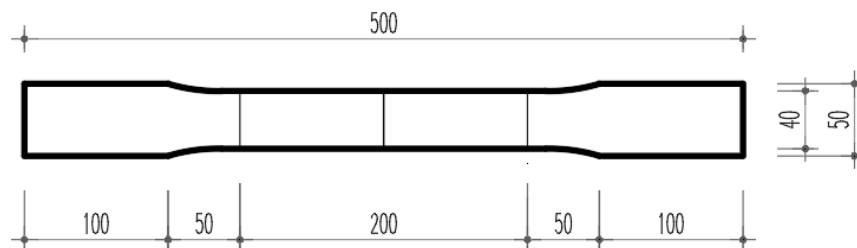
### 3.3. Método de ensayo

#### 3.3.1. Preparación de placas

Las probetas de acero A36, serán del tamaño que dicta la norma ASTM A370 para ensayo a tensión del acero, misma que se muestra en la ilustración 2.

#### *Ilustración 2:*

*Placa de acero con medidas en milímetros.*



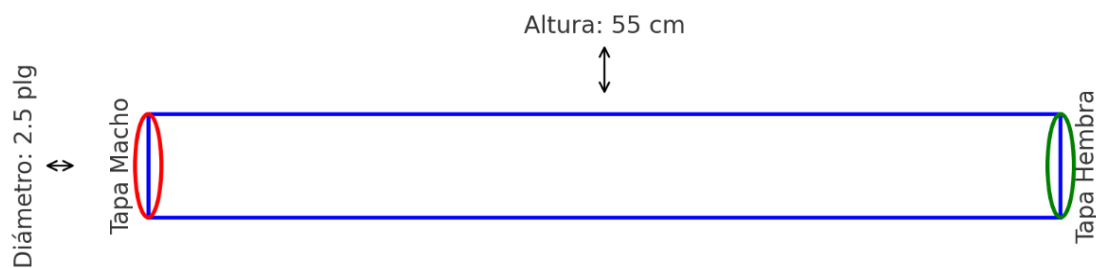
Cada pieza recibirá un tratamiento previo antes de ser sometida a la prueba de corrosión, el cual consiste en:

- tratamiento mecánico: Se lijará toda la pieza con el fin de emparejar y retirar la capa de óxido nativo existente sobre la misma.
- Desengrasado: Consiste en sumergir las piezas en detergente para ropa durante 40 minutos, una vez transcurrido ese tiempo se enjuagarán y secarán las piezas.
- Limpieza: Las piezas se limpiarán con alcohol etílico; para ello se utilizarán guantes con el fin de evitar la contaminación de estas.

### 3.3.2. Fabricación de probetas

#### *Ilustración 3:*

*Probeta usada como envase para los ensayos de corrosión.*



Para la realización de los ensayos de corrosión, se diseñaron y fabricaron probetas utilizando tubos de PVC con un diámetro de 2.5 pulgadas y una altura de 55 cm. Estos tubos fueron seleccionados debido a su resistencia a la corrosión y facilidad de manejo. En cada extremo del tubo se colocaron tapas, específicamente una tapa macho en la parte superior y una tapa hembra en la parte inferior, para asegurar un cierre hermético y evitar cualquier fuga de la solución durante el experimento.

Dentro de estas probetas se introdujo la solución corrosiva y las placas de acero A36 que fueron objeto de estudio. Este diseño permitió un entorno controlado y uniforme para cada probeta, garantizando que las condiciones de exposición a la corrosión fueran consistentes en todas las muestras.

### 3.3.3. Preparación de inhibidor.

Para la elaboración del inhibidor de corrosión, se seleccionaron plátanos del tipo seda cuyo nombre científico es *Musa acuminata* como se puede observar en el anexo 2. Las cáscaras de los plátanos

fueron meticulosamente limpiadas para eliminar cualquier residuo o impureza. Posteriormente, las cáscaras limpias se licuaron con agua destilada en una proporción de 150 gramos de cáscara por cada 500 mililitros de agua destilada. Este proceso permitió extraer los compuestos activos presentes en las cáscaras, necesarios para la formulación del inhibidor de corrosión. La mezcla resultante fue luego filtrada para obtener un extracto puro, obteniendo una concentración de 0.3 g/ml de inhibidor. Esta solución se utilizó para preparar las mezclas de ensayo que se utilizó en las soluciones de ensayo para evaluar su efectividad como inhibidor de corrosión para el acero A36.

### **3.3.4. Ensayo de corrosión acelerada.**

El siguiente paso es la realización de ensayos de corrosión acelerada. Para ello, se crea una solución corrosiva utilizando 0.5 M de ácido clorhídrico (HCl) mezclado con agua destilada. Esta solución proporciona un ambiente agresivo que simula las condiciones corrosivas a las que los materiales metálicos pueden estar expuestos.

En este mismo medio corrosivo, se aplica el inhibidor en diferentes concentraciones del 0%, 5%, 10% y 15%. Cada recipiente de ensayo contenía un volumen total de 1800 ml. En el grupo control, se añadió 1800 ml de una solución de HCl a 0.5 M. En los grupos experimentales, se añadieron diferentes volúmenes de la solución de inhibidor junto con la solución de HCl a 0.5 M:

- Segundo grupo: 90 ml de inhibidor (15000 ppm) y 1710 ml de 0.5M de HCl.
- Tercer grupo: 180 ml de inhibidor (30000 ppm) y 1620 ml de 0.5M de HCl.
- Cuarto grupo: 270 ml de inhibidor (45000 ppm) y 1530 ml de 0.5M de HCl.

Estas concentraciones en partes por millón (ppm) fueron calculadas mediante la ecuación 1 para determinar la cantidad precisa de inhibidor presente en cada mezcla, asegurando así la consistencia y la precisión de los experimentos de corrosión realizados.

$$ppm = \frac{\text{masa Inhibidor (g)}}{\text{volumen solución (ml)}} * 10^6 \quad (1)$$

Cada placa se expone a una de estas concentraciones para determinar su capacidad para proteger el acero A36 contra la corrosión durante un período de dos semanas. Durante este tiempo, se registra la pérdida de masa de las placas de acero.

### 3.3.5. PH y conductividad de los medios

Para caracterizar las propiedades de los medios corrosivos empleados en el estudio, se realizaron mediciones del pH y la conductividad eléctrica utilizando un medidor portátil de pH y conductividad eléctrica.

Estas mediciones fueron esenciales para caracterizar las condiciones iniciales de cada solución y para comprender mejor cómo el inhibidor afecta el comportamiento corrosivo del ácido clorhídrico. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla:

**Tabla 3:** *pH y conductividad de soluciones a las que fueron expuestas las placas.*

Solución	pH (-)	Conductividad (S/cm)
<b>Inhibidor</b>	5.2	5.14
<b>0.5M HCl</b>	1.1	11.97
<b>0.5M HCl + I 5%</b>	1.2	11.89
<b>0.5M HCl + I 10%</b>	1.1	11.8
<b>0.5M HCl + I 15%</b>	1.1	11.7

Estas mediciones proporcionaron información valiosa sobre la acidez y la capacidad de conducción eléctrica de cada medio, aspectos críticos para entender los mecanismos de inhibición de la corrosión y la efectividad del inhibidor natural derivado de las cáscaras de plátano.

### 3.4. Métodos de análisis y procesamiento de datos

Para la evaluación del inhibidor se procedió a determinar la efectividad de este utilizando como referencia la norma cubana (NORMA CUBANA, 2015), para el cálculo de la velocidad de corrosión usamos la ecuación 2.

$$DP = \frac{\Delta \text{Peso}}{S * t} = \frac{(pi - pf)}{S * t} \quad (2)$$

**Donde:**

**Pi:** Peso inicial de la muestra metálica (g)

**Pf:** Peso final de la muestra metálica (g)

**S:** Área de la muestra expuesta al medio corrosivo (m<sup>2</sup>)

**t:** Tiempo de exposición al medio corrosivo (h)

Además, se realizará un análisis de la eficiencia del inhibidor, para ello los datos se registrarán y con ello se estudiará la eficiencia de cada medio de inhibición empleando la Ecuación 3.

$$n(\%) = \frac{C_a - C_i}{C_a} * 100 \quad (3)$$

**Donde:**

**Ca:** es la velocidad de corrosión en la ausencia de un inhibidor.

**Ci:** es la velocidad de corrosión en presencia de un inhibidor

La eficiencia de inhibición es un número positivo entre 0 y 100 cuando hay efecto de inhibición de la corrosión. Eficiencias de inhibición altas indican que el metal está protegido contra la corrosión, mientras que eficiencias de inhibición bajas indican que no hubo protección.

La eficiencia de corrosión puede volverse negativa en los casos en que la sustancia que se está probando como inhibidor en realidad ataca al metal, causando una corrosión aún más acelerada que si no estuviera presente (Saavedra Lorena, 2017).

### 3.5. Análisis estadístico

Se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk a los valores de la velocidad de corrosión de cada grupo de estudio, que es adecuada para menos de 50 datos. Los resultados ( $p=15 \times 10^{-7}$ ,  $42 \times 10^{-7}$ ,  $11 \times 10^{-6}$ ,  $99 \times 10^{-7}$ ) indicaron que los datos no siguen una distribución normal, con una significancia menor a 0.05.

Debido a la falta de normalidad, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para comparar las medianas de tres o más grupos independientes. La prueba mostró una significancia mayor a 0.05 ( $p= 0.860$ ), por lo que se aceptó la hipótesis nula. Esto significa que no se encontraron diferencias significativas entre las medianas de los grupos de estudio, sugiriendo que las medianas de las velocidades de corrosión son iguales entre los diferentes grupos.



### 3.6. Metodología ensayo de tracción

Para determinar si hay variaciones en las propiedades entre los grupos de placas que fueron sometidas al ensayo de corrosión se realizaron pruebas de tracción a cada una de estas, teniendo un grupo de placas control, las cuales no fueron sometidas a ningún tratamiento previo. Para realizar los ensayos, se utilizará la normativa (ASTM E8/E8M, 2024), que establece los métodos estándar para las pruebas de tensión en materiales metálicos. Esta normativa es útil para comparar materiales en función de los resultados de sus propiedades, los cuales se obtienen mediante el software de recopilación de datos. Para las dimensiones y preparaciones de las probetas de acero se aplicó la norma ASTM A370 para ensayo a tensión del acero.

En las pruebas de tracción, se utilizó la *máquina de prueba universal de la serie UH-X/FX* del laboratorio de ingeniería civil. Esta máquina es hidráulica y cuenta con mordazas hidráulicas de apertura frontal, además de estar equipada con un sistema servo-hidráulico híbrido controlado por ordenador, diseñado para realizar pruebas de compresión y extensibilidad. La máquina proporciona datos de desplazamiento en milímetros (mm) y de fuerza en kilonewtons (kN), los cuales se utilizan para calcular la deformación y el esfuerzo, permitiendo así obtener las curvas esfuerzo-deformación de las placas sometidas al ensayo.

### 3.7. Limitaciones

La limitación podría ser la falta de pruebas en diferentes condiciones ambientales. La corrosión puede ser influenciada por muchos factores, incluyendo la temperatura, la humedad, y la presencia de otros elementos químicos. Por lo tanto, los resultados obtenidos en las condiciones de laboratorio pueden no reflejar completamente lo que sucedería en condiciones reales. Además, aunque el inhibidor de corrosión se ha probado en acero A36, puede no ser igualmente efectivo en otros tipos de acero o materiales metálicos.

Por último, aunque se espera que la producción de inhibidores de corrosión a partir de cáscaras de plátano sea económicamente viable debido a su abundancia, no se ha realizado un análisis detallado de los costos de producción. Esto podría ser una limitación si los costos de producción resultan ser más altos de lo esperado.

## CAPITULO IV. RESULTADOS

### 4.1. Datos Pérdidas de masa

Se realizó un registro de pérdida de masa por cada 24 h, en donde se obtuvieron los siguientes datos representados en la tabla 1.

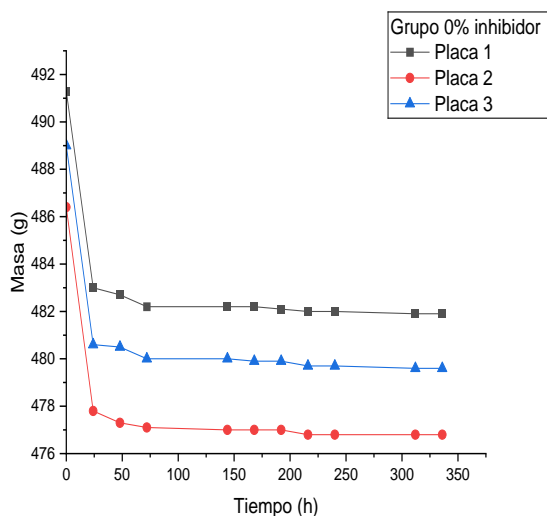
**Tabla 4:** Datos de pérdida de masa.

<b>Tiempo (días)</b>	<b>0% inhibidor+0.5 M de HCl</b>			<b>5% inhibidor+ 0.5M de HCl</b>			<b>10% inhibidor + 0.5M de HCl</b>			<b>15% inhibidor + 0.5M de HCl</b>		
	<b>Placa 1</b>	<b>Placa 2</b>	<b>Placa 3</b>	<b>Placa 1</b>	<b>Placa 2</b>	<b>Placa 3</b>	<b>Placa 1</b>	<b>Placa 2</b>	<b>Placa 3</b>	<b>Placa 1</b>	<b>Placa 2</b>	<b>Placa 3</b>
<b>0</b>	491.3	486.4	489	494.2	491.8	487.7	485.6	486.4	485.1	488.8	494.6	487.7
<b>1</b>	483	477.8	480.6	487.2	485.3	481.2	480.4	481.5	480.2	484.1	489.9	482.7
<b>2</b>	482.7	477.3	480.5	485.6	484.2	479.5	479	480.1	478.7	482.5	488.7	481.2
<b>3</b>	482.2	477.1	480	485.6	484.2	479.5	478.1	479.2	477.8	481.9	488.1	480.8
<b>4</b>	482.2	477	480	485.6	484.2	479.5	478.1	479.2	477.7	481.9	488.1	480.5
<b>5</b>	482.2	477	479.9	485.6	484.1	479.5	478	479.2	477.7	481.9	488.1	480.5
<b>6</b>	482.1	477	479.9	485.6	484	479.4	478	479.2	477.6	481.9	488	480.5
<b>7</b>	482	476.8	479.7	485.6	484	479.4	478	479.2	477.6	481.9	487.9	480.4
<b>8</b>	482	476.8	479.7	485.6	484	479.4	477.8	479	477.5	481.8	487.9	480.3
<b>9</b>	481.9	476.8	479.6	485.3	484	479.4	477.8	479	477.5	481.7	487.7	480.3
<b>10</b>	481.9	476.8	479.6	485.3	483.7	479.3	477.7	478.9	477.3	481.7	487.7	480.2

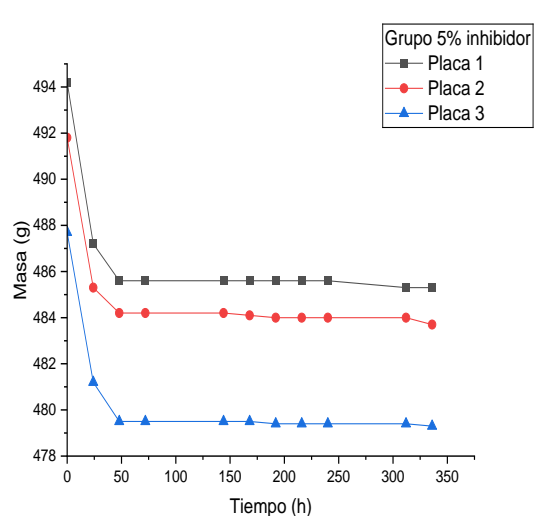
Las placas fueron sometidas al ensayo de corrosión acelerada por 2 semanas, de las cuales como ya se mencionó se tomó medidas de sus masas cada 24 horas, exceptuando los fines de semana, por lo que se tienen 10 datos de pérdida de masa.

A continuación, en la figura 1, se muestra se muestra las gráficas que representan las pérdidas de masa de las placas sometidas al ensayo de corrosión acelerada.

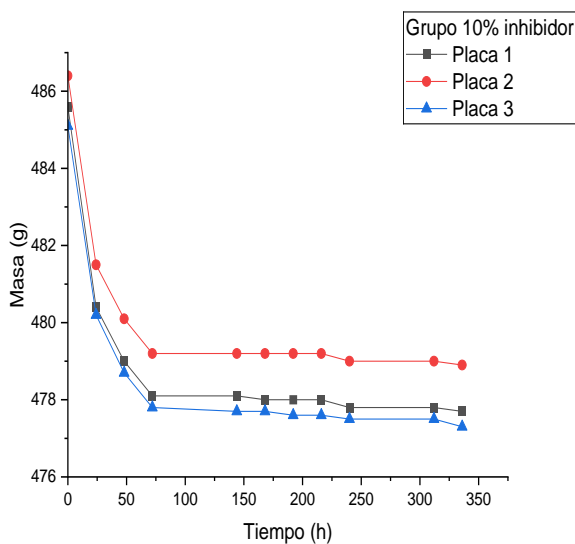
a)



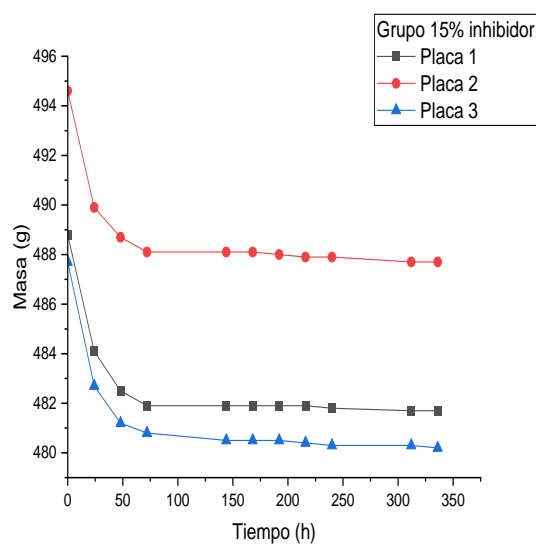
b)



c)



d)



**Figura 1:** Pérdidas de masa a 0.5 M de HCl, a) 0% de inhibidor; grupo control, b) 5% de inhibidor, c) 10% de inhibidor, d) 15% de inhibidor.

En los gráficos de variación de masa, el eje de las X representa el tiempo en horas al que fue expuesto el material a la solución corrosiva, y el eje de las Y representa la masa en gramos de las placas.

#### 4.2. pH y conductividad final.

Se midió el pH y conductividad final de la solución de cada uno de los grupos de estudio, para evaluar la estabilidad química del medio corrosivo, detectar reacciones adicionales, y asegurar la

consistencia y reproducibilidad de las condiciones de prueba. Obteniendo los resultados expresados en la tabla 5.

**Tabla 5:** *Valores de pH y conductividad final.*

<b>Solución</b>	<b>pH (-)</b>	<b>Conductividad (S/cm)</b>
<b>0.5M HCl</b>	5.3	10.13
<b>0.5M HCl + I 5%</b>	5.1	9.93
<b>0.5M HCl + I 10%</b>	5.3	9.89
<b>0.5M HCl + I 15%</b>	5.2	9.82

Pasadas 2 semanas de estudio se obtuvieron los siguientes datos de pH y conductividad de la solución de cada uno de los grupos de estudio.

#### **4.3. Velocidad de Corrosión**

Para el análisis de la velocidad de corrosión, tenemos los siguientes datos:

Área de las placas: 547.86 cm<sup>2</sup>.

Volumen de las placas: 164.36 cm<sup>3</sup>.

En la tabla 6 se muestra la variación de masas, representada en gramos (g), en intervalos de 24h, calculados a partir de los datos registrados de las pérdidas de masa.

**Tabla 6:** Variación de masa.

	<b>0% inhibidor+0.5 M de HCl</b>			<b>5% inhibidor+ 0.5M de HCl</b>			<b>10% inhibidor + 0.5M de HCl</b>			<b>15% inhibidor + 0.5M de HCl</b>		
<b>Tiempo (días)</b>	<b>Placa 1</b>	<b>Placa 2</b>	<b>Placa 3</b>	<b>Placa 1</b>	<b>Placa 2</b>	<b>Placa 3</b>	<b>Placa 1</b>	<b>Placa 2</b>	<b>Placa 3</b>	<b>Placa 1</b>	<b>Placa 2</b>	<b>Placa 3</b>
<b>0</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>1</b>	8.3	8.6	8.4	7.0	6.5	6.5	5.2	4.9	4.9	4.7	4.7	5.0
<b>2</b>	0.3	0.5	0.1	1.6	1.1	1.7	1.4	1.4	1.5	1.6	1.2	1.5
<b>3</b>	0.5	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.9	0.9	0.9	0.6	0.6	0.4
<b>4</b>	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3
<b>5</b>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>6</b>	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0
<b>7</b>	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
<b>8</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1
<b>9</b>	0.1	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0
<b>10</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1

Podemos observar que en la pérdida de masa durante el primer día es significativamente mayor, luego reduce la pérdida de masa llegando a casos en los que no hay variación de masas entre días. Con estos datos se puede aplicar la fórmula para la obtención de la velocidad de corrosión, expresada en la ecuación 2.

En la tabla 7 se muestra los resultados de la velocidad de corrosión de las placas, misma que esta expresada en  $\text{g/m}^2/\text{día}$ , la cual representa cuántos gramos del material se pierden cada día por cada metro cuadrado de área superficial expuesta.

**Tabla 7:** Velocidad de corrosión.

Velocidad de corrosión (g/m <sup>2</sup> /día)												
Tiempo (días)	0% inhibidor+0.5 M de HCl			5% inhibidor+ 0.5M de HCl			10% inhibidor + 0.5M de HCl			15% inhibidor + 0.5M de HCl		
	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 1	Placa 2	Placa 3
<b>0</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>1</b>	151.50	156.97	153.32	127.77	118.64	118.64	94.92	89.44	89.44	85.79	85.79	91.26
<b>2</b>	2.74	4.56	0.91	14.60	10.04	15.51	12.78	12.78	13.69	14.60	10.95	13.69
<b>3</b>	3.04	1.22	3.04	0.00	0.00	0.00	5.48	5.48	5.48	3.65	3.65	2.43
<b>4</b>	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.91
<b>5</b>	0.00	0.00	0.26	0.00	0.26	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>6</b>	0.23	0.00	0.00	0.00	0.23	0.23	0.00	0.00	0.23	0.00	0.23	0.00
<b>7</b>	0.20	0.41	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20
<b>8</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.37	0.18	0.18	0.00	0.18
<b>9</b>	0.14	0.00	0.14	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.28	0.00
<b>10</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.13	0.13	0.13	0.26	0.00	0.00	0.13

Al no haber pérdidas de masa en algunos casos la velocidad de corrosión es igual a 0 en algunos casos. Luego se determinó el promedio diario de corrosión de cada grupo de estudio, el mismo que se representa en la tabla 8.

**Tabla 8:** Promedio de velocidades de corrosión.

Tiempo (días)	Velocidad de corrosión (g/m <sup>2</sup> /día)			
	0% inhibidor+0.5 M de HCl	5% inhibidor+ 0.5M de HCl	10% inhibidor + 0.5M de HCl	15% inhibidor + 0.5M de HCl
<b>0</b>	-	-	-	-
<b>1</b>	153.93	121.69	91.26	87.61
<b>2</b>	2.74	13.39	13.08	13.08
<b>3</b>	2.43	0.00	5.48	3.24
<b>4</b>	0.10	0.00	0.10	0.30
<b>5</b>	0.09	0.09	0.09	0.00
<b>6</b>	0.08	0.15	0.08	0.08
<b>7</b>	0.34	0.00	0.00	0.14
<b>8</b>	0.00	0.00	0.30	0.12
<b>9</b>	0.09	0.14	0.00	0.14
<b>10</b>	0.00	0.17	0.17	0.04

Con los promedios de la velocidad de corrosión de los grupos de estudio, se procedió a calcular la eficiencia del inhibidor, basándonos en la ecuación 3.

#### 4.4. Eficiencia de Inhibidor

Para determinar la eficiencia del inhibidor obtenido a partir de la cáscara de plátano, se aplicó la fórmula descrita en la ecuación 3. Previamente, se calculó la mediana de la velocidad de corrosión durante los 10 días en los que se registró la variación de masa. La mediana de la velocidad de corrosión se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9:** Mediana de velocidad de corrosión.

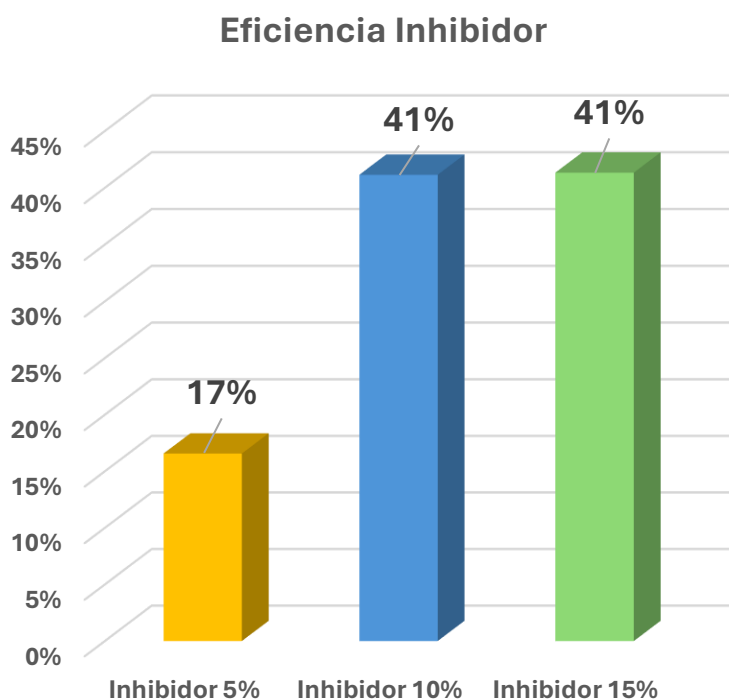
Mediana velocidad de corrosión (g/m <sup>2</sup> /día)			
0% inhibidor+0.5 M de HCl	5% inhibidor+ 0.5M de HCl	10% inhibidor + 0.5M de HCl	15% inhibidor + 0.5M de HCl
<b>0.098</b>	0.114	0.138	0.138

Con estos datos obtenemos las siguientes eficiencias de los grupos con inhibidor con respecto al grupo control, plasmadas en la tabla 10.

**Tabla 10:** *Eficiencia del inhibidor.*

<b>Eficiencia inhibidor 5%</b>	<b>Eficiencia inhibidor 10%</b>	<b>Eficiencia inhibidor 15%</b>
17%	41%	41%

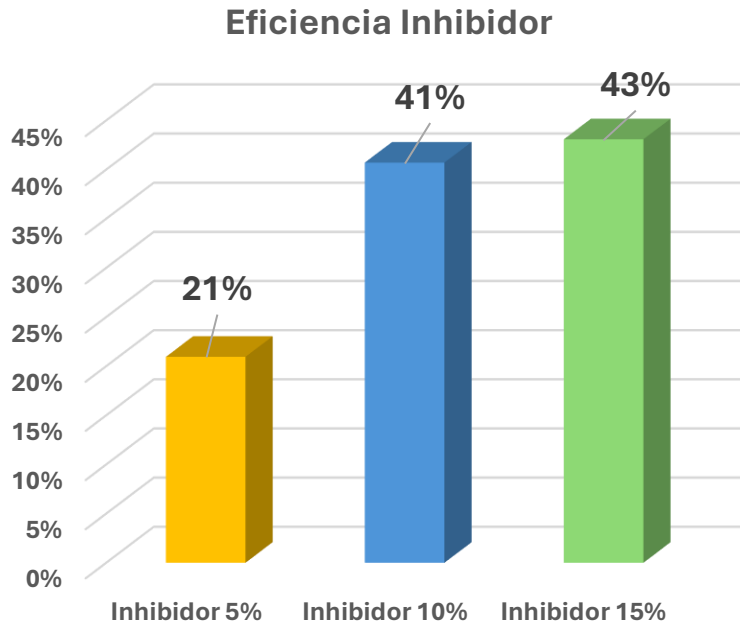
Los datos obtenidos se representan gráficamente en la figura 2.



**Figura 2** *Eficiencia según concentración del inhibidor.*

Adicionalmente, se calculó la eficiencia del inhibidor durante las primeras 24 horas de exposición debido a que en este intervalo de tiempo hubo mayor pérdida de masa y acción por parte del HCl y del inhibidor, las eficiencias se pueden observar en la figura 3.





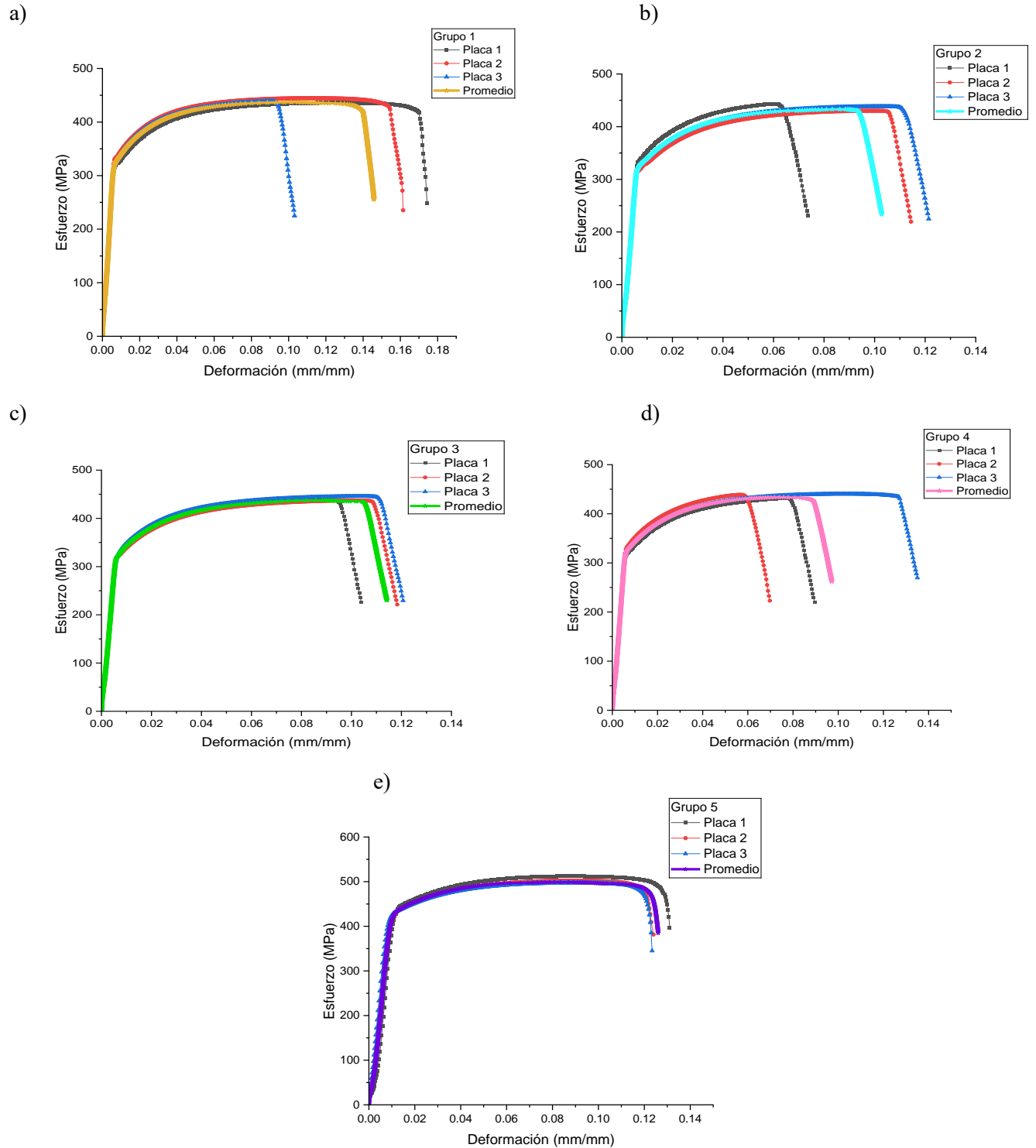
**Figura 3:** Eficiencia de inhibidor las primeras 24 horas.

#### 4.5. Ensayo de Tracción a placas de acero

Para el análisis del comportamiento mecánico de las placas se decidió aplicar ensayo de tracción, las dimensiones de las placas cumplen con las especificaciones de la norma (ASTM A370), la realización de ensayos de tracción posteriores a la exposición a condiciones de corrosión acelerada proporciona una comprensión integral del desempeño del material bajo condiciones adversas. Para lo cual se dividió las placas en 5 grupos de estudio, cada uno de los grupos cuenta con 3 placas para el ensayo:

- Grupo 1: Placas sin Inhibidor y 0.5M de HCl.
- Grupo 2: Placas con Inhibidor al 5% y 0.5M de HCl.
- Grupo 3: Placas con Inhibidor al 10% y 0.5M de HCl.
- Grupo 4: Placas con Inhibidor al 15% y 0.5M de HCl.
- Grupo 5: Control (Placas sin ningún ensayo previo de corrosión acelerada).

#### 4.5.1. Curvas esfuerzo deformación de placas



**Figura 4:** Curvas esfuerzo-deformación del ensayo a tracción a 0.5 M de HCl a) 0% de inhibidor, b) 5% de inhibidor, c) 10% de inhibidor, d) 15% de inhibidor. e) placas control, no fueron sometidas a ningún proceso de corrosión.

En las gráficas podemos observar la curva esfuerzo deformación de cada una de las placas, así como el promedio de cada grupo de estudio, esto se hizo para poder observar las diferencias en el comportamiento mecánico entre cada placa de cada grupo, así como las diferencias entre cada grupo de estudio.

#### 4.5.2. Esfuerzos, módulo de elasticidad, resiliencia y tenacidad.

Se obtuvieron los siguientes resultados para los esfuerzos y resiliencias de las placas ensayadas, mismas que están anotados en la tabla 11.

*Tabla 11: Esfuerzo, módulo de elasticidad, resiliencia y tenacidad.*

Grupos	Placas	$\sigma$ máx (MPa)	$\sigma$ rot (MPa)	Modulo E (GPa)	$\sigma$ Y (MPa)	Resiliencia (MJ/m <sup>3</sup> )	Tenacidad (MJ/m <sup>3</sup> )
<b>Grupo: HCl 0.5 M, Sin inhibidor</b>	<b>1</b>	436.01	357.68	84.52	351.44	3.88	70.54
	<b>2</b>	444.49	368.29	90.24	370.96	4.3	66.24
	<b>3</b>	438.73	344.63	87.57	370.82	4.68	39.85
<b>Grupo: HCl 0.5 M, 5% Inhibidor</b>	<b>1</b>	443.54	317.54	91.03	373.66	4.01	27.2
	<b>2</b>	430.15	307.57	87.99	355.26	4.25	43.41
	<b>3</b>	438.1	319.56	89.93	362.19	4.11	47.05
<b>Grupo: HCl 0.5 M, 10% Inhibidor</b>	<b>1</b>	438.22	315.78	91.37	365.73	4.11	40.02
	<b>2</b>	437.19	334.24	89.96	362.05	4.19	45.7
	<b>3</b>	445.69	349.33	88.81	374.78	4.46	47.98
<b>Grupo: HCl 0.5 M, 15% Inhibidor</b>	<b>1</b>	431.09	316.29	88.77	359.22	4.16	33.39
	<b>2</b>	438.8	312.21	93.26	376.91	4.48	25.94
	<b>3</b>	440.21	337.27	91.41	368.84	4.36	54.16
<b>Grupo Control (Sin tratamiento)</b>	<b>1</b>	512.38	420.87	69.18	460	5.75	61.13
	<b>2</b>	502.22	427.16	73.02	451.48	6.44	56.96
	<b>3</b>	497.05	408.83	75.98	443.23	5.14	56.98

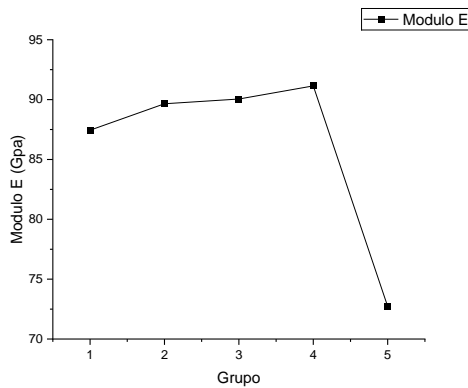
Con estos datos, obtenemos la media del esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad, resiliencia y tenacidad; de cada uno de los grupos, obteniendo los siguientes resultados expuestos en la tabla 12.

**Tabla 12:** Media de módulo de elasticidad, esfuerzo de fluencia, resiliencia y tenacidad.

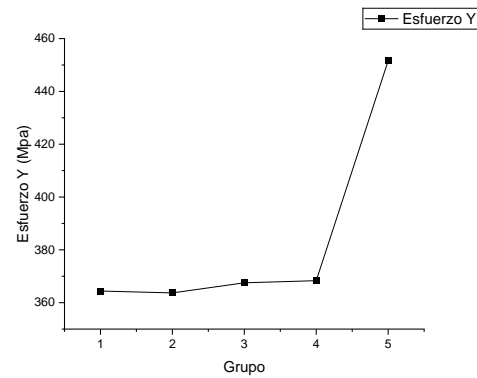
Grupo	Modulo E (Gpa)	$\sigma_Y$ (Mpa)	Resiliencia (MJ/m <sup>3</sup> )	Tenacidad (MJ/m <sup>3</sup> )
1	87.44	364.41	4.29	58.88
2	89.65	363.70	4.12	39.22
3	90.05	367.52	4.25	44.57
4	91.15	368.32	4.33	37.83
5	72.73	451.57	5.78	58.36

Con estos datos, se generó una representación gráfica para observar de manera más clara la diferencia entre cada uno de los grupos.

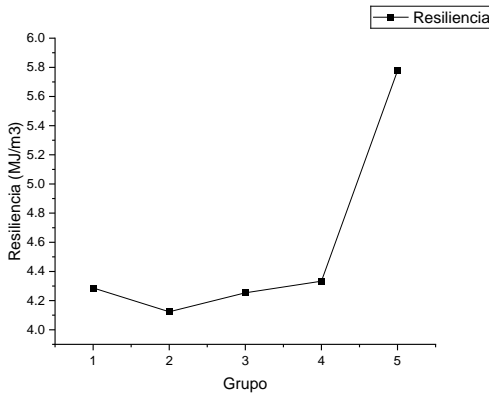
a)



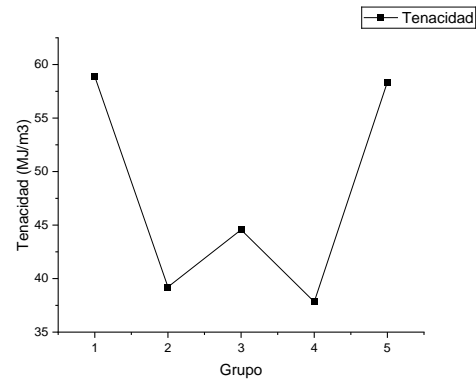
b)



c)



d)



**Figura 5:** Variación de propiedades mecánicas del ensayo a tensión para cada grupo, a) módulo de elasticidad en GPa, b) esfuerzo de fluencia en MPa, c) resiliencia en MJ/m<sup>3</sup>, d) tenacidad en MJ/m<sup>3</sup>.

En cada una de las gráficas se observa las diferencias entre cada uno de los grupos de estudio, esto para poder observar de manera gráfica y clara la diferencia del comportamiento mecánico de cada uno de los grupos.

## **CAPITULO V. DISCUSIÓN**

### **5.1. Análisis de pérdida de masa.**

Durante el ensayo de corrosión acelerada, al momento de medir la masa de las placas, se observó que las primeras 24 horas es cuando el medio corrosivo esta más activo, por lo que hubo una pérdida significativa de masa en el material, sobre todo en el grupo de placas en las que no se aplicó el inhibidor de corrosión, aunque esta gran pérdida de masa inicial también fue una constante en los otros grupos de placas en las que si se aplicó el inhibidor.

Se observo algo curioso en el segundo día en el cual, el grupo de placas que estuvieron sometidas solo a HCl perdieron poca masa en comparación con el grupo de placas a las que se le aplico inhibidor, lo cual nos puede indicar que el inhibidor pierde poca efectividad a lo largo del tiempo, en este caso a partir de las 24 h, pero esto no nos quiere decir que el inhibidor no haya sido efectivo, ya que al observar el promedio de las pérdidas de masa total las placas de los grupos:

- a) 0.5M de HCl y 0% inhibidor: 9.47 g.
- b) 0.5M de HCl y 5% inhibidor: 8.30 g.
- c) 0.5M de HCl y 10% inhibidor: 7.73 g.
- d) 0.5M de HCl y 15% inhibidor: 7.07 g.

La acción del inhibidor ha hecho que haya diferencia entre la pérdida de masa en los grupos que fue aplicado con respecto al grupo en el que no fue aplicado.

Durante el transcurso de los siguientes días del ensayo las masas de las placas no variaron significativamente, esto nos indica que la solución a la que fueron sometidas paso de ser ácida a neutra, y eso se evidencia en la tabla 5, que nos muestra el pH de las soluciones después del ensayo.

### **5.2. Velocidad de corrosión y eficiencia del inhibidor.**

Como la velocidad de corrosión depende de la variación de las masas de las placas, se puede evidenciar en los resultados que las primeras 24 horas hubo una gran acción por parte del ácido

haciendo que la velocidad de corrosión promedio de las tres placas por grupo de estudio en ese intervalo sea:

- a) 0.5M de HCl y 0% inhibidor: 153.93 g/m<sup>2</sup>/día.
- b) 0.5M de HCl y 5% inhibidor: 121.69 g/m<sup>2</sup>/día.
- c) 0.5M de HCl y 10% inhibidor: 91.26 g/m<sup>2</sup>/día.
- d) 0.5M de HCl y 15% inhibidor: 87.61 g/m<sup>2</sup>/día.

Pero transcurridas las 24 horas el promedio la velocidad de corrosión disminuyó abruptamente debido a que la solución comenzó a estabilizarse y dejar de ser ácida gradualmente, teniendo los siguientes promedios de velocidad de corrosión para el segundo día:

- a) 0.5M de HCl y 0% inhibidor: 2.74 g/m<sup>2</sup>/día.
- b) 0.5M de HCl y 5% inhibidor: 13.39 g/m<sup>2</sup>/día.
- c) 0.5M de HCl y 10% inhibidor: 13.08 g/m<sup>2</sup>/día.
- d) 0.5M de HCl y 15% inhibidor: 13.08 g/m<sup>2</sup>/día.

Se puede observar una diferencia significativa entre los grupos con inhibidor y el grupo sin inhibidor, lo que nos puede indicar que la eficiencia del inhibidor disminuyó para el segundo día.

Luego de los dos primeros días la pérdida de masa fue insignificante para todos los grupos de estudio, teniendo casos en que la velocidad de corrosión es igual 0, lo que evidencia una nula pérdida de masa entre días.

Con esto en cuenta se determinó la eficiencia del inhibidor para cada porcentaje de aplicación, con un promedio de las velocidades de corrosión para determinar la eficiencia del inhibidor para los catorce días de estudio.

- a) Grupo 0.5M de HCl y 5% inhibidor: 17%.
- b) Grupo 0.5M de HCl y 10% inhibidor: 41%
- c) Grupo 0.5M de HCl y 15% inhibidor: 41%

El inhibidor a 5% nos dio la eficiencia más baja, pero aplicado al 10% y 15% nos dio resultados de eficiencia similares, por lo que se sugiere que no hay gran diferencia entre aplicación de estos dos porcentajes de inhibidor.

### 5.3. Análisis del ensayo a tracción

En este ensayo podemos observar las diferencias del comportamiento mecánico entre los grupos de estudio, en este hubo un grupo control que no fue sometido a la prueba de corrosión acelerada, para determinar la diferencia entre los grupos expuestos al ácido y un grupo de placas que no fueron experimentadas, teniendo lo siguiente:

- a) **Módulo de elasticidad:** Podemos observar gráficamente, en la figura 4, y también numéricamente que hay una mayor rigidez por parte de las placas que fueron sometidas al ensayo de corrosión acelerada, con respecto a las placas que no se les dio ningún tratamiento.
- b) **Esfuerzo de fluencia:** Con respecto al esfuerzo de fluencia, las placas que fueron sometidas al ensayo de corrosión tienen un valor de entre 363 a 368 MPa, mientras que el grupo de placas que no fueron sometidas al ensayo de corrosión tienen alrededor de 450MPa, lo que indica mayor límite a partir del cual el material empieza a deformarse plásticamente.
- c) **Resiliencia:** En términos de resiliencia, los grupos sometidos a ensayo de corrosión no tienen mucha diferencia, estando entre un 4 MJ/m<sup>3</sup>, y el grupo de placas que no fue sometido a ensayo de corrosión tiene alrededor de 5 a 6 MJ/m<sup>3</sup>, lo que nos indica que las placas que fueron usadas para el ensayo de corrosión acelerada perdieron resiliencia, es decir, la capacidad de un material para recuperar su forma inicial después de haber sido deformado.
- d) **Tenacidad:** Con respecto a la tenacidad entre los grupos de estudio, tenemos resultados muy variables entre cada placada de cada grupo, lo que indica que independientemente del tratamiento posterior que se les dio a los grupos de placas, cada una de estas tiene diferente capacidad de absorber energía y deformarse plásticamente antes de la fractura.

## CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- La creciente preocupación por la conservación del medioambiente y las nuevas legislaciones que buscan controlar la emisión de sustancias tóxicas perjudiciales para la vida en el planeta han impulsado el estudio de extractos de plantas como inhibidores de corrosión. Estos extractos se han convertido en una fuente valiosa, fácilmente accesible y renovable, para una amplia gama de inhibidores de corrosión.
- En el estudio de pérdida de masa de las placas de acero permitió establecer que la aplicación del inhibidor resultó en una menor pérdida de masa total en comparación con las placas expuestas solo a HCl, a pesar de que se observó una reducción en la efectividad del inhibidor después del primer día, la diferencia en la pérdida de masa total entre los grupos tratados y el grupo control sugiere que el inhibidor sigue siendo beneficioso a lo largo del ensayo, indicando que el inhibidor contribuye a mitigar la corrosión.
- La disminución del efecto corrosivo del ácido HCl después de los primeros días del ensayo puede deberse a la formación de productos de corrosión como cloruros de hierro, que crean una capa pasivante sobre el metal, saturando el medio y reduciendo su capacidad de disolver más hierro. Además, la reacción del HCl con el metal puede aumentar ligeramente el pH, como notamos en la tabla 5, haciendo el medio menos corrosivo.
- Se evidencia que la diferencia en la velocidad de corrosión entre los grupos tratados con inhibidor y el grupo sin inhibidor es más pronunciada durante las primeras 24 horas del ensayo. Esto indica que el inhibidor derivado de cáscara de plátano muestra una mayor eficiencia en las etapas iniciales del proceso de corrosión.
- Al analizar las eficiencias promedio de los inhibidores sobre catorce días, se encontró que el inhibidor a 5% presentó la menor eficiencia (17%), mientras que las concentraciones de 10% y 15% mostraron una eficiencia relativamente mayor (41%). Esto indica que aumentar la concentración del inhibidor de 10% a 15% no produce una mejora significativa en la eficiencia, lo que sugiere que una concentración del 10% podría ser suficiente para obtener un buen rendimiento del inhibidor.



## 6.2. Recomendaciones

- Se recomienda investigar otros métodos de extracción de compuestos activos de la cáscara de plátano que puedan mejorar la eficiencia del inhibidor. Métodos como la extracción con solventes orgánicos o la extracción asistida por ultrasonidos podrían ser evaluados.
- Realizar ensayos que evalúen la biodegradabilidad del extracto de cáscara de plátano y su eficacia en el uso a largo plazo en sistemas cerrados dinámicos, tales como sistemas de enfriamiento a escala piloto, entre otros.
- Se recomienda realizar estudios adicionales bajo diferentes condiciones ambientales, como variaciones de temperatura, pH y la presencia de otros iones corrosivos, para evaluar la robustez y efectividad del inhibidor en diversas situaciones.
- Realizar un análisis detallado de los productos de corrosión formados en las superficies metálicas tratadas con el inhibidor podría ayudar a entender los mecanismos de inhibición y mejorar la formulación del inhibidor.
- Se recomienda la implementación de pruebas electroquímicas y el análisis de curvas Tafel para evaluar de manera más precisa y detallada la eficiencia del inhibidor de corrosión. Estas técnicas proporcionan datos cuantitativos sobre la cinética de la corrosión y la protección proporcionada por el inhibidor.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

- Abel Castañeda. (2007). CARACTERIZACIÓN DE LA CORROSIÓN EN EL ACERO DE REFUERZO DEL HORMIGÓN ARMADO EN PRESENCIA DE IONES CL DEL HORMIGÓN ARMADO EN PRESENCIA DE IONES CLORURO.
- Abiola, O. K., & James, A. O. (2010). The effects of Aloe vera extract on corrosion and kinetics of corrosion process of zinc in HCl solution. *Corrosion Science*, 52(2), 661–664.  
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.10.026>
- Ahamad, I., & Quraishi, M. A. (2010). Mebendazole: New and efficient corrosion inhibitor for mild steel in acid medium. *Corrosion Science*, 52(2), 651–656.  
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.10.012>
- Al-Amoudi, O. S. B., Maslehuddin, M., Lashari, A. N., & Almusallam, A. A. (2003). Effectiveness of corrosion inhibitors in contaminated concrete. *Cement and Concrete Composites*, 25(4–5), 439–449. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00084-7](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00084-7)
- ASTM A370. (2003). Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. ASTM.
- ASTM E8/E8M. (2024). Designation: E8/E8M – 13a Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials 1. [https://doi.org/10.1520/E0008\\_E0008M-13A](https://doi.org/10.1520/E0008_E0008M-13A)
- ASTM Standards. (2019). A36/A36M -19 Standard Specification for Carbon Structural Steel.
- Cadena, F. X., & Sosa, J. E. (2021). La corrosión atmosférica del acero galvanizado en el Ecuador.
- Chandrabhan Verma, Chaudhery Mustansar Hussain, & Eno E. Ebenso. (2021). Organic Corrosion Inhibitors (C. Verma, C. M. Hussain, & E. E. Ebenso, Eds.). Wiley.  
<https://doi.org/10.1002/9781119794516>
- Córdova Carlos. (2017). EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN PROBETAS DE ACERO ESTRUCTURAL A36 RECUBIERTAS DE PINTURA CON NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC.

- Fajardo González, C. M., Luís, J., & García, R. (2022). EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN NATURAL Y ACELERADA EN ACERO A36 CON SISTEMA DE RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO EPÓXICO PRESENTADO POR.
- Gavilán, J. T. (2017). Estudio de los riesgos para la salud asociados a la construcción naval con acero y aluminio Trabajo de Final de Grado María del Mar Fuentes Sánchez.
- Helena Gervásio, P. (2014). La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas.  
[http://www.cbca-ibs.com.br/nsite/site/downloads/Construmetal\\_Helena\\_Gervasio.ppt](http://www.cbca-ibs.com.br/nsite/site/downloads/Construmetal_Helena_Gervasio.ppt)
- Ian Didiere Vázquez Aguirre, Álvaro Torres Islas, & María Guadalupe Valladares Cisneros. (2018). Inhibidores verdes de la corrosión de materiales metálicos por biocombustibles. Evista Latinoamericana El Ambiente y Las Ciencias .
- Jones, D. A. (1996). Principles and Prevention of CORROSION Second Edition.
- Medina Adán. (2019). DESEMPEÑO DE MÉTODOS CONVENCIONALES Y EMERGENTES UTILIZADOS PARA LA PREVENCIÓN DEL DETERIORO POR CORROSIÓN DEL ACERO EMBEBIDO EN CONCRETO INDUCIDO POR CLORUROS.
- NEC. (2015). ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO.
- NORMA CUBANA. (2015). Corrosión de metales y sus aleaciones -Corrosividad de atmósferas- Determinación de la velocidad de corrosión de muestras estándar para la evaluación de la corrosión.
- ONU. (2021). Nuestro compromiso con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- Ortega Ramirez, A. T., Barrantes, L., Casallas Martin, B. D., & Cortés Salazar, N. (2021). Application of green inhibitors for corrosion control in metals. review. DYNA, 88(217), 160–168. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.93871>
- Paredes, J., Prieto, J., Santos, I. E., & Galindo, G. (2013). CORROSIÓN DEL ACERO EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO: VIGAS Y COLUMNAS.
- Raja, P. B., & Sethuraman, M. G. (2008). Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media — A review. Materials Letters, 62(1), 113–116.  
<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.04.079>

- Revie, R. W., & Uhlig, H. H. (2008). CORROSION AND CORROSION CONTROL An Introduction to Corrosion Science and Engineering FOURTH EDITION.
- Revie, R. W., & Uhlig, H. H. (2011). Uhlig's Corrosion Handbook. Wiley.  
<https://doi.org/10.1002/9780470872864>
- Rodríguez, J. F., Rodríguez, E., Suárez, L. F., Velasco, K. T., Ramos, C., & Malagón, E. (2020). 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*, 33(1).  
<https://doi.org/10.18273/revion.v33n1-2020003>
- Saavedra Lorena. (2017). Tecnología electroquímica y sus aplicaciones: Inhibidores de corrosión a partir de residuos agroindustriales.
- Salazar José. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica).
- Santamaría, P., & Dominguez, M. (2021). Análisis de inhibidores de corrosión elaborados con extractos de plantas como alternativa para la mitigación de problemas de corrosión en sistemas de transporte y almacenamiento de crudo y sus derivados.
- Satapathy, A. K., Gunasekaran, G., Sahoo, S. C., Amit, K., & Rodrigues, P. V. (2009). Corrosion inhibition by Justicia gendarussa plant extract in hydrochloric acid solution. *Corrosion Science*, 51(12), 2848–2856. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.016>
- Tejeda Benítez, L. P., Meza Castellar, P. J., Altamiranda Percy, E. D., & Berrocal Bravo, M. J. (2014). Plant extracts used as corrosion inhibitors. *Informador Técnico*, 78(2), 155.  
<https://doi.org/10.23850/22565035.99>
- Valladares, M., Melgoza, R., & Cuevas, C. (2015). Inhibidores naturales en el control de la corrosión de materiales metálicos.
- Xhanari, K., Finšgar, M., Knez Hrnčič, M., Maver, U., Knez, Ž., & Seiti, B. (2017). Green corrosion inhibitors for aluminium and its alloys: a review. *RSC Advances*, 7(44), 27299–27330. <https://doi.org/10.1039/C7RA03944A>

## **ANEXOS**

### **Anexo 1**

Placas de acero A36 sometidas a ensayo de corrosión acelerada



### **Anexo 2**

Plátano tipo seda del cual se usó su cáscara



### Anexo 3

Probetas fabricadas de PVC



### Anexo 4

Formación de HCl al 0.5M



## Anexo 5

Introducción de placas las probetas



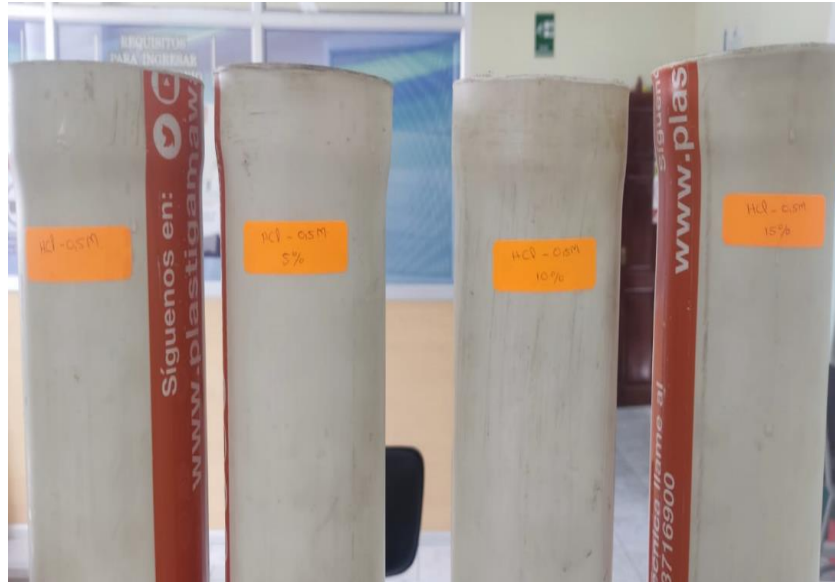
## Anexo 6

Aplicación de ácido e inhibidor dentro de las probetas



## Anexo 7

Etiquetado de grupos de placas



## Anexo 8

Placas luego del ensayo de corrosión, con el grupo control para el ensayo de tracción





## Anexo 9

### Ensayo de tracción

