

EVALUACIÓN DE DOS EXTRACTOS NATURALES PARA MITIGAR LA CORROSIÓN COMO INHIBIDORES EN MEDIO ÁCIDO

EVALUATION OF TWO NATURAL EXTRACTS TO MITIGATE CORROSION AS INHIBITORS IN ACID MEDIUM

Torres- Hernández J.R.¹ Del Ángel- Meraz E. *, Corvo- Pérez F.E. ².

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura,
Carretera Cunduacán-Jalpa KM. 1. Col. La Esmeralda CP. 86690, Cunduacán, Tabasco, México

²Universidad Autónoma de Campeche, Centro de Investigación de la Corrosión, Av. Agustín Melgar S/N
entre calle 20 y Juan de la Barrera, Col Buenavista, c.p. 24039, Campeche, México

*ebelia.delangel@ujat.mx

Artículo Científico

Publicado: 31 de marzo 2025

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de dos extractos como inhibidores verdes de corrosión aplicándolo en acero SAE 1010 en medio ácido con HCl 1M. Se utilizó la extracción soxhlet para la obtención de compuestos químicos del maguey morado (*Tradescantia spathacea*) y de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), los extractos se caracterizaron por Cromatografía GC-MS. La velocidad de corrosión (V_{corr}) se evaluó con la técnica gravimétrica de pérdida de peso, donde se obtuvo una eficiencia del 91% y con el extracto de la cáscara de plátano y de 93% de eficiencia con el maguey morado en tiempos de inmersión de 6 días. Con la técnica de impedancia electroquímica se obtuvo 91% de eficiencia con el maguey morado y el 75% de eficiencia con la cáscara de plátano en tiempos de inmersión de 1 h.

Palabras clave: Inhibidor de corrosión, *Musa paradisiaca*, *Tradescantia spathacea*.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the efficiency of two extracts as green corrosion inhibitors by applying them to SAE 1010 steel in an acid medium with 1M HCl. Soxhlet extraction was used to obtain chemical compounds from purple maguey (*Tradescantia spathacea*) and banana peel (*Musa paradisiaca*), the extracts were characterized by GC-MS chromatography. The corrosion rate (V_{corr}) was evaluated with the gravimetric weight loss technique, where an efficiency of 91% was obtained with the banana peel extract and 93% efficiency with the purple maguey in immersion times of 6 days. With the electrochemical impedance technique, 91% efficiency was obtained with purple maguey and 75% efficiency with banana peel in immersion times of 1 h.

Keywords: Corrosion inhibitor, *Musa paradisiaca*, *Tradescantia spathacea*.

INTRODUCCIÓN

Los materiales metálicos que se encuentran expuestos en medios corrosivos, se deterioran en su estructura de forma física y química. Por lo general el acero al carbono es utilizado para el transporte de fluidos en oleoductos, gaseoductos y pozos petroleros. Para extender la vida útil del metal es necesario aplicar algún tipo de protección interior y los más utilizados son los inhibidores verdes de corrosión (Alao *et al.*, 2023).

Los inhibidores verdes de corrosión permiten la reducción de la velocidad de corrosión, además son amigables con el medio ambiente y biodegradables, a diferencia de los inhibidores de corrosión sintéticos que son tóxicos para el ambiente y son elaborados con compuestos químicos (Ortega-Ramírez *et al.*, 2021). Los inhibidores verdes son derivados de alguna parte de plantas como: tallos frutas hojas o de materiales biodegradables.

Su eficiencia varía de acuerdo con el tipo de compuesto extraído y son utilizados en la industria petrolera, en tratamientos de agua, en medios marinos y medios ácidos. Las moléculas orgánicas extraídas forman una película en la superficie del metal. esto se debe a la atracción electrostática del metal que hay en las interacciones de enlaces dobles y triples o también a los electrones de par solitario como el N, P, O y S en relación con el orbital d (Marzorati *et al.*, 2019).

Se han realizado estudios con el extracto de hojas de *Spinacia oleracea* conocida como la espinaca y extractos de *Raphanus sativus* conocida como rábano, mostraron eficiencia del 75% y 78% en concentraciones del extracto del 0.5 g/L, en medio ácido usando 0.1M de H_2SO_4 (Catalin Tampu *et al.*, 2020). También se ha realizado estudios con oligómeros de eugenol que demostraron 82% de eficiencia de tipo mixto usando 1M de HCl (Marzorati *et al.*, 2019). En otras investigaciones de vaina de *Prosopis africana* y *Citrullus lanatus* mostraron eficiencias del 97.8% y 98.5% en concentraciones de 1 g/L en 1M HCl (Shuaib-babata *et al.*, 2023)

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la extracción soxhlet para obtener los compuestos químicos de las hojas del maguey morado y de la cáscara de plátano. Se recolectaron y se secaron en un horno a 70 C por 4 h, posteriormente se trituraron en un mortero y se colocaron en el extractor soxhlet con una solución de etanol-agua desionizada (80 mL -20 mL) hasta que la extracción sea por ciclos repetitivos durante 8 horas (Ait Aghzzaf *et al.*, 2020).

Con la técnica gravimétrica de pérdida de peso y con la ecuación 1 se realizaron los cálculos de velocidad de corrosión y con la ecuación 2 se realizaron los cálculos de eficiencia de cada extracto en diferentes concentraciones, que variaron de 0, 200, 400, 600 800, 1000 y 1200 ppm.

$$V_{corr} \left(\frac{\Delta m}{S \times t} \right) \quad (1)$$

$$n (\%) = \left(\frac{V_{corr} - V'_{corr}}{V_{corr}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

$\Delta m = m_1 - m_2$ (mg), m_1 : masa inicial, m_2 : masa final, S : area de la muestra (cm^2), t : tiempo de inmersión (min), V_{corr} : velocidad de corrosión sin extracto, V'_{corr} : velocidad de corrosión con extracto.

Se utilizó la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE) con un equipo potenciostato-galvanostato 128-PGSTAT adaptándose con una celda de tres electrodos, formada por un electrodo de referencia de calomel (SCE), un contraelectrodo de platino (CE) y un electrodo de trabajo (WE) de acero SAE 1010 con un área expuesta de 1 cm^2 , sumergidos en solución de HCl (1 M) a temperatura ambiente durante tiempos de inmersión de 1 h. Las pruebas EIE se realizaron en un rango de frecuencia de 10000 a 0,01 Hz, con una amplitud de 10 mV, utilizando señal de corriente alterna.

Se agregó extracto de maguey morado (EMM) en concentraciones de 200 a 1000 ppm a la solución de 1 M HCl. De la misma forma se agregó extracto de cáscara de plátano (ECP) en concentraciones de 200 a 1200 ppm a la solución de 1M HCl. Los experimentos

para cada extracto se realizaron por triplicado.

La eficiencia se calculó de acuerdo con la Ecuación 3.

$$\% \eta = \frac{R_{pinh} - R_p}{R_{pinh}} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

η : eficiencia del inhibidor en porcentaje (%), R_{pinh} : Resistencia de polarización con extracto R_p : Resistencia de polarización sin extracto (Mahdi *et al.*, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de cromatografía de gases (GC-MS). En la **Tabla 1**, se puede observar algunos de los compuestos presentes del EMM como el fenol ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$), fureleno ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_3$) y ácido palmítico ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$).

En la **Tabla 2**, se puede observar algunos de los compuestos de mayor presencia del ECP, entre ellos: el fenol ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$) y $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}$ (octadecanal).

Los hidroxilos, fenoles y ácidos carboxílicos se consideran compuestos efectivos en aplicaciones como inhibidores de corrosión (Ogunleye *et al.*, 2020).

Los compuestos heterocíclicos tienden a formar capas protectoras en la superficie del metal (Li *et al.*, 2021).

Tabla 1. Cromatografía GC-MS de EMM

Formula	Nombre	Tiempo de retención (min)	Área (%)
C ₆ H ₆ O	Fenol	3.49	28.31
C ₆ H ₈ O ₃	Furaneol	6.62	13.65
C ₇ H ₅ NS	Benzotiazol	6.85	14.68
C ₆ H ₈ N ₂ O	2,3-Diaminofenol	6.92	1.14
C ₉ H ₁₀ O ₂	Benzoato de etilo	7.75	3.66
C ₁₆ H ₃₂ O	hexadecanal	15.89	2.95
C ₁₆ H ₃₄ O ₃	Éter monododecílico de dietilenglicol	17.19	3.58
C ₁₇ H ₃₆ N ₂ O	Tetrabutilurea	19.31	4.76
C ₁₁ H ₁₆ O ₃	Loliolida (benzofurano)	3.14	3.94

Tabla 2. Cromatografía GC-MS de ECP

Fórmula	Nombre	Tiempo de retención (min)	% Área
C ₁₀ H ₂₂ O	1-Decanol	2.86	3.11
C ₃ H ₈ O ₃	propano-1,2,3-triol	3.41	6.41
C ₆ H ₆ O	Fenol	3.51	6.55
C ₄ H ₆ O ₃	ácido acetoacético	3.70	0.92
C ₆ H ₁₀ O	ciclohexanona	9.20	5.57
C ₁₄ H ₂₂ O	4-n-octilfeno	13.07	3.66
C ₃₁ H ₄₈ O ₂	fitonadiol	13.61	3.44
C ₁₈ H ₃₆ O	Octadecanal	15.30	11.02
CH ₃ (CH ₂) ₁₄ CO OH	ácido palmítico	16.78	6.33
C ₁₈ H ₃₄ O ₂	ácido oleico	18.54	4.18
C ₂₁ H ₄₀ O	2-hidroxi-2-metil-3-eicosino	20.31	2.88
C ₂₀ H ₂₆	3,4-dimetil-3,4-difenilhexano	20.48	1.75

Pérdida de peso. En la **Figura 1** se observan los resultados obtenidos de la técnica gravimétrica de pérdida de peso en donde se obtuvieron los resultados de eficiencia para el maguey morado a concentraciones de 0-1200 ppm.

En la **Tabla 3**, se puede observar que la eficiencia de inhibición aumenta con el incremento de la concentración del EMM, siendo la mayor eficiencia del 94% y la Vcorr de 1.36 mg/cm²h en concentraciones de 1200 ppm.

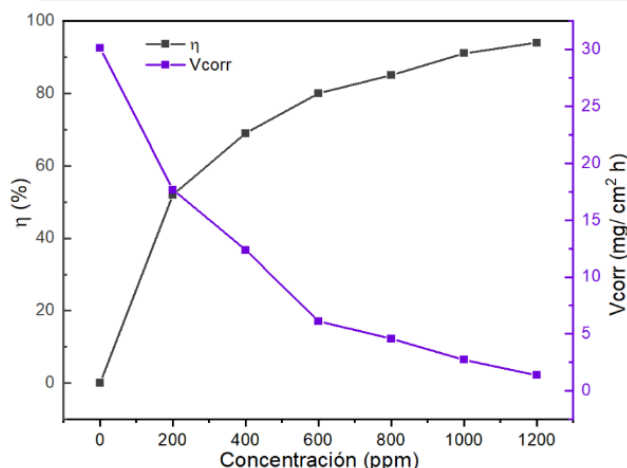


Figura 1. Técnica gravimétrica del EMM.

Tabla 3. Parámetros de pérdida de peso del EMM.

Concentración del EMM (ppm)	Vcorr (mg/cm ² h)	Eficiencia η (%)
0	30.11	0
200	17.67	52
400	12.37	69
600	6.12	80
800	4.57	85
1000	2.72	91
1200	1.36	94

En la **Figura 2** se observan los resultados obtenidos de la técnica gravimétrica de pérdida de peso en donde se obtuvieron los resultados eficiencia para la cáscara de plátano en concentraciones de 0-1000 ppm.

En la **Tabla 4**, se puede observar que la eficiencia de inhibición aumenta con el incremento de la concentración del ECP, siendo la mayor eficiencia del 91% y la Vcorr de 2.63 mg/cm²h en concentraciones de 1000 ppm.

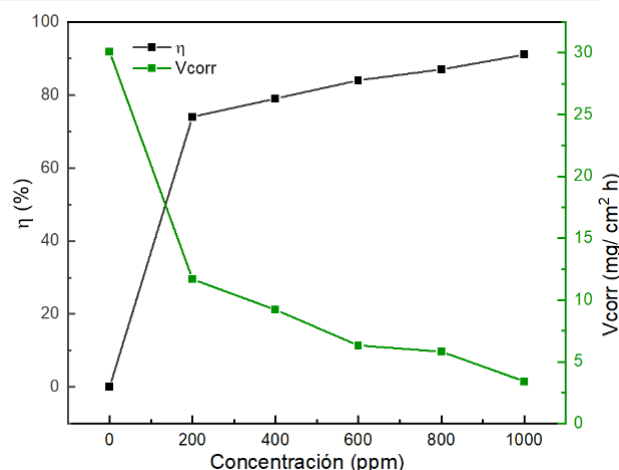


Figura 2. Técnica gravimétrica del ECP.

Tabla 4. Parámetros de pérdida de peso del ECP

Concentración del ECP (ppm)	Vcorr (mg/cm ² h)	Eficiencia η (%)
0	30.11	0
200	7.77	74
400	6.20	79
600	4.67	84
800	3.81	87
1000	2.63	91

Estudios realizados con palma aceitera, confirman presencia de compuestos activos responsables de la inhibición, atribuyéndose a las propiedades inhibidoras que son adsorbidas en la superficie del metal, ocupando los sitios activos del acero, la mejor eficiencia de inhibición se debe al tamaño de cobertura de la superficie del metal (Haris *et al.*, 2019).

Espectroscopia de Impedancia Electroquímica. La **Figura 3** muestra los diagramas de Nyquist (Z' : parte real y Z'' : parte imaginaria del plano complejo de la impedancia), obtenidos con la técnica EIE, se puede observar que, al ir aumentando la concentración de 200 a

1000 ppm, los semicírculos aumentaron en el eje Z' .

La **Figura 4** muestra los diagramas de Nyquist obtenidos con la técnica IES, se puede observar que, al ir aumentando la concentración de 200 a 1200 ppm, los semicírculos aumentaron en el eje Z' .

En la **Tabla 5** se muestran los cálculos que se obtuvieron de la ecuación 3, en donde se observan que la mayor eficiencia de 75% en concentraciones de 1000 ppm.

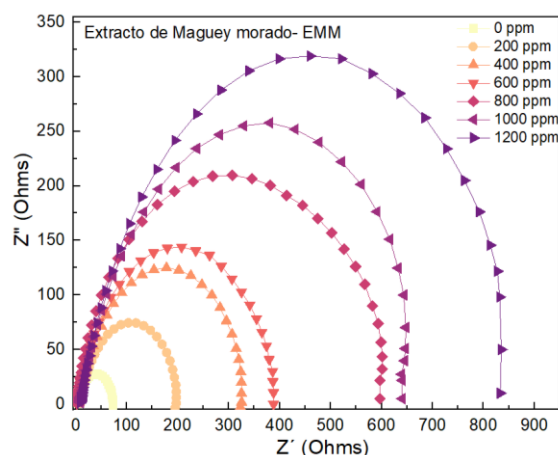


Figura 3. Diagrama de Nyquist del EMM.

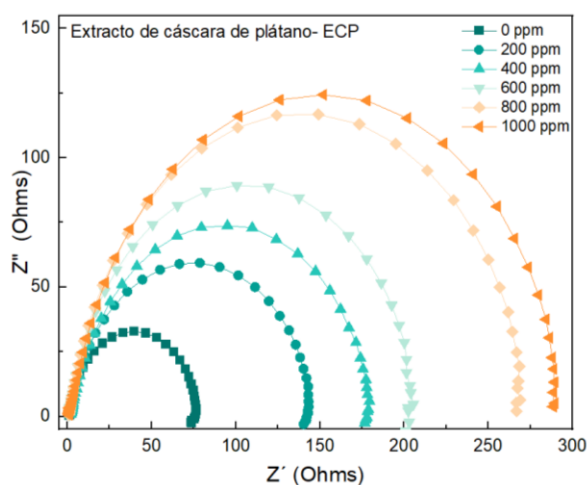


Figura 4. Diagrama de Nyquist del ECP.

Tabla 5. Eficiencias del ECP a diferentes concentraciones.

Concentración del ECP (ppm)	Rct	Eficiencia η (%)
0	74	0
200	140	47
400	177	58
600	201	63
800	267	72
1000	291	75

En la **Tabla 6** se muestran los cálculos que se obtuvieron de la ecuación 3, en donde se observan que la mayor eficiencia de 91% en concentraciones de 1200 ppm.

Tabla 6. Eficiencias del EMM a diferentes concentraciones.

Concentración del EMM (ppm)	Rct	Eficiencia η (%)
0	74	0
200	192	62
400	323	77
600	388	81
800	597	88
1000	641	89
1200	833	91

En estudios similares con extracto de mirto su máxima eficiencia fue de 92.4% mientras que de extracto de romero mostro eficiencia del 91.8%, ambos en concentración de 1000 ppm. El aumento de los semicírculos en el diagrama de Nyquist, se atribuyen a la formación de película capacitiva en la superficie del metal, y que permiten la adsorción de moléculas del extracto por la presencia de capas porosas (Zakir Hossain *et al.*,

2020). Se han realizaron estudios con la flor de areca, mostró eficiencias del 96.6%, en concentraciones de 20 ml del extracto en 150 ml de 1M HCl, el aumento de eficiencia se atribuye a la pasividad de la superficie metálica protegida por moléculas del extracto (Subekti *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

La presencia de fenoles sugiere la formación de una película protectora en la superficie del metal para ambos extractos, estos no permiten el contacto directo del metal con el medio ácido. Con la técnica gravimétrica de dos extractos naturales, el EMM mostró 94% de eficiencia y el ECP con el 91% de eficiencia en tiempos de inmersión de 6 días. Mientras que con la técnica IES la eficiencia del EMM mostró 91% de eficiencia y el ECP con el 75% de eficiencia en tiempos de inmersión de 1 h. Esta variante se debió que, con el aumento de tiempo de inmersión, la eficiencia aumenta. Sin embargo, se puede mencionar que el EMM es el más efectivo alcanzando una menor tasa de corrosión de 1.36 mg/cm²h.

REFERENCIAS

[1] Ait-Aghzzaf, A., Veys-Renaux, D., & Rocca, E. (2020). Pomegranate peels crude extract as a corrosion inhibitor of mild steel in HCl medium: Passivation and hydrophobic effect. *Materials and Corrosion*, 71(1), 148–154. <https://doi.org/10.1002/maco.201911049>.

[2] Alao, A. O., Popoola, A. P., Dada, M. O., & Sanni, O. (2023). Utilization of green inhibitors as a sustainable corrosion control method for steel in petrochemical industries: A review. In *Frontiers in Energy Research* (Vol. 10). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.1063315>.

[3] Catalin Tampu, N., Ioana Tampu, R., Patriciu, O.-I., Alexandru Chiriță, B., & Gavrila, L. (2020). *Evaluation of the corrosion inhibition potential of raphanus sativus and spinacia oleracea extracts part ii: mild steel corrosion inhibition by raphanus sativus and spinacia oleracea extracts as green corrosion inhibitors*, 21, (3).

[4] Haris, N. I. N., Sobri, S., Yusof, Y. A., & Kassim, N. (2019). Oil palm empty fruit bunch extract and powder as an eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel: A comparison study. *Materials and Corrosion*, 70(12), 2326–2333. <https://doi.org/10.1002/maco.201910959>

[5] Li Liao, Shi Mo, Hong Qun Luo, Nian Bing Li. (2017). Longan seed and peel as environmentally friendly corrosion inhibitor for mild steel in acid solution: experimental and theoretical studies. *Journal of Colloid and Interface Science*. 499 (1), 110-119. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021979717303570>

- [6] Mahdi, B. S., Aljibori, H. S. S., Abbass, M. K., Al-Azzawi, W. K., Kadhum, A. H., Hanoon, M. M., Isahak, W. N. R. W., Al-Amiery, A. A., & Majdi, H. S. (2022). Gravimetric analysis and quantum chemical assessment of 4-aminoantipyrine derivatives as corrosion inhibitors. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 11(3), 1191–1213. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2022-11-3-17>
- [7] Marzorati, S., Verotta, L., & Trasatti, S. P. (2019). Green corrosion inhibitors from natural sources and biomass wastes. *Molecules*, 24(1). <https://doi.org/10.3390/molecules24010048>
- [8] Mahdi, B. S., Aljibori, H. S. S., Abbass, M. K., Al-Azzawi, W. K., Kadhum, A. H., Hanoon, M. M., Isahak, W. N. R. W., Al-Amiery, A. A., & Majdi, H. S. (2022). Gravimetric analysis and quantum chemical assessment of 4-aminoantipyrine derivatives as corrosion inhibitors. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 11(3), 1191–1213. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2022-11-3-17>
- [9] Marzorati, S., Verotta, L., & Trasatti, S. P. (2019). Green corrosion inhibitors from natural sources and biomass wastes. *Molecules*, 24(1). <https://doi.org/10.3390/molecules24010048>.
- [10] O.O. Ogunleye, A.O. Arinkoola,, O.A. Eletta, O.O. Agbede, Y.A. Osho, A.F. Morakinyo(2020). Green corrosion inhibition and adsorption characteristics of *Luffa cylindrica* leaf extract on mild steel in hydrochloric acid environment. *Heliyon* 6(3205). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020300505>
- [11] Ortega-Ramírez, A. T., Barrantes-Sandoval, L. V., Casallas-Martin, B. D., & Cortés-Salazar, N. (2021). Application of green inhibitors for corrosion control in metals. Review. *DYNA (Colombia)*, 88(217), 160–168. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.93871>
- [12] Shuaib-Babata, Y. L., Ayinde, I. V., Busari, Y. O., Ameen, M. O., Yahya, R. A., Ambali, I. O., Aremu, I. N., Abdulraman, S. O., AJAO, K. S., & Garuba, A. A. (2023). Corrosion Inhibition Efficacy of Hybrid Organic Extracts from *Prosopis africana* and *Citrullus lanatus* on Mild Steel in Acidic Medium. *The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati. Fascicle IX, Metallurgy and Materials Science*, 46(1), 21–32. <https://doi.org/10.35219/mms.2023.1.04>
- [13] Subekti, N., Soedarsono, J. W., Riastuti, R., & Sianipar, F. D. (2020). Development of environmental friendly corrosion inhibitor from the extract of areca flower for mild steel in acidic media. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(6–104), 34–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.197875>

-
- [14] Zakir Hossain, S. M., Kareem, S. A., Alshater, A. F., Alzubair, H., Razzak, S. A., & Hossain, M. M. (2020). Effects of Cinnamaldehyde as an Eco-Friendly Corrosion Inhibitor on Mild Steel in Aerated NaCl Solutions. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(1), 229–239.
<https://doi.org/10.1007/s13369-019-04236-4>

