



Tecnología y ciencia

ISSN: 1666-6917

ISSN: 1666-6933

rtyc@utn.edu.ar

Universidad Tecnológica Nacional

Argentina

Byrne, Christian; Toro, Santino Mariano; Uviedo Barone, Nicole Rocío; D'Alessandro, Oriana
Aminoácidos como inhibidores de corrosión del acero al carbono en medio ácido
Tecnología y ciencia, núm. 54, 2025, Septiembre-Diciembre, pp. 80-92
Universidad Tecnológica Nacional
Buenos Aires, Argentina, Argentina

DOI: <https://doi.org/10.33414/rtyc.54.80-92.2025>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=747882892005>

- ▶ [Cómo citar el artículo](#)
- ▶ [Número completo](#)
- ▶ [Más información del artículo](#)
- ▶ [Página de la revista en redalyc.org](#)

[redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante

Infraestructura abierta no comercial propiedad de la academia



Aminoácidos como inhibidores de corrosión del acero al carbono en medio ácido

Amino acids as corrosion inhibitors of carbon steel in acidic medium

Presentación: 15/05/2025

Aprobación: 01/10/2025

Publicación: 13/10/2025

Christian Byrne

 <https://orcid.org/0000-0003-0813-9157>

Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas y Recubrimientos (CIDEPINT), Argentina.
c.byrne@cidepint.ing.unlp.edu.ar

Santino Mariano Toro

 <https://orcid.org/0009-0004-7150-5513>

Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
santinomarianotoro@gmail.com

Nicole Rocío Uviedo Barone

 <https://orcid.org/0009-0008-8600-7989>

Instituto Superior de Formación Técnica N°202, Berisso, Argentina.
uviedonicole03@gmail.com

Oriana D'Alessandro

 <https://orcid.org/0000-0001-7096-5527>

Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas y Recubrimientos (CIDEPINT), Argentina.
o.dalessandro@cidepint.ing.unlp.edu.ar

Resumen

La corrosión del acero en medio ácido representa un desafío en diversas industrias como las de gas y petróleo. En este estudio, se investigó el potencial de los aminoácidos triptófano (TRP), ácido glutámico (GLU), ácido aspártico (ASP) y fenilalanina (PHE) como inhibidores de corrosión para el acero SAE 1010 en una solución de HCl 0,1 M. Se realizaron ensayos electroquímicos, incluyendo resistencia a la polarización lineal, potencial a circuito abierto y curvas de polarización potenciodinámica (Tafel), así como análisis de la superficie mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia de

rayos X de energía dispersiva (EDS). Los resultados revelaron que TRP, GLU y ASP mostraron propiedades inhibitorias, con TRP presentando una eficiencia de inhibición del 72% a una concentración de 1000 ppm. En contraste, PHE no mostró un efecto inhibitorio significativo. El análisis SEM-EDS confirmó que TRP formó una película protectora más efectiva sobre la superficie del acero.

Palabras claves: acero SAE 1010, triptófano, ácido glutámico, ácido aspártico, fenilalanina

Abstract

The corrosion of steel in acidic environments, a significant challenge in industries like oil and gas, was investigated. This study explored the potential of tryptophan (TRP), glutamic acid (GLU), aspartic acid (ASP), and phenylalanine (PHE) as corrosion inhibitors for SAE 1010 steel in 0.1 M HCl. Electrochemical tests, including linear polarization resistance, open-circuit potential, and potentiodynamic polarization (Tafel) curves, along with surface analysis using scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), were conducted. Results indicated that TRP, GLU, and ASP exhibited inhibitory properties, with TRP achieving a 72% inhibition efficiency at 1000 ppm. Conversely, PHE showed negligible inhibitory effects. SEM-EDS analysis confirmed that TRP formed a more effective protective film on the steel surface.

Keywords: SAE 1010 steel, tryptophan, glutamic acid, aspartic acid, phenylalanine

1. Introducción

La corrosión metálica se define como un proceso electroquímico natural, en el cual los metales, al interactuar con el entorno que los rodea, experimentan una oxidación espontánea, buscando alcanzar un estado de mayor estabilidad. Este fenómeno desencadena la degradación progresiva de los materiales metálicos, lo que se traduce en pérdidas económicas significativas, derivadas de la necesidad de reparaciones y reemplazos, además de los riesgos inherentes para la seguridad y el medio ambiente (Cinitha et al., 2014).

El acero al carbono es el material más común en la construcción de tuberías para petróleo y gas, y es susceptible a dos tipos principales de corrosión: interna y externa. La corrosión externa se produce por la interacción del material de la tubería con el medio ambiente que la rodea, ya sea el suelo, el agua o la atmósfera (Wasim et al., 2022). La corrosión interna, por su parte, es causada por sustancias corrosivas presentes en el fluido transportado o por residuos introducidos durante la fabricación o instalación (Zhang et al., 2017). El crudo y el gas natural extraídos de yacimientos contienen dióxido de carbono (CO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S) y agua. La disolución de estos gases en agua genera ácido carbónico (H₂CO₃) y sulfhídrico (H₂S), induciendo la incrustación de carbonatos y sulfuros de hierro en las paredes internas de las tuberías (Askari et al., 2019). Por otro lado, las soluciones de ácido clorhídrico (HCl) se emplean ampliamente en decapado, limpieza ácida industrial, desincrustación y procesos de acidificación de pozos petrolíferos (Yadav et al., 2015). La naturaleza agresiva del HCl provoca una corrosión severa de las tuberías de acero durante este proceso, lo que resulta en pérdidas significativas de recursos y financieras (Yadav et al., 2015).

La prevención de la corrosión externa en tuberías se logra principalmente mediante revestimientos protectores y protección catódica. Por otro lado, para mitigar la corrosión interna, se aplican estrategias como la reducción del contenido de agua, la aplicación de recubrimientos internos y la inyección de inhibidores de corrosión. Los inhibidores de corrosión, compuestos que reducen la velocidad de corrosión al ser añadidos en pequeñas cantidades, actúan alterando el ambiente corrosivo o formando una película protectora sobre la superficie metálica (El Ibrahimy et al., 2020).

Los inhibidores de corrosión se clasifican generalmente según su origen, distinguiendo entre orgánicos e inorgánicos, y su método de obtención, entre naturales y sintéticos. Aunque los inhibidores orgánicos sintéticos y los tradicionales inorgánicos han sido extensamente utilizados, su naturaleza tóxica ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles. En este contexto, los compuestos orgánicos naturales han emergido como una opción atractiva, destacando por su bajo costo, toxicidad reducida y facilidad de obtención a partir de fuentes renovables (Popoola, 2019). Entre estos compuestos, destacan los extractos acuosos de especies vegetales (Byrne et al., 2021; D'Alessandro et al., 2018a, 2018b) y las soluciones de aminoácidos (Hamadi et al., 2018). Este tipo de inhibidores de la corrosión poseen en su estructura grupos funcionales electronegativos y electrones π en dobles enlaces conjugados, los cuales promueven su adsorción en la interfase metal-solución, generando así una barrera protectora que impide el acceso de las moléculas de agua (Aouniti et al., 2013).

Los aminoácidos naturales, componentes fundamentales de las proteínas, poseen una estructura con un grupo carboxílico y un grupo amino en sus extremos, unidos a un carbono principal que también enlaza un átomo de hidrógeno y un grupo R. Según la naturaleza química del grupo R, los aminoácidos se pueden clasificar en: alifáticos lineales (glicina y alanina), alifáticos ramificados (valina, leucina, isoleucina), alifáticos hidroxílicos (serina, treonina), azufrados (cisteína, metionina), aromáticos (triptófano e histidina), heterocíclicos (fenilalanina y tirosina), aniónicos o ácidos (ácido aspártico, ácido glutámico), catiónicos o básicos (lisina, arginina), iminos (prolina) y amidas (asparagina y glutamina) (Dewangan et al., 2023).

Diversos aminoácidos y derivados han sido investigados como inhibidores de la corrosión del acero al carbono. En medio H_2SO_4 0,1 M, cisteína, serina, triptófano y fenilalanina demostraron una eficiencia inhibidora porcentual (EI%) superior al 80% a una concentración 0,04 M (Eddy, 2011). Asimismo, en medio HCl 0,5 M, asparagina, isoleucina y prolina en concentraciones 1000 ppm mostraron una EI% de 90% (Pour-Ali et al., 2023). Leucina, metionina y ácido glutámico, en niveles 0,4 M en un medio HCN proveniente de un extracto de yuca, presentaron EI% cercanas al 45% (Alagbe et al., 2009). Por otro lado, algunos compuestos derivados de valina, alanina y tirosina mostraron una EI% superior al 70% cuando están presentes en una concentración 100 ppm en medio HCl 1 M (Olivares et al., 2006). En un medio de ácido cítrico, soluciones 0,01 M de ácido aspártico, arginina y glicina protegieron el hierro de alta pureza con EI% de 54%, 60% y 1%, respectivamente (Zerfaoui et al., 2004). Además, se ha determinado para glutamina 100 ppm en HCl 1 M una EI% de 96% sobre acero dulce (Singh et al., 2013) y para histidina 1000 ppm en NaCl 3,5% una EI% de 91% sobre acero al carbono (da Silva Moura et al., 2024). Finalmente, treonina y lisina han sido investigadas como inhibidores de corrosión para acero inoxidable en soluciones corporales artificiales, observándose un aumento en la eficiencia de inhibición con la concentración de aminoácidos (Radovanović et al., 2021).

En este trabajo se evalúa el desempeño anticorrosivo sobre acero SAE 1010 de soluciones de fenilalanina (PHE), triptófano (TRP), ácido glutámico (GLU) y ácido aspártico (ASP) a diferentes concentraciones en medio HCl 0,1 M, y a continuación se analiza la superficie del acero tras la exposición a estos inhibidores.

2. Metodología

2.1. Preparación y caracterización de las soluciones

Se prepararon soluciones 1, 10, 100 y 1000 ppm de cada uno de los aminoácidos en HCl 0,1 M. Se utilizaron reactivos comerciales pro-análisis: ácido glutámico (Parafarm), ácido L-aspártico (Parafarm), L-fenilalanina (Biopack) y DL-triptófano (Anedra). Las soluciones de aminoácidos se prepararon mediante pesaje en balanza analítica y posterior disolución en HCl 0,1 M, preparado a partir de HCl 37% (Carlo Erba) y agua ultrapura (OSMOION, APEMA). El pH y la conductividad de cada solución se determinaron con un pH-metro (Arcano PHS-3E) y un conductímetro (ATI Orion Modelo 170), respectivamente.

2.2. Ensayos electroquímicos

Los ensayos electroquímicos se realizaron sobre probetas cilíndricas de acero con sección transversal 0,28 cm² como electrodos de trabajo. La composición del acero SAE 1010 fue: C (0,08-0,13%), Fe (99,18-99,62%), Mn (0,30-0,60%), P (< 0,040%) y S (< 0,050%). Los electrodos de acero se pulieron con lijas al agua (con SiC como abrasivo y número de granos 220, 320, 400 y 600), empleando alcohol etílico como lubricante. Luego se limpiaron con un algodón embebido con el mismo alcohol, se secaron al aire durante 5 minutos a una temperatura de 20°C y se utilizaron inmediatamente. El electrolito utilizado para todos los ensayos fue una solución de HCl 0,1 M. Las mediciones se efectuaron con un potenciostato Gamry Interface 1000 y se analizaron con Gamry Echem Analyst Versión 7.06. En todos los casos se trabajó con soluciones agitadas mecánicamente a 300 rpm y expuestas a la atmósfera, con una temperatura ambiente de 20 ± 5 °C.

2.2.1. Resistencia a la polarización lineal

Las medidas de resistencia a la polarización lineal se llevaron a cabo en una celda de tres electrodos, constituida por un electrodo de trabajo de acero, un electrodo de referencia de Ag/AgCl (sat.) y un contraelectrodo de Pt. Las mediciones se realizaron después de 5 horas de inmersión, utilizando un rango de barrido de ±20 mV alrededor del potencial a circuito abierto y una velocidad de barrido de 0,25 mV s⁻¹. La resistencia a la polarización (R_p) se determinó a partir de la pendiente de la curva potencial vs. intensidad de corriente. La eficiencia inhibidora porcentual (EI%) se calculó mediante la ecuación:

$$EI\% = (R_{p_A} - R_{p_0}) / R_{p_A} \quad (1)$$

donde R_{p_A} es la resistencia a la polarización del acero sumergido en la solución con aminoácido y R_{p_0} es la resistencia a la polarización del acero sumergido en la solución blanco, es decir, aquella solución de HCl 0,1 M a la que no se le adiciona inhibidor.

Cada experimento se llevó a cabo por triplicado. Los resultados se presentan como el valor promedio con su respectiva desviación.

2.2.2. Potencial a circuito abierto

El potencial a circuito abierto se midió cada 1 minuto durante 5 horas, utilizando un electrodo de referencia de Ag/AgCl (sat.). Cada experimento se repitió en tres ocasiones, y los resultados se presentan como valores promedio.

2.2.3. Curvas de polarización potenciodinámica (Tafel)

Las curvas de Tafel se obtuvieron mediante un ensayo de polarización potenciodinámica en una celda de tres electrodos, en condiciones análogas a las del apartado 2.2.1. Las mediciones se realizaron por triplicado, tras 5 horas de inmersión en las soluciones ensayadas, aplicando un barrido de potencial de ± 250 mV respecto al potencial a circuito abierto y con una velocidad de 1 mV s⁻¹. El barrido se realizó de forma secuencial, iniciando con la polarización catódica y continuando con la anódica. Para cada condición se determinó la corriente de corrosión (I_{corr}) utilizando el método de extrapolación de Tafel (McCafferty, 2005).

2.3. Análisis de las superficies

Tras las 5 horas de inmersión, los electrodos de acero SAE 1010 utilizados para las mediciones de potencial a circuito abierto se enjuagaron con agua ultrapura y se secaron al aire a 20 ± 2 °C y $70 \pm 5\%$ de humedad relativa. La microestructura superficial se examinó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), y la composición elemental se determinó mediante espectroscopia de rayos X de energía dispersiva (EDX), utilizando un análisis cuantitativo sin estándares. El análisis SEM se realizó con un microscopio electrónico de barrido FEI Quanta 200, y el análisis EDX se llevó a cabo con un microanalizador de energía dispersiva EDAX con detector Apollo 40 SDD.

3. Resultados

3.1. Preparación y caracterización de las soluciones

Las soluciones exhibieron un pH de 1.0 y una elevada conductividad de $49 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, valores directamente atribuibles a la presencia de HCl 0,1 M.

3.2. Ensayos electroquímicos

3.2.1. Resistencia a la polarización lineal

En la Figura 1 se presentan las gráficas de potencial en función de la intensidad de corriente obtenidas para los electrodos de acero sumergidos durante 5 horas en la solución blanco y en las distintas soluciones de aminoácidos en HCl 0,1 M.

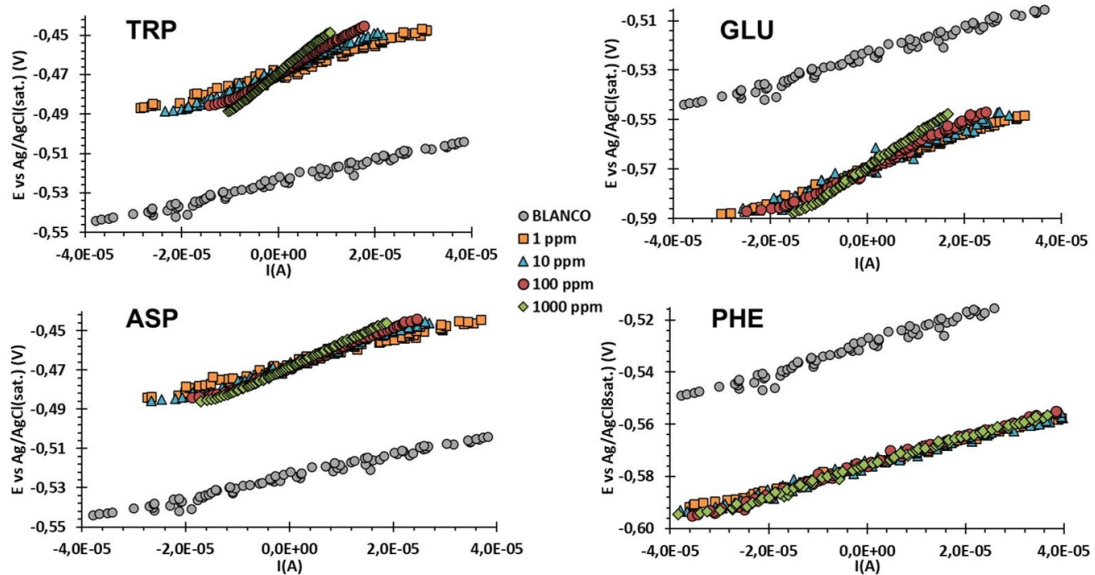


Fig. 1: Curvas de polarización lineal del acero luego de 5 horas de inmersión en las diferentes soluciones.

Los resultados revelan que la resistencia a la polarización, determinada a partir de la pendiente de las curvas, se incrementa con la concentración para la mayoría de los aminoácidos evaluados. No obstante, se observó que PHE no produjo cambios apreciables en la pendiente en comparación con la solución blanco, independientemente de la concentración.

Para cada solución ensayada se realizó el cálculo de EI%, y los resultados se muestran en la Tabla 1. Para la concentración óptima de 1000 ppm, se determinó el siguiente orden de EI%: TRP>GLU>ASP>PHE.

| | Concentración (ppm) | Rp (kΩ) | EI% |
|--------|---------------------|---------|-------|
| Blanco | - | 0,6±0,1 | - |
| | 1 | 0,8±0,1 | 25±12 |
| TRP | 10 | 1,0±0,2 | 40±20 |
| | 100 | 1,4±0,2 | 57±14 |
| | 1000 | 2,0±0,2 | 70±10 |
| | 1 | 0,7±0,1 | 14±13 |
| GLU | 10 | 0,9±0,1 | 33±11 |
| | 100 | 1,1±0,2 | 45±19 |
| | 1000 | 1,4±0,2 | 57±14 |
| | 1 | 0,7±0,1 | 14±13 |
| ASP | 10 | 0,9±0,1 | 33±11 |
| | 100 | 1,0±0,2 | 40±20 |
| | 1000 | 1,2±0,2 | 50±17 |
| | 1 | 0,5±0,1 | 0 |
| PHE | 10 | 0,5±0,1 | 0 |
| | 100 | 0,5±0,2 | 0 |
| | 1000 | 0,6±0,1 | 0 |

Tabla 1: Eficiencias inhibitoras para cada una de las soluciones de aminoácidos.

3.2.2. Potencial a circuito abierto

El registro del potencial a circuito abierto (también denominado potencial de corrosión, E_{corr}) a lo largo del tiempo es una técnica electroquímica fundamental para evaluar la tendencia a la corrosión de un material en un entorno específico. La Figura 2 muestra la evolución del potencial a circuito abierto (vs. Ag/AgCl sat.) durante 5 horas para los electrodos de acero expuestos a la solución BLANCO y a soluciones 1000 ppm de cada aminoácido en HCl 0,1 M.

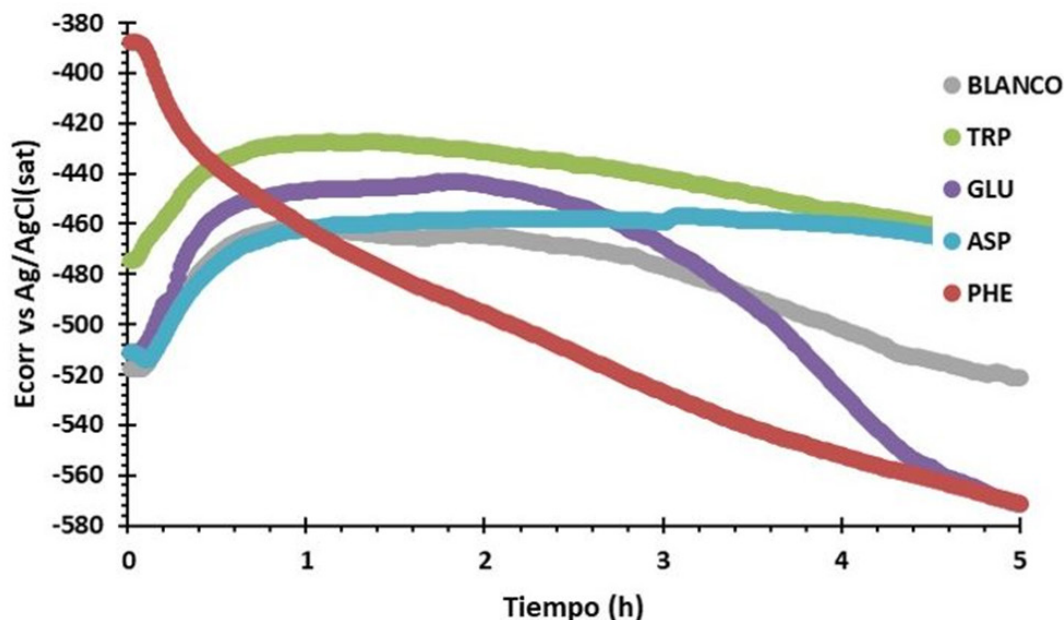


Fig. 2: E_{corr} vs Ag/AgCl(sat.) en función del tiempo para el acero expuesto a la solución BLANCO y a las soluciones 1000 ppm de los aminoácidos en HCl 0,1 M.

La muestra expuesta a la solución BLANCO mostró un incremento inicial en el E_{corr} , desde -510 mV hasta -460 mV en los primeros 35 minutos. Sin embargo, tras dos horas de exposición, se observó una disminución del potencial, estabilizándose finalmente en -520 mV. Las muestras expuestas a las soluciones GLU y ASP compartieron el mismo potencial inicial que la muestra BLANCO. La muestra GLU experimentó un aumento progresivo del E_{corr} durante los primeros 30 minutos, alcanzando un valor estable de -470 mV. En contraste, la muestra ASP también mostró un incremento inicial hasta -450 mV a los 30 minutos, pero posteriormente, después de dos horas, el E_{corr} comenzó a declinar, alcanzando -570 mV al final del ensayo. La muestra de acero expuesta a la solución PHE presentó un E_{corr} inicial más noble (-390 mV) en comparación con las demás muestras. No obstante, se observó una disminución asintótica continua del potencial a lo largo del experimento, culminando en un valor final de -570 mV. Finalmente, la muestra expuesta a TPR presentó un potencial inicial intermedio, del orden de -475 mV. El potencial aumentó durante los primeros 30 minutos hasta un valor de -430 mV, pero luego de 1 hora de exposición el potencial comenzó a descender levemente, alcanzando -470 mV al término del ensayo.

En consecuencia, se observa que las muestras de acero expuestas a las soluciones de TPR

y ASP exhibieron potenciales de corrosión consistentemente más nobles (más positivos) en comparación con la muestra expuesta a la solución BLANCO. Este comportamiento sugiere que la presencia de estos aminoácidos promueve la formación de una superficie menos activa, lo que a su vez se traduce en una menor tendencia a la corrosión (Fontana, 1986).

3.2.3. Curvas de polarización potenciodinámica (Tafel)

En la Figura 3 se presentan las curvas de Tafel para los electrodos de acero luego de 5 horas de exposición a la solución BLANCO y a soluciones 1000 ppm de cada aminoácido en HCl 0,1 M. Se puede apreciar que en el caso de la muestra expuesta a la solución PHE los valores de corriente obtenidos son prácticamente análogos a los de la muestra expuesta a la solución BLANCO, lo que indica la ausencia de un efecto inhibitor por parte de este aminoácido, hallazgo que resulta acorde con lo observado en las medidas de resistencia a la polarización lineal. En contraste, las muestras de acero expuestas a las soluciones TRP, GLU y ASP mostraron una disminución en las corrientes anódicas y catódicas, lo que sugiere que estos aminoácidos actúan como inhibidores de tipo mixto.

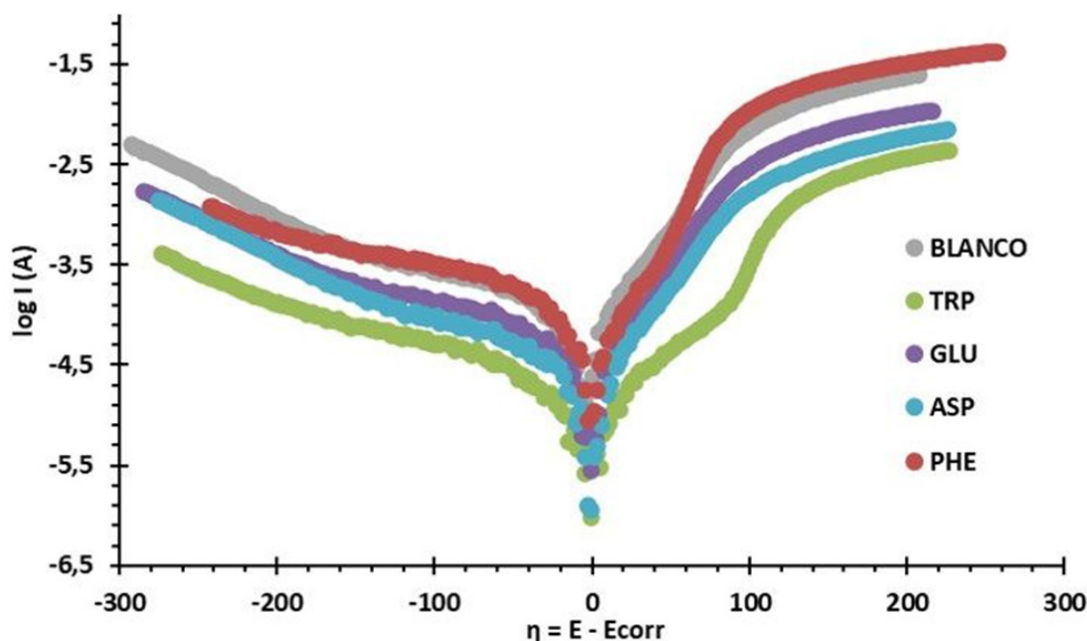


Fig. 3: Curvas de Tafel para el acero luego de 5 horas de inmersión en la solución BLANCO y en las soluciones 1000 ppm de los aminoácidos en HCl 0,1 M.

La mayor inhibición se observó en la muestra expuesta a TRP, lo que también se alinea con los resultados previos de polarización lineal. En el caso de la muestra expuesta a TRP, se observó la presencia de un hombro en la rama anódica de la curva de Tafel, un fenómeno también reportado en la literatura por Guo et al. (2017). Este hombro desaparece al añadir surfactantes, lo que sugiere la formación de un complejo TRP-surfactante que mejora la adhesión a la superficie metálica (Mobin et al., 2011).

El análisis de las curvas de Tafel permitió determinar los valores de I_{corr} , obteniéndose los siguientes resultados: $13 \pm 2 \mu A$ para TRP, $19 \pm 2 \mu A$ para GLU, $21 \pm 3 \mu A$ para ASP, $45 \pm 4 \mu A$ para PHE y $45 \pm 5 \mu A$ para BLANCO.

Finalmente, se constató que las pendientes anódicas y catódicas fueron similares para todas las soluciones evaluadas, lo que sugiere que no hay cambios en los mecanismos de las reacciones electroquímicas involucradas.

3.3. Análisis de las superficies

En la Figura 4 se presentan las microfotografías de las muestras de acero luego de 5 horas de inmersión en la solución BLANCO y en las soluciones 1000 ppm de los aminoácidos en HCl 0,1 M.

El examen de la morfología superficial reveló que la muestra BLANCO, sin inhibidor, presentaba escasas marcas de lijado y corrosión generalizada, corroborada mediante el análisis EDS. En la muestra TRP, se observó la formación de una película protectora de espesor reducido, evidenciado por la persistencia de las marcas de lijado. En las muestras GLU y ASP, se identificaron marcas de lijado y algunas cavidades resultantes de la corrosión. Por último, la muestra expuesta a la solución PHE mostró corrosión generalizada, similar a la observada en la muestra BLANCO.

La relación Fe/O, obtenida a partir del análisis EDS, se considera un parámetro indicativo de la formación de productos de corrosión oxigenados, donde valores más bajos señalan una mayor presencia de dichos productos. En este contexto, la muestra expuesta a la solución que contenía TRP presentó el valor más elevado de la relación Fe/O, seguida por GLU, ASP y PHE. Esta observación sugiere que la película protectora formada por TRP confiere una mayor resistencia a la corrosión en comparación con las películas generadas por GLU, ASP y PHE. Por otro lado, la presencia de Si en el análisis EDS se atribuye a residuos de los abrasivos empleados durante la preparación superficial del sustrato.

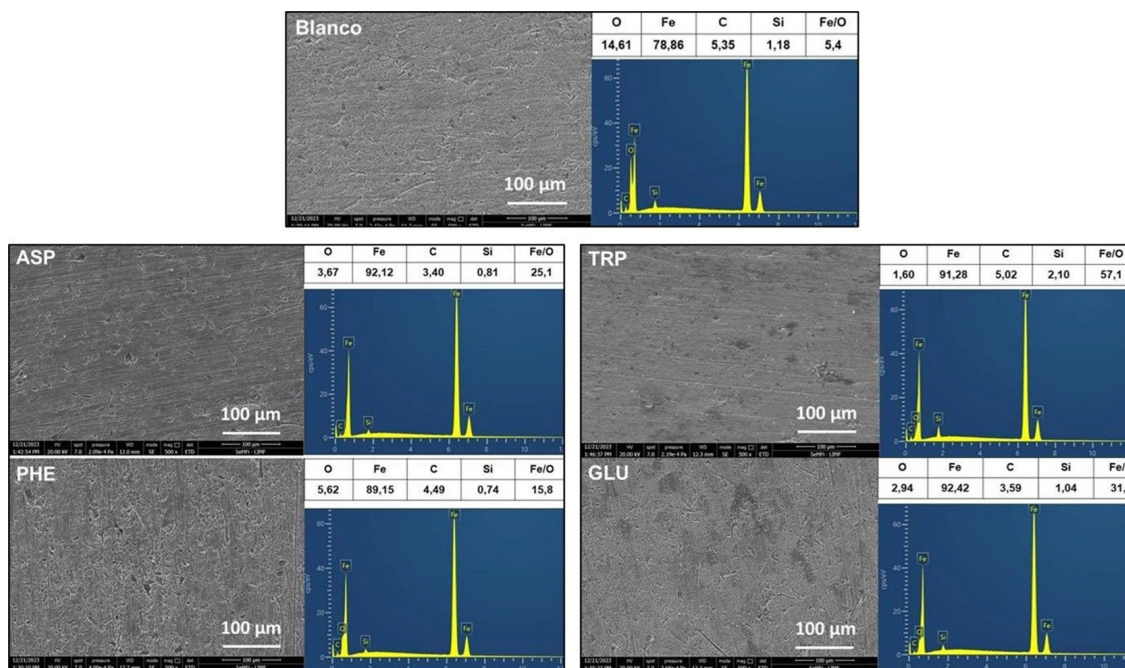


Fig. 4: Microfotografías y espectros EDS de las superficies de acero expuestas durante 5 horas a las diferentes soluciones.

3.4. Discusión de los resultados

La diferencia en la capacidad de inhibición de los distintos aminoácidos se debe a sus características estructurales y a la efectividad de su mecanismo de adsorción (Kasprzhitskii et al., 2021; Hluchan et al., 1988).

La elevada eficacia del TRP puede atribuirse a la quimisorción facilitada por su anillo de indol. Este anillo, rico en electrones, dona electrones π a la superficie del acero, formando enlaces de coordinación fuertes (Mobin et al., 2011; Fu et al., 2010). El nitrógeno del anillo, junto con los grupos amino y carboxilo, propician la interacción con múltiples sitios de adsorción. Además, su gran tamaño molecular, combinado con una configuración de adsorción planar, permite que la molécula cubra una amplia área de la superficie. Esto crea una densa barrera protectora por impedimento estérico, lo que a su vez previene eficazmente que las moléculas de agua penetren y alcancen la superficie del acero (Fu et al., 2010).

La inhibición moderada proporcionada por GLU y ASP se explica por la presencia de un grupo carboxilo adicional. Estos grupos cargados negativamente interactúan electrostáticamente con el acero y, junto con los grupos funcionales principales, ofrecen múltiples sitios de adsorción (Hamadi et al., 2018). La acción ligeramente superior de GLU se debe a que la energía de adsorción de los aminoácidos aumenta con la prolongación de la cadena lateral (Kasprzhitskii et al., 2021).

Finalmente, el anillo fenilo de la PHE no posee heteroátomos o grupos funcionales que donen electrones dentro de la estructura del anillo. Esto resulta en una quimisorción más débil y una adsorción predominantemente de tipo físico, lo que crea una película protectora menos estable e incapaz de proteger el acero de manera efectiva (Roscher et al., 2024; Huong et al., 2020; Eddy, 2011; Oguzie et al., 2011).

4. Conclusiones

Los resultados de este estudio confirman que los aminoácidos triptófano (TRP), ácido glutámico (GLU) y ácido aspártico (ASP) actúan como inhibidores de la corrosión del acero SAE 1010 en un medio de HCl 0,1 M. TRP fue el inhibidor más eficaz, logrando una eficiencia inhibidora del 72% a 1000 ppm. Los ensayos electroquímicos y el análisis de superficie confirmaron su superioridad, con una reducción de la corriente de corrosión por un factor de 3,5 respecto al blanco y la formación de una película protectora muy efectiva. Por otro lado, GLU y ASP mostraron efectos inhibitorios moderados, con una reducción de la corriente de corrosión en 2,4 y 2,1 veces, respectivamente. En contraste, el aminoácido fenilalanina (PHE) no mostró un efecto inhibidor significativo. Su presencia no alteró la corriente de corrosión respecto a la obtenida con la solución blanco, y el análisis de la superficie expuesta mostró una corrosión generalizada similar a la observada en la muestra sin inhibidor.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), a la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y a la Comisión de Investigaciones Científicas de Buenos Aires (CICPBA), por el apoyo económico brindado para llevar a cabo esta investigación.

Referencias

- Alagbe, M., Umoru, L., Afonja, A., & Olorunniwo, O. E. (2009). Investigation of the effect of different amino-acid derivatives on the inhibition of NST-44 carbon steel corrosion in cassava fluid. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 56(1), 43-50. <https://doi.org/10.1108/00035590910923455>
- Aouniti, A., Khaled, K. F., & Hammouti, B. (2013). Correlation Between Inhibition Efficiency and Chemical Structure of Some Amino Acids on the Corrosion of Armco Iron in Molar HCl. *International Journal of Electrochemical Science*, 8, 5925-5943. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)14731-6](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)14731-6)
- Askari, M., Aliofkhazraei, M., & Afroukhteh, Sahar. (2019). A comprehensive review on internal corrosion and cracking of oil and gas pipelines. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 71, 102971. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2019.102971>
- Byrne, C., Ramírez, M., Di Santo, E., Cristiano, N., Deyá, C., & D'Alessandro, O. (2021). Estudio de las propiedades anticorrosivas sobre acero SAE 1010 de extractos acuosos de romero (*Rosmarinus officinalis*), laurel (*Laurus nobilis*) y falso incienso (*Plectranthus coleoides*). *Revista Materia*, 26, 1-11. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13052>
- Cinitha, A., Umesha, P. K., & Iyer Nagesh R. (2014). An Overview of Corrosion and Experimental Studies on Corroded Mild Steel Compression Members. *Journal of Civil Engineering*, 18(6), 1735-1744. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0362-0>
- D'Alessandro, O., Selmi, G., Byrne, C., Deyá, C., & Romagnoli R. (2018a). Tanino de Tara como precursor de un inhibidor de corrosión para acero SAE 1010. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 30, 36-41. <https://www.fceqyn.unam.edu.ar/recyt/index.php/recyt/article/view/11>
- D'Alessandro, O., Selmi, G., Byrne, C., Deyá, C., & Romagnoli, R. (2018b). Tanino de Quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae*) como precursor de un inhibidor de corrosión para acero de bajo contenido de carbono. *Quebracho-Revista de Ciencias Forestales*, 26, 31-39. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48160748004>
- da Silva Moura, M., Bastos Vasques, R., Magalhães, S., Almeida Neto, F., de Lima Neto, P., dos Santos, L., Cerra Florez, M., Fargas Ribas, G., Santos Medeiros, S., Soares Salomão, F., Bedê Barros, E., & Silva Araújo, W. (2024). Assessment of the Amino Acid L-Histidine as a Corrosion Inhibitor for a 1018 Carbon Steel in Aqueous Sodium Chloride Solution. *Crystals*, 14(8), 703. <https://doi.org/10.3390/cryst14080703>
- Dewangan, Y., Berdimurodov, E., & Verma, D. K. (2023). Chapter 1 - Amino acids: Classification, synthesis methods, reactions, and determination. En: C. Verma; D. K. Verma (Eds.), *Handbook of Biomolecules* (pp. 3-23). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91684-4.00015-3>.
- Eddy, N. O. (2011). Experimental and theoretical studies on some amino acids and their potential activity as inhibitors for the corrosion of mild steel, part 2. *Journal of Advanced Research*, 2(1), 35-47. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2010.08.005>.
- El Ibrahimy, B., Jmiai A., Bazzi, L., & El Issami, S. (2020). Amino acids and their derivatives as corrosion inhibitors for metals and alloys. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 740-771. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.07.013>

- Fontana, M. G. (1986). *Corrosion engineering* (3rd ed). McGraw-Hill, New York.
- Fu, J., Li, S., Cao, I., Wang, Y., Yan, I., Lu, L. (2010). L-tryptophan as green corrosion inhibitor for low carbon steel in hydrochloric acid solution. *Journal of Materials Science*, 45, 979–986. <https://doi.org/10.1007/s10853-009-4028-0>
- Guo, L., Ye, G., Bassej Obot, I., Li, X., Shen, X., Shi, W., & Zheng, X. (2017). Synergistic Effect of Potassium Iodide with L-Tryptophan on the Corrosion Inhibition of Mild Steel: A Combined Electrochemical and Theoretical Study. *International Journal of Electrochemical Science*, 12(1), 166-177. <https://doi.org/10.20964/2017.01.04>
- Hamadi, L., Mansouri, S., Oulmi, K., & Kareche, A. (2018). The use of amino acids as corrosion inhibitors for metals: A review. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 1157-1165. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.04.004>
- Hluchan, V., Wheeler B. L., & Hackerman N. (1988). Amino acids as corrosion inhibitors in hydrochloric acid solutions. *Materials and corrosion*, 39(11), 512-517. <https://doi.org/10.1002/maco.19880391106>
- Huong, D. Q., Lan Huong, N. T., Anh Nguyet, T. T., Duong, T., Tuan, D., Thong, N. M., & Nam, P. C. (2020). Pivotal Role of Heteroatoms in Improving the Corrosion Inhibition Ability of Thiourea Derivatives. *ACS omega*, 5(42), 27655–27666. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04241>
- Kasprzhitskii, A., Lazorenko, G., Nazdracheva, T., & Yavna, V. (2021). Comparative Computational Study of L-Amino Acids as Green Corrosion Inhibitors for Mild Steel. *Computation*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.3390/computation9010001>
- McCafferty, E. (2005). Validation of corrosion rates measured by the Tafel extrapolation method. *Corrosion Science*, 47(12), 3202-3215. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.05.046>
- Mobin, M., Parveen, M., & Khan, M. A. (2011). Inhibition of Mild Steel Corrosion Using L-tryptophan and Synergistic Surfactant Additives. *Port. Electrochim. Acta*, 29(6), 391-403. <https://doi.org/10.4152/pea.201106391>
- Oguzie, E. E., Li, Y., Wang, S. G., & Wang, F. (2011). Understanding corrosion inhibition mechanisms—Experimental and theoretical approach. *RSC Advances*, 1(5), 866. <https://doi.org/10.1039/c1ra00148e>
- Olivares, O., Likhanova, N.V., Gómez, B., Navarrete, J., Llanos-Serrano, M., Arce, E., & Hallen, J. (2006). Electrochemical and XPS studies of decyl amides of α -amino acids adsorption on carbon steel in acidic environment. *Applied Surface Science*, 252(8), 2894-2909. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2005.04.040>
- Popoola, L. T. (2019). Organic green corrosion inhibitors (OGCIs): a critical review. *Corrosion Reviews*, 37(2), 71-102. <https://doi.org/10.1515/corrrev-2018-0058>
- Pour-Ali, S., Tavangar, R., & Hejazi, S. (2023). Comprehensive assessment of some l-amino acids as eco-friendly corrosion inhibitors for mild steel in HCl: Insights from experimental and theoretical studies. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 181, 111550. <https://doi.org/10.1016/j.jpics.2023.111550>
- Radovanović, M., Petrović Mihajlović, M., Tasić, Ž., Simonović, A., & Antonijević, M. (2021). Inhibitory effect of L-Threonine and L-Lysine and influence of surfactant on stainless steel corrosion in artificial body solution. *Journal of Molecular Liquids*, 342, 116939. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116939>

Roscher, J., Liu, D., Xie, X., & Holze, R. (2024). Aromatic Metal Corrosion Inhibitors. *Corrosion and Materials Degradation*, 5(4), 513-560. <https://doi.org/10.3390/cmd5040024>

Singh, A., & Ebenso, E. E. (2013). Use of Glutamine as a New and Effective Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1 M HCl Solution. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 8(12), 12874-12883. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)13313-X](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)13313-X)

Wasim, M., & Djukic, M. B. (2022). External corrosion of oil and gas pipelines: A review of failure mechanisms and predictive preventions. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 100, 104467. <http://doi.org/10.1016/j.jngse.2022.104467>

Yadav, M., Sarkar, T. K., & Purkait, T. (2015). Amino acid compounds as eco-friendly corrosion inhibitor for N80 steel in HCl solution: Electrochemical and theoretical approaches. *Journal of Molecular Liquids*, 212, 731-738. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2015.10.021>

Zerfaoui, M., Oudda, H., Hammouti, B., Kertit, S., & Benkaddour, M. (2004). Inhibition of corrosion of iron in citric acid media by aminoacids, *Prog. Org. Coat.*, 51(2), 134-138. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2004.05.005>

Zhang, H., & Lan, H. (2017). A review of internal corrosion mechanism and experimental study for pipelines based on multiphase flow. *Corrosion Reviews*, 35(6), 425-444. <https://doi.org/10.1515/corrrev-2017-0064>

Contribución de los Autores

| Nombres y Apellidos del autor | Colaboración Académica | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Christian Byrne | | | x | x | x | x | x | | | x | x | x | x | x |
| Santino Mariano Toro | | | | | | | x | | | | | | | |
| Nicole Uviedo Barone | | | | | | | x | | | | | | | |
| Oriana D'Alessandro | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | x |

1-Administración del proyecto, 2-Adquisición de fondos, 3-Análisis formal, 4-Conceptualización, 5-Curaduría de datos, 6-Escritura - revisión y edición, 7-Investigación, 8-Metodología, 9-Recursos, 10-Redacción - borrador original, 11-Software, 12-Supervisión, 13-Validación, 14-Visualización.