

Recepción: 9.12.2025

Revisión: 12.12.2025

Publicación: 08.05.2026

<https://orcid.org/0000-0002-5119-5501>

<https://orcid.org/0000-0003-4152-0953>

<https://orcid.org/0000-0002-4745-5868>

<https://orcid.org/0000-0002-0752-6713>

<https://orcid.org/0000-0003-0525-6155>

PLANTAS: UNA ALTERNATIVA PARA INHIBIR LA CORROSIÓN DEL ACERO AL CARBONO

PLANTS: AN ALTERNATIVE TO INHIBIT CORROSION OF CARBON STEEL

Giselle Gómez-Sánchez¹,
Natalya Victorovna Likhanova²,
Janette Arriola-Morales¹,
Maribel Castillo-Morales¹,
Octavio Olivares-Xometl^{1*}

(¹) Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química, Puebla, Puebla 72570, México.

(²) Dirección de Investigación, Instituto Mexicano del Petróleo, CDMX 07730, México.

Correos

giselle.gomez@alumno.buap.mx

nvictoro@imp.mx

janette.arriola@correo.buap.mx

maribel.castillo@correo.buap.mx

octavio.olivaresx@correo.buap.mx

Resumen

Por décadas, la industria ha sido un elemento fundamental en la consolidación de la mayoría de las economías a nivel mundial. La creciente demanda de bienes específicos para satisfacer las necesidades del ser humano ha traído una sobreexplotación de recursos naturales y, en muchos de los casos, daños importantes al medio ambiente. Por ello, en este sentido, la industria ha sido señalada como la mayor fuente de contaminación del aire, del agua, del suelo y del subsuelo. Esta contaminación, que en numerosas ocasiones es excesiva para el suelo y los mantos acuíferos, se origina por el uso de compuestos químicos, en su mayoría tóxicos. En la industria del petróleo, el uso de compuestos químicos es una práctica común para el control de la corrosión de aleaciones de acero expuestas a medios acuosos corrosivos, para prolongar su tiempo de vida útil. Estos compuestos químicos se conocen como inhibidores de corrosión (IC). Lamentablemente, las recientes normativas medioambientales han dirigido la investigación hacia el análisis de una nueva categoría de IC conocida como “compuestos verdes”, en la que los extractos vegetales están desempeñando un rol destacado en la producción de IC respetuosos con el entorno. Además de mostrar excelentes propiedades de protección en aleaciones que se encuentran en contacto con medios corrosivos propios de la industria.

Palabras clave: *Extracto de plantas; Corrosión; Acero al carbono; Inhibidor de corrosión.*

Abstract

For decades, industry has been a fundamental element in consolidating most of the world's economies. The growing demand for specific goods to meet human needs has led to the overexploitation of natural resources and, in many cases, significant damage to the environment. For these reasons, the industry has been identified as the largest source of pollution of air, water, soil, and subsoil. This pollution, which in many cases is excessive for the soil and aquifers, is due to the use of mostly toxic chemical substances. In the petroleum industry, the use of chemical compounds is a common practice for controlling the corrosion of steel alloys exposed to corrosive aqueous media, in order to prolong their useful life. These chemical compounds are called corrosion inhibitors (CIs). Fortunately, current environmental legislation has directed research towards the study of a new class of CI called “green compounds,” in which plant extracts are playing a prominent role in obtaining environmentally friendly CI. In addition to exhibiting excellent protective properties in alloys that come into contact with corrosive media typical of the industry.

Keywords: *Plant extracts, Corrosion, Carbon steel, Corrosion inhibitors*

Generalidades de los metales

Desde el comienzo de la historia, los humanos han utilizado metales para facilitar el avance y progreso tecnológico, definiendo etapas con el nombre de estos metales como Edad de Bronce y Edad de Hierro. Esto facilitó la amplia comprensión de los materiales y transformó la sociedad al fomentar hallazgos e innovaciones en la creación de nuevos materiales, uno de los pilares fundamentales de las tecnologías contemporáneas (Figura 1).

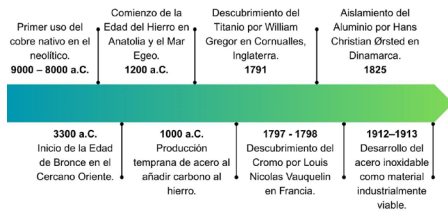


Figura 1. Línea del tiempo de los principales metales industriales (autoría propia).

En la actualidad, los metales continúan siendo esenciales en casi todas las facetas de la vida humana. En el sector de la construcción y la industria, las aleaciones de acero resultan esenciales para construir estructuras resistentes y duraderas. Por otro lado, en el sector del transporte, metales como el aluminio resultan fundamentales para la construcción de partes de vehículos, satélites, aviones, etc., debido a su ligereza, seguridad y resistencia al ambiente. En el campo de la tecnología y la innovación en la electrónica, el cobre, oro, platino, indio, galio y otros metales son cruciales gracias a su magnífica conductividad eléctrica y térmica. En el campo de la medicina y la salud, metales como el titanio, acero inoxidable y aleaciones de cobalto-cromo son elegidos por su biocompatibilidad, resistencia y su capacidad para resistir la corrosión. Actualmente, los metales constituyen el eje central de numerosos desarrollos tecnológicos gracias a su adaptabilidad y propiedades mecánicas.

De manera específica, el valor de los metales, en las diferentes áreas, radica en sus características singulares, tales como resistencia, ductilidad, conductividad eléctrica y térmica, y la habilidad para ser reciclados. Estas particularidades los convierten en esenciales para el progreso de la sociedad moderna (Capasso et al., 2024).

Los metales y su entorno

Los metales, antes de tener un valor agregado, se encuentran en la naturaleza, la mayoría en forma de óxidos que en su conjunto forman minerales. Esto significa que cuando un metal se encuentra en la naturaleza, el entorno desencadena un proceso inevitable comúnmente llamado corrosión. El resultado final es la formación de diversos minerales existentes, cuyo proceso de formación se encuentra ligado a reacciones de oxidación (R. Holla et al., 2024). Para ello, es importante comprender que, para obtener una aleación metálica, es necesario primero extraerla de la naturaleza en forma de óxidos complejos; posteriormente, con diferentes procesos metalúrgicos se obtiene una aleación metálica con propiedades únicas para su uso.

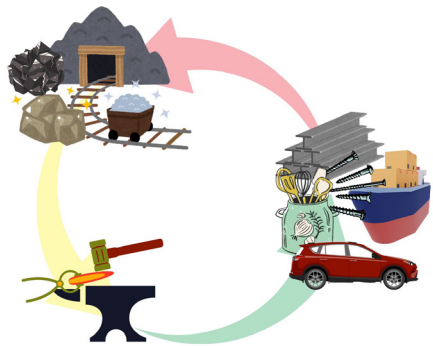


Figura 2. Ciclo productivo del acero (autoría propia).

El ciclo de vida de un material metálico siempre dependerá del progreso de las reacciones electroquímicas, es decir, tiende a volver a su estado inicial a través del proceso de corrosión (Figura 2). La definición más sencilla del fenómeno de la corrosión establece una interacción interfacial irreversible y dependiente del medio ambiente que conduce a la disolución del metal, obedeciendo el principio fundamental de la termodinámica (Vargel, 2004).

Desde el punto de vista industrial, se resaltan tres pilares fundamentales para investigar la corrosión de aleaciones metálicas (Figura 3): seguridad, economía y medio ambiente. El deterioro en estas aleaciones causado por la corrosión puede provocar malas condiciones de funcionamiento en los procesos de produc-

ción, originando pérdidas económicas (mantenimiento, reemplazo del material corroído, servicios especializados, etc.). Así como condiciones inseguras que pueden conducir a la pérdida de vidas y efectos negativos al medio ambiente, afectando la vida de ecosistemas completos (Heidersbach, 2011). Para tener una idea clara del impacto de los daños por corrosión en la economía de países industrializados, sus pérdidas económicas representan en promedio un 2.5 a 3.5% del PIB (producto interno bruto). Debido a ello, el sector industrial y organismos internacionales como la Organización Mundial contra la Corrosión (por sus siglas en inglés, WCO), trabajan arduamente para implementar sistemas adecuados de control y gestión de la corrosión con el objetivo de reducir su impacto a nivel mundial (Heidersbach, 2011).



Figura 3. Tres ejes importantes de inhibir la corrosión (autoría propia).

Las plantas como fuentes de compuestos químicos

Para el control de la corrosión por medios acuosos la práctica más económica y sencilla en la industria es el uso de IC. Estos son compuestos químicos orgánicos e inorgánicos que pueden resultar costosos y dañinos para los organismos vivos debido a su elevada toxicidad (Abdullah Dar, 2011). Sus residuos pueden infiltrarse en el suelo hasta llegar a los cuerpos de agua, dañando especies marinas susceptibles a sus componentes. En el ser humano pueden provocar enfermedades en riñones e hígado, además de alterar procesos bioquímicos y el funcionamiento de las enzimas (Abdallah et al., 2010). Debido a los riesgos para el medio ambiente y la salud humana; se ha intensificado la creciente demanda de buscar alternativas de ICs que sean ecológicos o amigables con el medio ambiente. Actualmente, se ha establecido que un IC puede ser considerado verde cuando es biodegradable, no bioacumulativo y

con un nivel de toxicidad marina nulo o muy bajo (Umoren et al., 2019). Esta reciente tendencia de ICs verdes promueve un compromiso consciente en prácticas industriales cada vez más responsables y sostenibles, donde coexista un balance entre la alta eficiencia en el control de la corrosión, un menor impacto ambiental, consideraciones de seguridad y aspectos económicos implícitos. Las alternativas basadas en extractos de plantas han ganado popularidad gracias a su amplia variedad y gama de compuestos activos orgánicos que poseen propiedades destacables como biodegradabilidad, biodisponibilidad, sostenibilidad y no toxicidad. Al igual que muchos seres vivos, las plantas cuentan con un conjunto de órganos que permiten su adecuado funcionamiento. Una planta está constituida, principalmente, por dos partes: aérea (tallo, hoja, flor y fruto) y subterránea (raíces) (Figura 4).

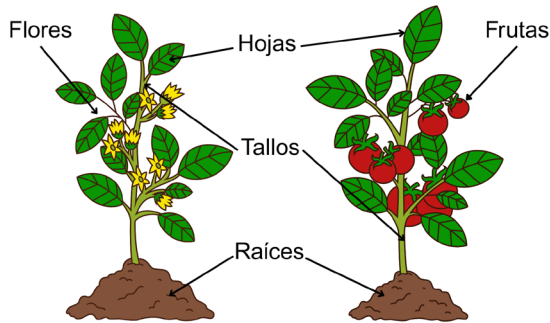


Figura 4. Partes de una planta (Autoría propia).

El tallo soporta el segmento aéreo de la planta, une las hojas con las raíces, siendo estas últimas las que se adhieren al terreno, absorben agua y minerales, además de tener la capacidad de conservar ciertos nutrientes. Las hojas son el sitio central de la fotosíntesis, al capturar la energía de la luz solar para obtener materiales orgánicos. Mientras que los órganos reproductores son tanto las flores como los frutos, donde el primero atrae a los polinizadores y el segundo, a los propagadores de semillas.

Debido a la riqueza nutritiva de las diversas partes de las plantas, se pueden obtener extractos de cada una de estas. Estos son considerados como un concentrado de compuestos activos proveniente de frutos, flores, semillas, cáscaras, hojas, corteza, tallo, y savia o raíces. Un extracto puede contener una gran variedad de fitoquímicos que, según su estructura química, pueden dividirse en varios grupos: glucósidos, alcaloides, polifenoles, flavonoides, no- flavo-

noides, polisacáridos, lectinas, saponinas, terpenoides, esteroides, etc. (Raja & Sethuraman, 2008; Zhang et al., 2023). Estos fitoquímicos presentes en los extractos de plantas resultan de gran interés porque contienen heteroátomos como nitrógeno, azufre, y oxígeno, así como anillos aromáticos y grupos pendientes, a través de los cuales, se puede llevar cabo el proceso de adsorción en la superficie del metal, lo que permite inhibir la corrosión. Estudios realizados han demostrado que ICs con fitoquímicos, pueden reducir hasta en un 30% el costo de las pérdidas por corrosión, en comparación con los inhibidores obtenidos de manera sintética

(Malik et al., 2024), siendo esta una opción económica viable debido a su disponibilidad y manejo más sencillo. Para obtener estos fitoquímicos se recurre a la extracción con solventes, donde el material vegetal se humedece en agua, etanol o metanol durante un periodo de tiempo, obteniendo compuestos activos de la planta en forma de extracto; posteriormente, son separados por métodos físicos, ya sea por filtración o centrifugación. Entre los métodos más utilizados para obtener el extracto de una planta se encuentran maceración, extracción tipo Soxhlet, extracción asistida por microondas o ultrasónicos (Zhang et al., 2023).

Los compuestos químicos de las plantas y sus usos como ICs

Los ICs obtenidos a partir de plantas, en su mayoría provienen de extractos de hojas, seguidos de cáscaras, raíces, frutos e incluso la planta completa. Así como de semillas, umbelas y en algunos casos algas. Esta gran diversidad en las propiedades de las plantas ha permitido una amplia gama de estudios de ICs para aleaciones de acero en medios corrosivos. La preferencia por hojas, está argumentada porque son las principales capturadoras de luz y responsables de la respiración, transpiración y función clorofílica. A través de ellas circula una cantidad importante de fitoquímicos disponibles. Con este argumento se estudió el extracto de hojas de *Morus alba Pendula* (morera péndula). La razón de la selección de esta especie fue debido a su contenido de compuestos activos (poli)fenólicos como ácido cafeico, ácidos cafeoilquínicos, kaempferol-3-O-(6-malonil)-glucósido, quercetin-3-O-(6-malonil)-glucósido, quercetin-3-O-glucósido, ácido clorogénico y flavonoles, compuestos claves en el procesos de protección del acero (Jokar et al., 2016). En extractos de hojas de *Trifolium repens* (trébol blanco), los compuestos bioactivos identificados fueron ácidos orgánicos, cumarinas, oligosacáridos, aminoácidos, péptidos, lavonas, lavonoides, flavones y flavonoides, cuyo efecto inhibidor fue atribuido a la presencia de estos fitoquímicos (Banumathi et al., 2024). Siguiendo esta línea de investigación, se estudió cómo IC

al extracto etílico de las hojas de *Tabebuia heterophylla* (roble blanco), donde los autores asociaron el efecto inhibidor del extracto a la presencia del éster etílico del ácido 2-hidroxi-1-(hidroximetil) hexadecanoico (Pai et al., 2024). En un estudio realizado a extractos de hojas de *Phoenix dactylifera* (palmera datilera) se determinó que la actividad antioxidante del extracto se debió a la presencia de ácidos fenólicos, flavonoles, flavonas y sus derivados, los cuales en conjunto actúan como un IC inhibiendo las reacciones de corrosión anódica y catódica (Umoren et al., 2021). [14] El extracto de las hojas del arbusto *Corchorus olitorius* (yute) fue estudiado por Nwoye et al. (Nwoye & Nwigwe, 2023), donde los compuestos activos fueron esteroides, saponinas, flavonoides, taninos, alcaloides y fenoles. Por su parte, Khadom et al. (Khadom et al., 2022) estudiaron extractos de hojas de *Cardaria Draba* (mastuerzo oriental), por su alto contenido de compuestos bioactivos como alcaloides, saponinas, flavonoides, terpenoides, taninos, triterpenoides y leucoantocianinas (Al-Owaidi et al., 2018). Así mismo, el extracto de hojas de *Arbutus unedo L.* (madroño) fue estudiado por Abdelaziz et al. (Abdelaziz et al., 2021), debido a la presencia de quercetina, quercitrina, catequina, ácido clorogénico, derivados elágicos, α -tocopherol, α -terpineol, (E)2-undecenal, ácido linoleico, 2,6-di-tert-butil-p-cresol, acetato de 2-etoxietilol,

nonanal y decanal. Por su parte, Shahini et al. (Shahini et al., 2021) estudiaron el extracto acuoso de las hojas de *Stachys byzantina* (oreja de cordero), esta planta fue de interés por su contenido de compuestos fenólicos (ácido clorogénico, ácido rosmarínico, ácido o-cumárico y ácido gálico), flavonoides (luteolina), flavanol (catequina) y saponinas, principalmente. De igual manera, el extracto metanólico de las hojas de *Murraya koenigii* (árbol del curry) fue seleccionada por su composición de alcaloides de carbazol como mahanimbina, girinimbina, murrayanina y murrayafolina (Pandey et al., 2024). En cambio, Omotioma et al. (Omotioma et al., 2024) estudiaron el extracto etanólico de las hojas de *Ricinus communis* (aceite de ricino) y determinaron que el extracto contenía, principalmente, compuestos activos orgánicos como nicotinato de metilo, éster metílico, piridina-4-carbohidrazida, 4-cetopimélico, ácido 4-oxoheptanodioico, ácido succínico e hidrogenosuccinato de etilo. Mientras que, en un estudio realizado con extracto de *Solanum surattense* (hierba mora de frutos amarillos), los principales compuestos responsables de la protección del acero fueron solanidano, espirosolano y avenacósido (Haldhar et al., 2021). Un aspecto relevante enfatizado es que la presencia y concentración de los fitoquímicos dependen de la estacionalidad y región, siendo una variable importante a considerar debido a la necesidad de analizar los extractos para obtener los compuestos de mayor interés. Con respecto a estudios en cáscaras de frutas como ICs para el acero, existen aportaciones importantes porque esta es rica en fitoquímicos. La cáscara de *Hymenaea stigonocarpa* (jatobá do cerrado en Brasil) ha sido estudiada debido a su actividad antioxidante y contenido notable de flavonoides, compuestos fenólicos, vitamina C, carotenoides y licopenoides (Policarpi & Spinelli, 2020). También se han realizado estudios en cítricos, uno de ellos, es la cáscara de lima dulce por ser catalogada una fuente rica en antioxidantes, vitamina C, flavonoides, pectina y terpenos con excelentes resultados como IC (Sowmyashree et al., 2023), donde se consideró que el compuesto limoneno fue el componente con capacidad inhibidora. En el extracto

de la cáscara de *Punica granatum* (granada) se determinó la presencia de grupos hidroxilo, carbonilo y aromáticos con una cantidad considerable de punicalagina, punicalina, granatina A, granatina B, ácido maleico, ácido ursólico, ácido gálico, entre otros componentes menores. Concluyendo que el ácido gálico y granatina B fueron los centros principales de adsorción debido a la presencia de heteroátomos de oxígeno, anillos aromáticos con electrones π y grupos donadores de electrones (Ashassi-Sorkhabi et al., 2015). De acuerdo con la literatura, algunas plantas de tipo medicinales también han sido categorizadas como potenciales IC; por ejemplo, las hojas de *Salvia miltiorrhiza* (salvia china) son conocidas porque contienen una amplia variedad de compuestos como ácidos fenólicos (salvianólico A, salvianólico B, litospermico, rosmarínico y R-(+)- β -(3,4-dihidroxifenil) láctico, así como componentes liposolubles (tanshinonas, y criptotanshinona). Para entender la interacción de estas moléculas con el metal, con la ayuda de cálculos teóricos se sugirió que las moléculas poseen sitios de ataque nucleofílicos (anillo fenilo y grupo carbonilo) así como electrofílico (anillo fenilo y enlace C-O, C=O) (Zeng et al., 2024). Otro estudio fue realizado para *Fumaria officinalis* (palomilla) por su importancia como remedio para problemas hepáticos, renales, dermatológicos y purgante. Se consideró como una alternativa atractiva como IC por su variedad de principios activos, que incluyen sales de potasio, ácido fumárico, flavonas, flavonoles, flavanonas, flavan-3-oles, antocianinas, dihidroflavonoles e isoflavonas, derivados glicosilados o acilados y estructuras oligoméricas y poliméricas, etc. (Santos-Buelga & San-Feliciano, 2017). Los resultados indicaron que la concentración del ácido sulfúrico limitó la acción inhibidora del extracto, resultando en una evidente desorción y poca interacción física entre las especies químicas contenidas en el extracto y la superficie del acero (Golchinvaft et al., 2020). Asimismo, Hamri et al. (Hamrahi et al., 2021) estudiaron el extracto de la planta medicinal *Lawsonia inermis* L. o *Lawsonia Alba* (Henna). Este arbusto popular por sus fines dermatológicos y reumáticos, además, de ser utilizado como un polvo que sirve para teñir,

también fue categorizado como IC por contener abundantes fitoconstituyentes de diversas clases, identificándose cuatro compuestos químicos claves: 2-hidroxi-1,4-naftoquinona (Lawsona), ácido gálico, ácido tánico y α -D-glucosa. Confirmando que el fenómeno de inhibición del extracto de Henna se vincula con una barrera física (fisisorción) entre el medio corrosivo y el metal. Por otra parte, las plantas invasoras constituyen un riesgo ecológico, por lo que considerar su aprovechamiento evita su propagación; bajo este criterio el extracto de la especie de maleza invasora *Parthenium hysterophorus* L. (escoba amarga) fue evaluada como IC, por su contenido de flavonoides, fenilpropanoides, alcaloides y aminoácidos. A pesar de no poseer excelentes propiedades como IC, se confirmó que su adsorción al acero ocurre por un fenómeno de fisisorción y quimisorción, impulsadas por estructuras conjugadas y átomos de N y O, que protegieron mediante enlaces de coordinación y retroalimentación (Wu et al., 2025).

Las flores y umbelas de plantas son menos frecuentes en las investigaciones, debido a que consisten en partes temporales de la planta y depende de la estación del año, así como la frecuencia de floración de la planta, generando un menor abasto para los fines propuestos. Sin embargo, han presentado resultados similares a los obtenidos por otras partes de la planta. Un ejemplo es Li et al. (Li et al., 2021), quienes estudiaron el extracto acuoso de las flores de *Brassica oleracea* L. (col silvestre) como IC, identificando heterocíclicos orgánicos como 1-metoxiindol-3-il-metilformamida (MYA), 1-metoxiindol-3-il-acetonitrilo (MY), 4-metoxi-indolina-2,3-diona (MID) y brasicanal C (BC). Las propiedades inhibitorias, se atribuyeron a la formación de una barrera sobre la superficie del acero que propiciaron la disminución del daño al metal. Por otro lado, los frutos y semillas de diversas plantas han sido considerados como potenciales IC, Fekkar et al. (Fekkar et al., 2020) compararon las propiedades inhibitorias de los extractos acuoso y hexanólico de los frutos de *Chamaerops humilis* (palmera enana). De acuerdo con el estudio, el extracto etanólico obtuvo mayores eficiencias en compa-

ración con el extracto hexanoico. Asimismo, el aceite esencial obtenido de las semillas de *Brachychiton rupestris* (árbol botella de hojas estrechas) confirmó excelentes propiedades como IC, por su contenido en ácido linoleico, trilinoleico, oleico, palmítico, dipalmítico, tripalmítico y gado-leico, sugiriendo que estos compuestos forman una película inhibitoria al ser adsorbidos sobre el acero (Aitlaalim et al., 2016). Los cactus también han sido tema de estudio con el propósito de prolongar la vida de las aleaciones ante medios corrosivos. Para ello, el extracto metanólico de las umbelas de *Ammi visnaga* (visnaga) fue tema de estudio, reportándose 46 compuestos en el extracto, donde la mayor composición fue de edulisin III, binapacril, kelling y visnagina. La eficiencia de inhibición fue soportada por interacciones a través de los átomos de oxígeno y anillos aromáticos de los compuestos, siendo asociado principalmente a la edulisin III (Zaher et al., 2022). Mientras que, un grupo de macroalgas marinas rojas (*Eucheuma*) que representan más del 80% de la producción mundial de carragenina, considerada un producto de importancia para la industria cosmética y alimenticia (Pereira & Yarish, 2008), fue estudiado por Nikitasari et al. (Nikitasari et al., 2022), quienes encontraron que el extracto de *Eucheuma* también posee propiedades como IC para el acero en medios ácidos, atribuido a su contenido de polifenoles, los cuales pueden formar complejos con la superficie del metal y disminuir la transferencia de carga entre el metal y el entorno corrosivo ácido. Adicionalmente, otros estudios han evidenciado que las algas de esta especie poseen una alta capacidad antioxidante gracias también a su alto contenido en carotenoides (Balasubramaniam et al., 2020). Finalmente, la Tabla 1 presenta un condensado de las plantas citadas y sus aplicaciones como ICs para diferentes medios corrosivos con sus respectivas eficiencias de inhibición.

Tabla 1. Extractos de plantas como IC para diversos aceros.

Planta	Órgano/ Solvente	Metal/ Medio	Concentración/ Eficiencia de inhibición	Ref.
<i>Morus alba pendula</i> (morera pendular)	Hojas/H ₂ O	Acero al carbono/ 1 M HCl	0.4 g/L: 93%	(Iokar et al., 2016)
<i>Trifolium repens</i> (trébol blanco)	Hojas/H ₂ O	Acero al carbono/ 1 N HCl	1000 ppm + 3 h: 92.1%	(Banumathi et al., 2024)
<i>Tabebuia heterophylla</i> (peral de la martinica)	Hojas/etanol	Acero bajo en carbono/ 1 M HCl	440 ppm: 94.8%	(Pai et al., 2024)
<i>Phoenix dactylifera</i> (palmera datilera)	Hojas/butanol	Acero API X60/ 15 % HCl	200 ppm + 3 mM FA: 96.9%	(Umoren et al., 2021)
<i>Corchorus olitorius</i> (yute)	Hojas	Acero dulce/ 1.5 M KOH	3 g/L: 99.93%	(Nwoye & Nwigwe, 2023)
<i>Cardaria Draba</i> (mastuerzo oriental)	Hojas/1 M HCl	Acero dulce/1 M HCl	5 mL + 1.25 mL KI: 95.5%	(Khadom et al., 2022)
<i>Arbutus unedo</i> L. (madroño)	Hojas/etanol + H ₂ O (70:30 v/v)	Acero dulce/1 M HCl	0.5 g/L: 91.7%	(Abdelaziz et al., 2021)
<i>Stachys byzantina</i> (mish gush u oreja de cordero)	Hojas/H ₂ O	Acero dulce/1 M HCl	1200 ppm + 24 h: 97%	(Shahini et al., 2021)
<i>Murraya koenigii</i> (árbol del curry)	Hojas/metanol	Acero dulce/1 M HCl	1000 ppm + 1 h: 85.7%	(Pandey et al., 2024)
<i>Ricinus communis</i> (planta de aceite de ricino)	Hojas/etanol + H ₂ O	Acero dulce/ 1 M H ₂ SO ₄	0.6 g/L + 318 K: 96.25%	(Omotioma et al., 2024)
<i>Solanum surattense</i> (hierba mora de frutos amarillos)	Partes aéreas/H ₂ O	Acero bajo en carbono/ 0.5 M H ₂ SO ₄	0.5 g/L: 93%	(Haldhar et al., 2021)
<i>Hymenaea stigono- carpa</i> (jatobá do cerrado)	Cáscara/ H ₂ O	Acero dulce/ 0.5 M H ₂ SO ₄	1.223 g/L: 87.2%	(Policarpi & Spinelli, 2020)
<i>Citrus limetta</i> Risso (lima dulce)	Cáscara/ H ₂ O	Acero dulce/ 1 M HCl	400 ppm: 93.64%	(Sowmyashree et al., 2023)
<i>Punica granatum</i> (granada)	Cáscara/Metanol	Acero dulce/1 M HCl	1 % v/v: 99%	(Ashassi-Sorkhabi et al., 2015)
<i>Salvia miltiorrhiza</i> (salvia china)	Raíces/H ₂ O	Acero Q235/1 M HCl	0.2 g/L: 92.8%	(Zeng et al., 2024)
<i>Fumaria officinalis</i> (palomilla)	Completa/etanol	Acero API X80/ 1 M H ₂ SO ₄	6 g/L + 298 K: 88%	(Golchinvafta et al., 2020)
<i>Parthenium hysterophorus</i> L. (escoba amarga)	Completa/ Etanol + H ₂ O	Acero laminado en frío/ 0.50 M H ₂ SO ₄	0.1 g/L + 0.01 g/L: 81.8%	(Wu et al., 2025)
<i>Lawsonia inermis</i> L. (hena)	Completa/H ₂ O + alcohol (4:1 v/v)	Acero API 5L B/ 15 ppm H ₂ S	2.5 g/L: 92%	(Hamrahi et al., 2021)
<i>Brassica oleracea</i> L (col silvestre)	Fruto/H ₂ O	Acero Q235/ 0.5 M H ₂ SO ₄ y 1 M HCl	0.3 g/L: + H ₂ SO ₄ : 92.7% + HCl: 93%	(Li et al., 2021)
<i>Chamaerops humilis</i> L. (palmera enana)	Fruto/Etanol Fruto/ C ₆ H ₆	Acero dulce/1 M HCl	0.125 g/L: + Etanol: 88% + C ₆ H ₆ : 80%	(Fekkar et al., 2020)

Planta	Órgano/ Solvente	Metal/ Medio	Concentración/ Eficiencia de inhibición	Ref.
<i>Brachychiton rupestris</i> (árbol botella de hojas estrechas)	Semillas/C ₆ H ₆	Acero dulce/1 M HCl	1.2 g/L: 91%	(Aitlaalim et al., 2016)
<i>Ammi visnaga</i> (Viznaga)	Umbela/Metanol	Acero al carbono/ 1 M HCl	700 ppm + 303 K: 83%	(Zaher et al., 2022)
<i>Eucheuma seaweed algae</i>	H ₂ O	Acero API 5L/0.1 M HCl	500 ppm: 92%	(Nikitasari et al., 2022)

Perspectivas del uso de las plantas como IC

Es importante resaltar que, si bien los extractos de partes de plantas como potenciales ICs tienen ciertas ventajas en el cuidado al medio ambiente por su biodegradabilidad, renovabilidad y bajo impacto ambiental con respecto a los ICs sintéticos orgánicos e inorgánicos, aún existen preguntas sin resolver acerca de su uso como ICs en aleaciones metálicas; siendo una de ellas; la comprensión del complejo mecanismo de protección en un metal donde están implícitos el/los componente(s) específico(s) responsable(s)

de la inhibición de la corrosión. Esto asociado a que un extracto de planta contiene múltiples compuestos fitoquímicos potencialmente activos que pueden implicar procesos complejos de adsorción química o física al inhibir la corrosión de un metal. Por ello, a la fecha existe un arduo camino de investigación por recorrer en el uso de extractos de plantas como IC, principalmente en nuestro país donde se estima que se localizan aproximadamente el 70% de variedades de plantas del mundo (Guzman Gallardo, 2025).

Declaración de privacidad

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Los autores se descargan de responsabilidad (INTELIGENCIA ARTIFICIAL) Los autores declaran por la presente que NO se han utilizado tecnologías de IA generativa, tales como modelos de lenguaje grandes (ChatGPT, COPILOT, etc.) y generadores de texto a imagen, durante la redacción o edición de este manuscrito.

Los datos de este artículo, así como los detalles técnicos para la realización del experimento, se pueden compartir a solicitud directa con el autor de correspondencia. Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Los autores se descargan de responsabilidad (INTELIGENCIA ARTIFICIAL) Los autores declaran por la presente que NO se han utilizado tecnologías de IA generativa, tales como modelos de lenguaje grandes (ChatGPT, COPILOT, etc.) y generadores de texto a imagen, durante la redacción o edición de este manuscrito.

Conflicto de interés

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún conflicto de interés. Los autores participantes en la elaboración de este artículo manifestamos no tener ningún conflicto de interés personal o económico.

Agradecimientos

Todos los autores agradecen el apoyo a la VIEP-BUAP por el apoyo otorgado al proyecto ID Proyecto: 00354-PV/2024

Referencias

- Abdallah, M., Radwan, M. A., Shohayeb, S. M., & Abdelhamed, S. (2010). Use of some natural oils as crude pipeline corrosion inhibitors in sodium hydroxide solutions. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 46(5), 354-362. <https://doi.org/10.1007/s10553-010-0234-3>
- Abdelaziz, S., Benamira, M., Messaadia, L., Boughoues, Y., Lahmar, H., & Boudjerda, A. (2021). Green corrosion inhibition of mild steel in HCl medium using leaves extract of *Arbutus unedo* L. plant: An experimental and computational approach. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 619, 126496. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.126496>
- Abdullah Dar, M. (2011). A review: plant extracts and oils as corrosion inhibitors in aggressive media. *Industrial Lubrication and Tribology*, 63(4), 227-233. <https://doi.org/10.1108/00368791111140431>
- Aitlaalim, A., Boudalia, M., Ouanji, F., Echihi, S., Guenbour, A., Belleaouchou, A., Tabyaoui, M., Kacimi, M., & Zarrouk, A. (2016). Essential oil of *brachychiton* as eco-friendly green inhibitor for the corrosion control of mild steel in hydrochloric acid medium. *Der Pharma Chemica*, 18, 155-165.
- Al-Owaidi, M., Naser, E., & Abed, S. (2018). *Cardaria drabra* L.: A review of Phytochemistry and Therapeutic Uses. *Plant Archives*, 19.
- Ashassi-Sorkhabi, H., Mirzaee, S., Rostamikia, T., & Bagheri, R. (2015). Pomegranate (*Punica granatum*) Peel Extract as a Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution. *International Journal of Corrosion*, 2015(1), 197587. <https://doi.org/10.1155/2015/197587>
- Balasubramaniam, V., June Chelyn, L., Vimala, S., Mohd-Fairulnizal, M. N., Brownlee, I. A., & Amin, I. (2020). Carotenoid composition and antioxidant potential of *Eucheuma denticulatum*, *Sargassum polycystum* and *Caulerpa lentillifera*. *Heliyon*, 6(8), e04654. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04654>
- Banumathi, R., Abuthahir, S. S. S., Sheit, H. M. K., Mohan, K. S., Mohandas, T., & Vijaya, K. (2024). Corrosion inhibition potential of aqueous extract of *Trifolium repens* plant leaves on carbon steel in hydrochloric acid medium (TRPL). *Discover Electrochemistry*, 1(1), 13. <https://doi.org/10.1007/s44373-024-00014-6>
- Capasso, I., Andreacola, F. R., & Brando, G. (2024). Additive Manufacturing of Metal Materials for Construction Engineering: An Overview on Technologies and Applications. *Metals*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/met14091033>
- Fekkar, G., Yousfi, F., Elmsellem, H., Aiboudi, M., Mohammed, R., Abdel-Rahman, I., Hammouti, B., & Bouyazza, L. (2020). Eco-friendly *Chamaerops humilis* L. fruit extract corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 9, 446-459. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2020-9-2-4>
- Golchinvafa, A., Mousavi Anijdan, S. H., Sabzi, M., & Sadeghi, M. (2020). The effect of natural inhibitor concentration of *Fumaria officinalis* and temperature on corrosion protection mechanism in API X80 pipeline steel in 1 M H2SO4 solution. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 188, 104241. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104241>
- Guzman Gallardo, F. L. (2025). Biocultural understanding of medicinal plants in Mexico. *Mexican Journal of Medical Research ICSA*, 13(25), 81-85. <https://doi.org/10.29057/mjmr.v13i25.12390>
- Haldhar, R., Prasad, D., Bahadur, I., Dagdag, O., Kaya,

- S., Verma, D. K., & Kim, S.-C. (2021). Investigation of plant waste as a renewable biomass source to develop efficient, economical and eco-friendly corrosion inhibitor. *Journal of Molecular Liquids*, 335, 116184. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116184>
- Hamrahi, B., Khanlarkhani, A., Madani, S. M., Fattah-alhosseini, A., & Gashti, S. O. (2021). Evaluation of Henna Extract Performance on Corrosion Inhibition of API 5L Steel in H₂S-Containing Medium and DFT Quantum Computing of Its Constituents. *Metals and Materials International*, 27(11), 4463-4476. <https://doi.org/10.1007/s12540-020-00736-3>
- Heidersbach, R. (2011). *Metallurgy and Corrosion Control in Oil and Gas Production* (1 ed.). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470925782>
- Jokar, M., Farahani, T. S., & Ramezanzadeh, B. (2016). Electrochemical and surface characterizations of morus alba pendula leaves extract (MAPLE) as a green corrosion inhibitor for steel in 1M HCl. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 63, 436-452. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.02.027>
- Khadom, A. A., Abd, A. N., & Ahmed, N. A. (2022). Synergistic effect of iodide ions on the corrosion inhibition of mild steel in 1 M HCl by Cardaria Draba leaf extract. *Results in Chemistry*, 4, 100668. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100668>
- Li, H., Qiang, Y., Zhao, W., & Zhang, S. (2021). A green Brassica oleracea L extract as a novel corrosion inhibitor for Q235 steel in two typical acid media. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 616, 126077. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.126077>
- Malik, B., Kaur, M., Singh, K., Kaur, J., Saxena, A., Sohal, H. S., Husain, F. M., Arshad, M., & Adil, M. (2024). An environmentally sustainable approach for the utilization of Erigeron bonariensis as a green inhibitor against weathering steel corrosion in acidic media. *RSC Advances*, 14(23), 16432-16444. <https://doi.org/10.1039/d4ra01534g>
- Nikitasari, A., Priyotomo, G., Royani, A., & Sundjono, S. (2022). Exploration of Eucheuma Seaweed Algae Extract as a Novel Green Corrosion Inhibitor for API 5L Carbon Steel in Hydrochlorid Acid Medium. *International Journal of Engineering*, 35(3), 596-603. <https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.03C.13>
- Nwoye, C., & Nwigwe, S. (2023). Novel Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel Protection in an Alkaline Environment. *Portugaliae Electrochimica Acta* 43. <https://doi.org/10.4152/pea.2025430102>
- Omotioma, M., Onukwuli, O. D., & Nnanwube, I. A. (2024). Testing the inhibition efficiency of the castor oil leaf as corrosion inhibitor of mild steel in H₂SO₄. *Heliyon*, 10(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31168>
- Pai, G. D., Rathod, M. R., S K R., & Kittur, A. A. (2024). Effect of tabebuia heterophylla plant leaves extract on corrosion protection of low carbon steel in 1M HCl medium: Electrochemical, quantum chemical and surface characterization studies. *Results in Surfaces and Interfaces*, 15, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.rsufri.2024.100203>
- Pandey, B., Pandey, D., Pant, N. P., Bhattarai, D. P., Dhakal, M., & Oli, H. B. (2024). Methanol extract of Murraya koenigii stem as green inhibitor for mild steel corrosion in 1 M HCl solution. *Results in Surfaces and Interfaces*, 16, 100245. <https://doi.org/10.1016/j.rsufri.2024.100245>
- Pereira, R., & Yarish, C. (2008). Mass Production of Marine Macroalgae. In S. E. Jørgensen & B. D. Fath (Eds.), *Encyclopedia of Ecology* (pp. 2236-2247). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00066-5>
- Policarpi, E. d. B., & Spinelli, A. (2020). Application

- of *Hymenaea stigonocarpa* fruit shell extract as eco-friendly corrosion inhibitor for steel in sulfuric acid. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 116, 215-222. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2020.10.024>
- R. Holla, B., Mahesh, R., Manjunath, H. R., & Anjanapura, V. R. (2024). Plant extracts as green corrosion inhibitors for different kinds of steel: A review. *Heliyon*, 10(14). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33748>
- 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>
- Santos-Buelga, C., & San-Feliciano, A. (2017). Flavonoids: From Structure to Health Issues. *Molecules*, 22(3), 477. <https://doi.org/10.3390/molecules22030477>
- Shahini, M. H., Ramezanzadeh, M., Bahlakeh, G., & Ramezanzadeh, B. (2021). Superior inhibition action of the *Mish Gush* (MG) leaves extract toward mild steel corrosion in HCl solution: Theoretical and electrochemical studies. *Journal of Molecular Liquids*, 332, 115876. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115876>
- Sowmyashree, A. S., Somya, A., Rao, S., Kumar, C. B. P., Al-Romaizan, A. N., Hussein, M. A., Khan, A., Marwani, H. M., & Asiri, A. M. (2023). Potential sustainable electrochemical corrosion inhibition study of *Citrus limetta* on mild steel surface in aggressive acidic media. *Journal of Materials Research and Technology*, 24, 984-994. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.02.039>
- Umoren, S. A., Solomon, M. M., Obot, I. B., & Suleiman, R. K. (2019). A critical review on the recent studies on plant biomaterials as corrosion inhibitors for industrial metals. *J. Ind. Eng. Chem.*, 76, 91-115. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.057>
- Umoren, S. A., Solomon, M. M., Obot, I. B., & Suleiman, R. K. (2021). Effect of Intensifier Additives on the Performance of Butanolic Extract of *Date Palm* Leaves against the Corrosion of API 5L X60 Carbon Steel in 15 wt.% HCl Solution. *Sustainability*, 13(10), 5569. <https://doi.org/10.3390/su13105569>
- Vargel, C. (2004). *Corrosion of Aluminium* (2 ed.). Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-02741-X>
- Wu, H., Deng, S., Shao, D., Wei, G., Xu, J., & Li, X. (2025). Synergistic mixture of *Parthenium hysterophorus* L. extract and potassium iodide as a novel efficient composite inhibitor on steel corrosion in sulfuric acid. *Journal of Materials Research and Technology*, 34, 1704-1720. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.12.178>
- Zaher, A., Aslam, R., Lee, H.-S., Khafouri, A., Boufellous, M., Alrashdi, A. A., El aoufir, Y., Lgaz, H., & Ouhssine, M. (2022). A combined computational & electrochemical exploration of the *Ammi visnaga* L. extract as a green corrosion inhibitor for carbon steel in HCl solution. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(2), 103573. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103573>
- Zeng, C., Zhou, Z.-Y., Mai, W.-J., Chen, Q.-H., He, J.-B., & Liao, B.-K. (2024). Exploration on the corrosion inhibition performance of *Salvia miltiorrhiza* extract as a green corrosion inhibitor for Q235 steel in HCl environment. *Journal of Materials Research and Technology*, 32, 3857-3870. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.09.003>
- Zhang, M., Zhao, J., Dai, X., & Li, X. (2023). Extraction and Analysis of Chemical Compositions of Natural Products and Plants. *Separations*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/separations10120598>