



UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



Diseño educativo para la
enseñanza de la cinemática
de mecanismo

-Perera-Cortez et al.

JOBS

π $\ddot{x}$

DACB • UJAT

Journal of Basic Sciences

Volúmen 12
Número 34
mayo-agosto 2026

ISSN:2448-4997
<https://revistajobs.ujat.mx>

OPEN  ACCESS





En el número 34 del Journal of Basic Sciences se presentan ocho contribuciones que reflejan el carácter multidisciplinario de la revista, al abordar temas relacionados con ingeniería y ciencias de materiales, enseñanza de las ciencias, farmacéutica, física y matemáticas. Desde sus respectivas áreas, los trabajos emplean herramientas científicas para ampliar el conocimiento, fortalecer los procesos de enseñanza-aprendizaje y contribuir a la solución de problemáticas de interés social, tecnológico y académico.

El número inicia con el artículo de López-Zapata et al., en el que se evalúa la corrosión atmosférica del acero al carbono y cobre en el municipio de Cunduacán, Tabasco, considerando la presencia de contaminantes atmosféricos asociados al entorno. Los resultados destacan la importancia de fortalecer las estrategias de control de emisiones y protección de materiales empleados en infraestructura industrial y residencial, particularmente en regiones con actividad petrolera.

Posteriormente, se presentan dos contribuciones relacionadas con la enseñanza de las ciencias. Perera Cortez et al. desarrollan y validan un prototipo didáctico de un mecanismo biela-manivela con corredera para la enseñanza de la cinemática en estudiantes de ingeniería. El dispositivo integra teoría, simulación y mediciones experimentales, favoreciendo una comprensión más interactiva de los conceptos estudiados. Por su parte, López-de Dios et al. analizan el uso y valoración de herramientas informáticas por profesores de la Licenciatura en Química de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco durante la transición hacia la enseñanza virtual ocasionada por la pandemia de COVID-19. Sus resultados resaltan la necesidad de fortalecer no solamente las competencias técnicas digitales, sino también su adecuada integración pedagógica en la enseñanza de disciplinas experimentales.

En el área farmacéutica, Díaz-Martínez et al. comparan la ciclofosfamida y la bendamustina para el tratamiento del cáncer desde una perspectiva farmacoterapéutica y farmacoeconómica. El estudio considera eficacia, costos, reacciones adversas y disponibilidad de los medicamentos, proporcionando elementos para apoyar la toma de decisiones clínicas. Los resultados muestran ventajas económicas para la ciclofosfamida, mientras que la bendamustina representa una alternativa cuando se priorizan aspectos relacionados con tolerabilidad y seguridad.

Dentro del área de física, Rendón et al. estudian la variación de la presión atmosférica con respecto a la altura mediante modelos que incorporan un gradiente lineal de temperatura en las ecuaciones de estado de los gases ideales y de van der Waals. Esta aproximación permite representar de manera más realista el comportamiento de la atmósfera terrestre y explorar posibles comportamientos en Venus, Marte y Titán.

El número incluye además tres contribuciones del área de matemáticas. Balcázar-Araiza y Ojeda presentan una generalización dentro del Cálculo Fraccionario Multivariable mediante

la definición y análisis de integrales y diferenciales de Riemann-Liouville de tipo (α, k, P) , estableciendo propiedades y teoremas fundamentales asociados a estos operadores. Toledo et al. desarrollan un método numérico basado en elementos finitos para resolver ecuaciones diferenciales unidimensionales que involucran la derivada conformable, ofreciendo una herramienta para la aproximación eficiente de este tipo de problemas. Finalmente, Remigio-Juárez et al. presentan una introducción a los complejos de Vietoris-Rips y a la homología persistente, incluyendo el uso de diagramas de persistencia y herramientas computacionales en Python para el análisis de conjuntos de datos, con posibles aplicaciones en diversas áreas científicas.

De este modo, el número 34 del Journal of Basic Sciences reúne investigaciones y contribuciones académicas que muestran la diversidad de enfoques de las ciencias básicas y sus aplicaciones. En conjunto, los artículos fortalecen la difusión y divulgación del conocimiento científico y buscan generar impacto en los ámbitos regional, nacional e internacional.

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Lic. Guillermo Narváez Osorio.
Rector

Dr. Luis Manuel Hernández Govea.
Secretario de Servicios Académicos

Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez.
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Dr. Pablo Marín Olán. Director de Difusión,
Divulgación Científica y Tecnológica

Directorio Divisional División Académica de Ciencias Básicas

Dra. Hermicenda Pérez Vidal.
Directora

Dr. Luis Manuel Martínez González.
Coordinador de Investigación

M.C. Abel Cortazar May.
Coordinador de Docencia

L.Q. Esmeralda León Ramos.
Coordinador de Difusión Cultural y Extensión

CONSEJO EDITORIAL

- **Dra. Addy Margarita Bolívar Cimé.** Editora en Jefe. Matemáticas. División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0000-0002-7342-0888>
- **Dr. Adib Abiu Silahua Pavón.** Gestor Editorial. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0001-5344-1430>

COMITÉ EDITORIAL

- **Dra. Nancy Romero Ceronio. Editora Asociada.** Química. División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0000-0001-8169-3811>
- **Dra. María Arely López Garrido.** Editora Asociada. Ciencias Computacionales. División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0000-0003-1780-5748>
- **Dr. José Luis Benítez Benítez.** Editor Asociado. Física. División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0009-0000-0561-5029>
- **Dr. Domingo González Martínez.** Editor Asociado. Matemáticas. División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0000-0003-3754-0636>
- **Dr. Carlos Mario Morales Bautista.** Editor Asociado. Química. División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0000-0002-4825-4558>
- **Dr. Jorge Mauricio Paulin Fuentes.** Editor Asociado. Física. División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0000-0002-1433-8083>
- **Dr. Carlos Javier López Victorio.** Editor Asociado. Químico Farmacéutico Biólogo. División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0000-0002-0703-7266>
- **Dr. Manuel Salud Antonio Pérez.** Editor Asociado. Geofísica. División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco <https://orcid.org/0009-0003-8844-6604>

JOURNAL OF BASIC SCIENCES, Vol. 12, Núm. 34, agosto de 2026, es una publicación continua cuatrimestral, editada por la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040. <https://revistajobs.ujat.mx>. Editor Responsable de la Revista: Addy Margarita Bolívar Cimé. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2015-052110084000-203, ISSN: 2448-4997, ambos otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 27 de junio de 2026.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación y de esta Casa Editora.

Las publicaciones respaldadas con el sello editorial de la UJAT no podrán utilizarse para entrenar modelos de IA generativa, a menos de que haya una declaración expresa, tanto de la Universidad como de los autores y/o herederos.

CONTENIDO

	Pág.
Corrosión del cobre y el acero en condiciones atmosféricas	1
<i>López-Zapata, O. A., Del Ángel-Meraz, E., Corvo-Pérez, F. E., Valdés-Clemente, C. S.</i>	
Diseño educativo para la enseñanza de la cinemática de mecanismo	15
<i>Perera-Cortez, M. A., Jacobo-Cortés, E. A., Hidalgo-Arcos, W.</i>	
Uso de herramientas informáticas en la enseñanza de la química universitaria durante la pandemia de COVID-19	31
<i>López-de Dios, C. del C., Montejo-Ramos, R., Acosta-Pérez, L. I.</i>	
Impacto financiero y clínico de la ciclofosfamida y bendamustina en el tratamiento de cáncer en México	48
<i>Díaz-Martínez, I. G., Castro-Georgana, V. F., Vázquez-Cahuich, D. A., De la Cruz-López, J. J., García-Jesús, K. P., Flores-Dorantes, M. T., Pedraza-Montero, P.</i>	
Estimación de la presión en atmósferas planetarias mediante gradientes de temperatura constante y lineal	65
<i>Rendón, F., Pulido-Guerrero, R., Munguía, E.</i>	
On Riemann-Liouville Operators of type (α, k, P) and Related Function Spaces	80
<i>Balcázar-Araiza, R. C., Ojeda, N. R.</i>	

**Finite element method for a one-dimensional conformable
differential equation with Dirichlet boundary condition**

101

*Toledo, P.,
Hernández-Linares, C. A.,
Avendaño-Garrido, M. L.*

Homología persistente

121

*Remigio-Juárez, J.,
Almaguer-Cantú, M. H.,
Domínguez Colín, R.,
Hernández Garibay, J. R.,
Rodríguez Henríquez, L. M. X.*

Corrosión del cobre y el acero en condiciones atmosféricas

Corrosion of Copper and Steel Under Atmospheric Conditions

López-Zapata, O. A.¹, **Del Ángel-Meraz, E.^{1*}**, **Corvo-Pérez, F.E.²**, **Valdés-Clemente, C. S.³**

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura Posgrado en Ciencias en Ingeniería, Carretera Cunduacán-Jalpa km.1. Col. La Esmeralda, Cunduacán, Tabasco, México.

²Universidad Autónoma de Campeche, Centro de Investigación en Corrosión, Av. Héroe de Nacozari 480, Chiná, Campeche, México.

³Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC). Avenida 25, Esquina 21-A, No. 15202, Cubanacán, Playa, La Habana, Cuba.

*ebelia.delangel@ujat.mx

Resumen

La investigación se realizó en entorno rural-urbano con el objetivo de evaluar la corrosión atmosférica de acero al carbono y cobre. Para determinar la categoría de corrosividad del ambiente, se utilizó la norma ISO 9223. Los contaminantes atmosféricos se determinaron de acuerdo con las metodologías y protocolos descritos en la norma ISO 9225, utilizando el método de vela húmeda para medir los iones cloruro (Cl^-) y el plato de sulfatación para detectar el dióxido de azufre (SO_2). Los resultados indican que el contaminante SO_2 se clasifica dentro de los parámetros P_0 a P_1 , lo que indica niveles de potencial corrosivo bajos, mientras que al contaminante Cl^- se le asigna un índice de agresividad de S_2 , reconocido como alto. En cuanto a la categoría de corrosividad de los materiales en el ambiente de estudio, el acero al carbono mostró una clasificación C_2 definida como baja, el cobre categoría C_1 interpretada como muy baja.

Palabras claves: *agresividad atmosférica, contaminantes, corrosión, metales, Normas ISO*

Abstract

The research was carried out in a rural-urban environment with the aim of evaluating the atmospheric corrosion of carbon steel and copper. To determine the corrosivity category of the environment, the ISO 9223 standard was used. Air pollutants were determined according to the methodologies and protocols described in ISO 9225, using the wet sail method to measure chloride ions (Cl^-) and the sulfation dish to detect sulfur dioxide (SO_2). The results indicate that the pollutant SO_2 is classified within the parameters P_0 to P_1 , indicating low levels of corrosive potential, while the pollutant Cl^- is assigned an aggressiveness index of S_2 , recognized as high. Regarding the category of corrosivity of the materials in the study environment, carbon steel showed a C_2 classification defined as low, copper category C_1 interpreted as very low.

Keywords: *atmospheric aggressiveness, pollutants, corrosion, metals, ISO Standards*

Recibido: 17-septiembre-2025, Aceptado: 19-enero-2026, Publicado: 31-agosto-2026

1. Introducción

La corrosión se puede definir como un proceso que conduce al deterioro gradual de las aleaciones metálicas como consecuencia de su exposición de las condiciones atmosféricas. Este proceso se inicia cuando se forma una fina película de humedad en la superficie del metal, creando así un entorno propicio para las reacciones electroquímicas que aceleran la degradación del material [1], [2]. El acero al carbono y cobre, se utilizan con frecuencia en la construcción y el mantenimiento de proyectos de infraestructura tanto industriales como residenciales. Es imperativo reconocer que cada material posee una vida útil intrínsecamente, que está sujeta a la a una multitud de parámetros ambientales, que ocasionan la corrosividad atmosférica de estos materiales. Las causas de este deterioro pueden provocar importantes pérdidas financieras a largo plazo, atribuibles principalmente a la necesidad de realizar reparaciones continuas o de reemplazar por completo las estructuras y los componentes corroídos [3]. Dado que las tasas de corrosión están profundamente influenciadas por los factores climáticos, cualquier alteración del clima global de la Tierra, en particular las asociadas al aumento de los niveles de temperatura y humedad, es probable que dé lugar a una tasa acelerada de degradación de los materiales y un mayor deterioro de los edificios y la infraestructura.

Es fundamental reconocer que incluso las fluctuaciones más pequeñas en las variables experimentales pueden ejercer una influencia sustancial tanto en la velocidad como en el alcance de los procesos de corrosión, lo que vuelve aún más complejas las interacciones del proceso. Factores como: los niveles de humedad, las precipitaciones, la duración de la presencia de humedad (tiempo de humectación- TdH) y la presencia de ciertos contaminantes, principalmente los cloruros y los sulfatos, pueden actuar en conjunto para acelerar significativamente la velocidad de corrosión de varios materiales. Además, estos parámetros climáticos están sujetos a modificaciones en función del contexto ambiental específico en el que se encuentran los materiales, ya sea que ese ambiente se caracterice por ser un entorno marino, las características mixtas de los paisajes urbanos y rurales o los entornos más controlados de las zonas industriales. En el contexto de México, cabe destacar que los modelos no lineales empleados en los estudios de corrosión se centran en tres factores críticos: la humedad, la temperatura y la concentración de cloruros en la atmósfera, estos parámetros son reconocidos internacionalmente como los más influyentes en la degradación de materiales metálicos expuestos al ambiente.

La humedad relativa y la temperatura determinan el tiempo de humectación (TdH), parámetro fundamental para la formación de electrolitos superficiales que facilitan las reacciones electroquímicas [4]. Una humedad relativa por encima de 80 % y temperaturas moderadas incrementan significativamente la velocidad de corrosión en aceros al carbono y otros metales. La temperatura, por su parte, influye tanto en la cinética de las reacciones corrosivas como en la evaporación del electrolito superficial. En climas tropicales, como los de la costa del Golfo de México, temperaturas elevadas combinadas con alta humedad intensifican los procesos de corrosión [5].

Finalmente, la concentración de cloruros en la atmósfera, derivada principalmente de la proximidad al mar y de aerosoles salinos, es un factor determinante en la agresividad ambiental. Los cloruros desestabilizan las capas pasivas y promueven la formación de productos de corrosión poco protectores, aumentando la tasa de ataque [6], [7]. En México, la aplicación de estos modelos permite clasificar zonas en categorías de agresividad de C_1 a C_X [4], optimizando la selección de recubrimientos, materiales y estrategias de mantenimiento preventivo para infraestructura metálica. Sí existen modelos no lineales específicos desarrollados exclusivamente para México; sin embargo, se emplean adaptaciones locales de los modelos internacionales para reflejar las condiciones climáticas y de contaminación propias de cada región.

El municipio de Cunduacán, Tabasco, combina la interacción de la presencia de los contaminantes de cloruro de sodio (NaCl) provenientes de la cercanía con el Golfo de México, el dióxido de azufre (SO₂), generado por el tráfico vehicular, y las emisiones de gases industriales, debido a la actividad en materia de hidrocarburos que se realiza en los alrededores y los factores meteorológicos (humedad relativa y temperatura)[8], [9].

La gran mayoría de las construcciones se han planificado y ejecutado meticulosamente bajo el supuesto de que las condiciones climáticas actuales y futuras se parecerán mucho a las que se han observado históricamente. Sin embargo, es de suma importancia reconocer que pocas de estas construcciones han considerado adecuadamente la vulnerabilidad inherente de la planificación y el diseño de la infraestructura civil a los efectos multifacéticos del cambio climático [10].

Las iniciativas de investigación que se han llevado a cabo sobre la corrosión atmosférica en el estado de Tabasco, no han correlacionado el impacto del cambio climático con las tasas de corrosión de los materiales y la deposición de contaminantes, que son dos fenómenos que están estrechamente relacionados, y una comprensión más profunda del clima y sus consecuencias asociadas tiene el potencial de mejorar significativamente el diseño y la resiliencia de los nuevos desarrollos de infraestructura. Cabe destacar que el estado de Tabasco ha sido clasificado en el Atlas Nacional de Riesgos por presentar un alto grado de vulnerabilidad a los efectos adversos del cambio climático [11], y la naturaleza corrosiva del medio ambiente en este Estado está muy influenciada por su proximidad geográfica al Golfo de México, además de la presencia de áreas significativamente industrializadas que contribuyen a la corrosividad general del medio ambiente.

2. Metodología Experimental

2.1 Localización de la estación de ensayo

El sitio del ensayo se colocó en la azotea del edificio del Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco (CICTAT), ubicado en el municipio de Cunduacán, Tabasco. En la Figura 1, se observa el mapa del municipio de Cunduacán, la estación del ensayo se señaló con el punto rojo y las x representan la ubicación de centros de procesamiento de hidrocarburos. Se utilizó un rack para el ensayo de los metales a la exposición atmosférica, de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM-G5010.



Figura 1. Localización del rack de exposición

En la Figura 2, se muestra el rack donde se expusieron las probetas rectangulares de acero al carbono y cobre con dimensiones de 20 mm x40 mm x 1 mm en un ángulo de 45° en el marco y separadas por aisladores plásticos (para esto se utilizaron remates comerciales como se señala en la Figura) según las normas ISO 8565[12] y se sometieron a un año de exposición atmosférica. se ubicaron dispositivos de plato de sulfatación y vela húmeda para determinar los contaminantes dióxido de azufre y iones cloruros, cuyas

tasas de deposición se calcularon siguiendo la norma ISO 9225 [13]. Estos dispositivos se expusieron al mismo tiempo que las probetas del ensayo y fueron analizados y reemplazados cada mes.



Figura 2. Rack de exposición de las probetas

2.2 Cálculo de Tiempo de humectación y deposición de contaminantes

Los datos meteorológicos temperatura (T), humedad relativa (HR), para la estimación del tiempo de humectación mediante el complejo T-HR se tomaron de la página de la CONAGUA[14] específicamente de la estación meteorológica de Cunduacán. Posteriormente para calcular el tiempo de humectación en GNU Octave, se parte del criterio definido en ISO 9223, que establece humectación cuando la humedad relativa supera 80 % y la temperatura en el rango 0-25 °C. El script primero importa datos climáticos (temperatura y humedad relativa horaria) desde un archivo de Excel. Posteriormente separan las columnas de temperatura y humedad y se genera una variable lógica que identifique las horas que cumplen las condiciones de humectación. Con la función sum se cuentan los intervalos válidos para obtener el número total de horas de humectación. El resultado que muestra la pantalla se exporta a otro archivo.

2.3 Estimación de la velocidad de corrosión

Para estimar la velocidad de corrosión, se realizaron retiros de las muestras de metal (acero y cobre), en periodos de tres meses, es decir, en cuatro periodos durante un año. Para determinar la pérdida de masa se utilizó la Norma ISO 8704, para la remoción de los productos de corrosión mediante limpieza química, por lo que se realizaron inmersiones sucesivas de cada probeta en las soluciones descritas en la Tabla 1, (se utilizaron tres probetas expuestas de cada material) a partir de las cuales se realizó un registro de masa y determinar la velocidad de corrosión por pérdida de masa.

El cálculo de velocidad de corrosión se realizó utilizando la ecuación 1 dada por la norma ISO 9226:2012:

$$r'_{corr} = \frac{\Delta m}{A \cdot \rho \cdot t} \quad (1)$$

Donde:

r'_{corr} : velocidad de corrosión ($\mu\text{m/a}$)

Δm : pérdida de masa del metal (g)

A : área de metal expuesta (m^2)

ρ : densidad del metal expuesto (g/cm^3)

t : tiempo de exposición (años)

Tabla 1. Soluciones para limpieza química de acuerdo con la Norma ISO 8704

Material	Chemical	Tiempo	Temperatura (°C)
Acero	500 ml de ácido clorhídrico (HCl, $\rho=1,19$ g/mL) 3,5 g hexametilentetramina Agua destilada hasta completar 1000mL	10 min	20 a 25
Cobre	50 g de ácido sulfámico Agua destilada hasta completar 1000 mL	5 min	20 a 25

3. Resultados

3.1 Tiempo de humectación

En la Figura 3, se muestra el TdH mensual (barras grises), y el TdH acumulado (línea negra con puntos) para obtener el TdH anual. El monitoreo del TdH anual, se obtuvo en 4 periodos: 1) de febrero – abril 2024, fueron 216 h en febrero, 45 h en marzo, casi nulo en abril, febrero mostró el valor más alto del periodo. 2) De mayo a agosto 2024, a pesar de las lluvias ligeras, se mantuvo con valores de 1 a 17 h, esto indica que la humectación fue casi nula; 3) en el siguiente periodo de septiembre – noviembre 2024, hubo un incremento con valor un de 14 h en septiembre, 121 h en octubre, y con valor de 58 h en noviembre; 4) de diciembre 2024 – febrero 2025, fue el periodo más crítico del año, diciembre con 220 h, 137 h en enero y 240 h en febrero, estos valores son altos, superando ampliamente el umbral de 100 h considerado como crítico de acuerdo a la Norma ISO 9223.

Con base en los resultados, el TdH para la atmósfera de Cunduacán fue de 1085 h, en el rango de $1-240 \pm 118$ horas. Cunduacán, Tabasco de acuerdo con la Norma ISO 9223:2012 tiene una categoría de agresividad τ_3 basada en el tiempo de humectación, lo que representa un entorno de moderada agresividad. Aunque los valores de TdH no fueron altos, la persistencia de la humedad, principalmente en enero y febrero, donde hubo aumento del TdH, incrementó los procesos corrosivos sobre los materiales [15].

En contraste con el TdH estimado por Del Angel et al. (2009) durante inicios del milenio, el TdH osciló entre 4603-5741h en atmósfera urbana (Villahermosa, Tabasco), los valores calculados para Cunduacán, Tabasco a un año de monitoreo fueron de 1085 h, este dato resulta menos de la tercera parte de las horas de humectación reportadas para principios de los 2000 [17].

Durante este año del estudio se observó que las temperaturas registradas fueron altas la mayor parte del tiempo, en el rango de 17.2-42.5 °C, ocasionando la disminución de los tiempos de humectación estimados para el ambiente de Cunduacán, Tabasco lo que revela en parte, el alcance del cambio climático, principal responsable de las alteraciones existentes en las frecuencia y duración de los periodos húmedos y secos [18], relacionados con el aumento o disminución de los niveles de humedad en algunas regiones [19].

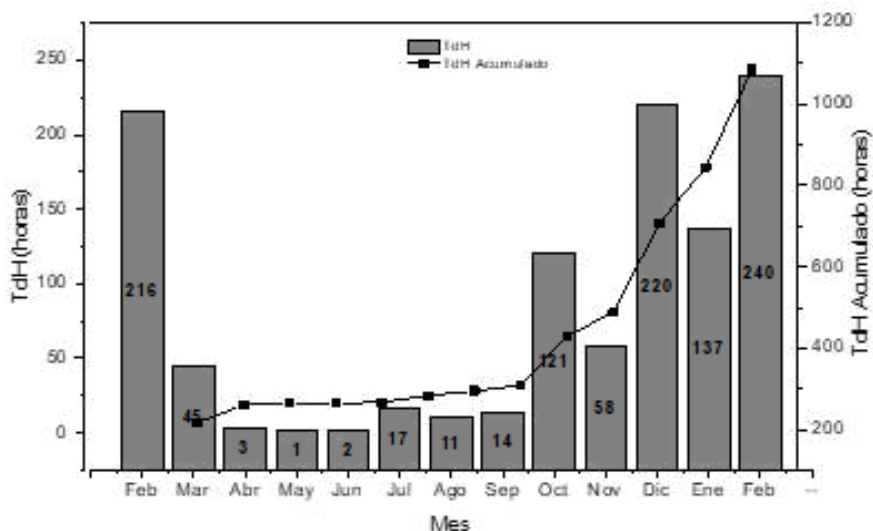


Figura 3. Tiempo de humectación (TdH) calculado durante el periodo del ensayo

En la Tabla 2, se presentan algunas de las investigaciones más recientes que reportan la estimación del tiempo de humectación anual para distintas zonas, destacan la diferencia entre los tipos de atmósfera, y que en las zonas marina se obtuvieron menores categorías de agresividad dada sus cercanías con la costa, sin embargo, esta estimación no tiene en cuenta la naturaleza de los materiales expuestos. La categoría de agresividad de τ_3 , con 1085 horas se acerca bastante a lo estimado por Tahandar y colaboradores en el 2022 para el sitio de Mandalay, Myanmar donde también se considera atmósfera urbana. [20] Por otro lado, [21] reportaron un TdH categoría τ_3 , pero para un ambiente marino con 2439 h, reflejando que la amplitud en los rangos de asignación de categoría de ISO es bastante amplia.

Tabla 2. Comparativa de las Categorías y TdH para Cunduacán y otros estudios

Referencia	Tipo de Atmósfera	TdH (horas/año)	Categoría
[22]	Urbana	4499	τ_4
	Urbana Industrial	4743	τ_4
	Urbana	5032	τ_4
	Urbana industrial	4588	τ_4
[20]	Urbana	5532	τ_4
	Urbana	4002	τ_4
	Urbana	1172	τ_3
[23]	Marina	3344	τ_4
[24]	Marina	2439	τ_3
Este trabajo	Urbana-rural	1486	τ_3

3.2 Deposición de contaminantes

En la Figura 4, se muestra la variación mensual de la velocidad de deposición de iones cloruros determinadas mediante los dispositivos de vela húmeda expuestos. Las deposiciones más altas de cloruros ocurrieron durante febrero 2025, que presentó la más alta deposición (10.96 mg Cl/m²·día), dado que la fuente de cloruros suele ser la costa.

En agosto de 2024 se registró una velocidad de deposición de $5.06 \text{ mg Cl}^-/\text{m}^2\cdot\text{día}$, a pesar de registrar una baja humectación ($\text{TdH}=11 \text{ h}$), la alta carga de cloruros sugiere transporte por brisas salinas o vientos marinos, típicos de la región. Los meses de marzo ($2.8 \text{ mg Cl}^-/(\text{m}^2\cdot\text{día})$) y julio ($2.7 \text{ mg Cl}^-/(\text{m}^2\cdot\text{día})$), obtuvieron una deposición moderada mientras que de abril a junio y octubre a enero estuvieron en el rango de $0.92 - 1.31 \text{ mg Cl}^-/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ que representa una deposición baja. En octubre se registró el valor más bajo ($0.14 \text{ mg Cl}^-/(\text{m}^2\cdot\text{día})$), posiblemente asociado a las lluvias ocurridas que limpian la atmósfera y baja actividad de vientos. El promedio anual de velocidad de deposición de iones cloruro fue de $17.19 \pm 3.08 \text{ mg Cl}^-/(\text{m}^2\cdot\text{día})$ con lo que se le asignó una categoría de agresividad S_1 con base en la clasificación de la Norma ISO 9223.

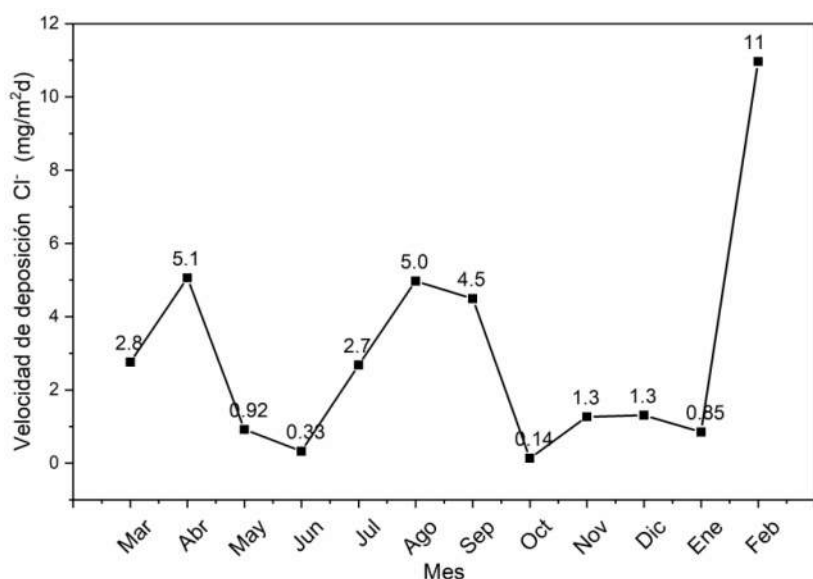


Figura 4. Variación mensual de la velocidad de deposición de cloruros ($\text{mg Cl}^-/(\text{m}^2\cdot\text{día})$)

En la Figura 5, se presenta la velocidad mensual de deposición de dióxido de azufre en la atmósfera, obtenidas a través de los platos de sulfatación expuestos en los diferentes meses. El mes con mayor deposición de SO_2 fue junio ($8.61 \text{ mg SO}_2/\text{m}^2\cdot\text{día}$) que coincide con un incremento en el tiempo de humectación. Seguido de enero ($5.56 \text{ mg SO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{día})$). Los meses de mayo ($5.26 \text{ mg SO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{día})$), diciembre ($3.8 \text{ mg SO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{día})$), julio ($2.74 \text{ mg SO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{día})$) y octubre ($2.22 \text{ mg SO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{día})$) tuvieron niveles moderados mientras que abril ($1.12 \text{ mg SO}_2/\text{m}^2\cdot\text{día}$) y marzo ($1.38 \text{ mg SO}_2/\text{m}^2\cdot\text{día}$) fueron los meses con menor deposición.

La velocidad de deposición anual de este contaminante fue de $20.51 \pm 2.41 \text{ mg SO}_2/\text{m}^2\cdot\text{día}$ y con base en la Norma ISO 9223 se asigna la categoría P_1 a la atmósfera de estudio, con lo que se puede clasificar este ambiente como urbano con baja agresividad. La interacción entre los sulfatos y el acero provoca el desarrollo de capas protectoras; sin embargo, en circunstancias específicas, como elevados porcentajes de humedad como el caso de Cunduacán, y la precipitación prolongada, así como el pH de esta, pueden agravar la corrosión al facilitar el desprendimiento de productos de corrosión que se forman sobre la superficie del metal. La presencia de iones sulfatos sobre el acero, provoca principalmente corrosión localizada [25], [26].

provoca principalmente corrosión localizada [25], [26].

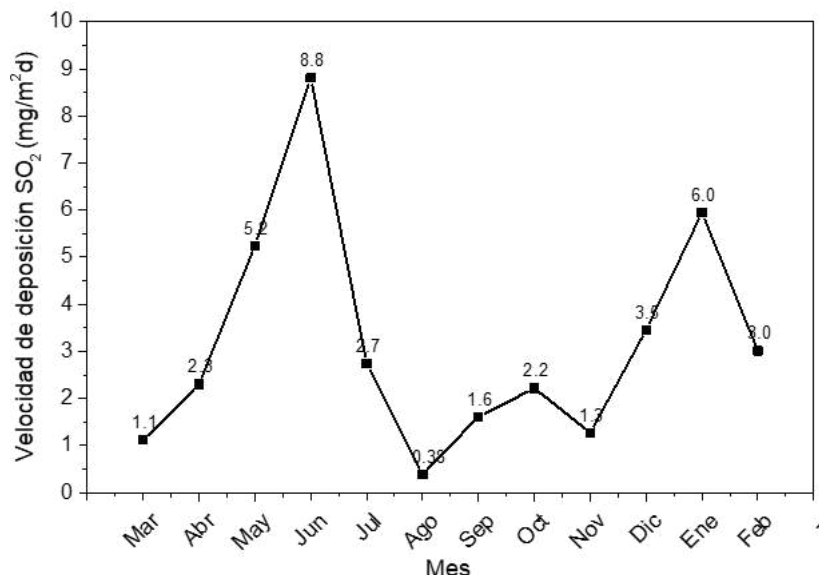


Figura 5. Velocidades de deposición de sulfatos en el periodo marzo-septiembre

3.3 Velocidad de corrosión

En la Figura 6 se muestran las velocidades de corrosión de cada material expuesto en función del tiempo de exposición estimado a partir de la pérdida de masa por corrosión en cada periodo.

Se puede observar en la Figura 6a, que la velocidad de corrosión anual del acero al carbón fue de 2.0168 $\mu\text{m/a}$. Se observa un aumento progresivo de la velocidad de corrosión hasta alcanzar un pico máximo (2.8 $\mu\text{m/a}$) a los 6 meses. Posteriormente, hay una disminución hacia los 9 meses, seguida de un nuevo incremento a los 12 meses (2.0 $\mu\text{m/a}$). En el caso del cobre, Figura 6b, la velocidad de corrosión fue de 0.0936 $\mu\text{m/a}$, presentó una velocidad de corrosión muy baja (0.09 $\mu\text{m/a}$) durante los primeros 3 meses, aumentando ligeramente hasta un valor máximo de 0.1 $\mu\text{m/a}$, a los 9 meses, y luego decreciendo levemente a los 12 meses hasta 0.0936 $\mu\text{m/a}$.

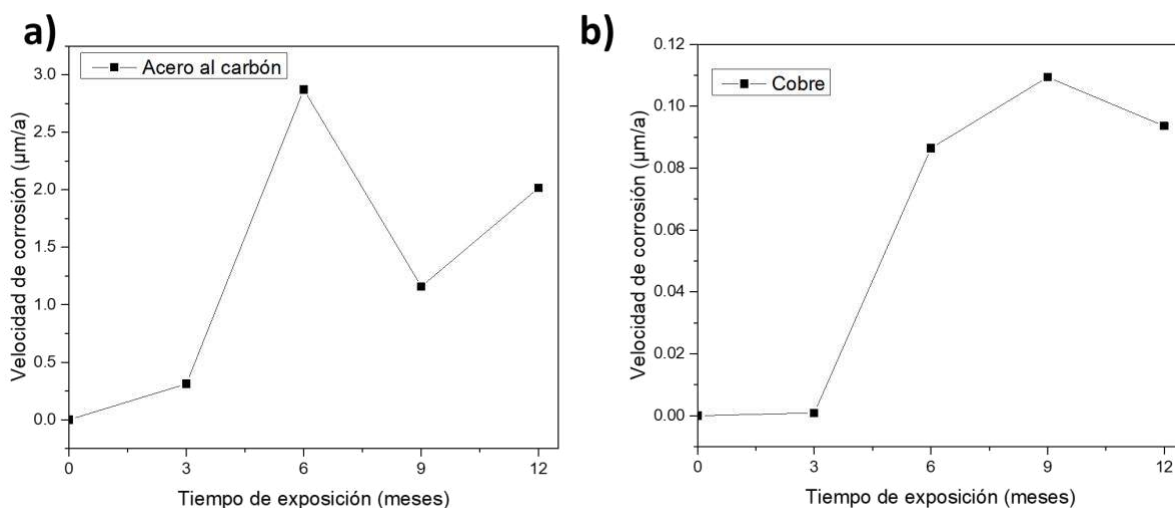


Figura 6. Velocidad de corrosión con respecto al tiempo de exposición de los materiales; a) acero al carbón, b) cobre

Con base en los datos obtenidos, la Norma ISO 9223, permite asignar categorías de agresividad corrosiva para cada metal, estas se muestran en la Tabla 3. Al acero al carbón se le asignó categoría C₂, que corresponde con una susceptibilidad baja a la atmósfera en este periodo de estudio debido a los cambios de Temperatura y Humedad relativa del ambiente. En el caso del Cobre se asigna categoría C₁ que indica muy baja agresividad del ambiente hacia este material en este periodo de estudio.

Tabla 3. Categorías de agresividad asignadas con base en la Norma ISO 9223

Material	I_{corr} ($\mu\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$)	Categoría de agresividad	
Acero al carbón	2.0168	C ₂	Baja
Cobre	0.0936	C ₁	Muy Baja

El comportamiento de la velocidad de corrosión del acero al carbón sugiere una etapa inicial de activación, seguida posiblemente por la formación de productos de corrosión que temporalmente ofrecen una protección parcial. Sin embargo, a los 12 meses, el aumento de la velocidad indica una ruptura o desestabilización de dichos productos, favoreciendo la renovación del proceso corrosivo.

En el caso del cobre, algunos investigadores coinciden que el cobre al ser expuesto comienza a formar capas continuas de óxido que incrementan su grosor conforme avanza el tiempo hasta formar una pátina estable que ocasiona que la velocidad de corrosión ocurra más lenta [27], [28], [29]. Lo que se evidencia con el incremento en las velocidades de corrosión entre los periodos de exposición de tres meses, principalmente debido al lavado de las capas pasivas de óxido que el cobre tiende a formar cuando reacciona con el oxígeno [30]. La velocidad de corrosión después de seis meses tiende a disminuir, a un mayor tiempo de exposición más uniforme se vuelve la capa de productos de corrosión que evita el avance de la corrosión. El proceso de corrosión se observó muy rápido en comparación con las probetas de los otros metales, aunque es común que con el paso del tiempo se formen de manera paulatina los productos de reacciones químicas llevadas a cabo sobre la superficie del metal y estas se manifiesten en primera instancia con cambios de coloración hacia un color que cambia con el tiempo de exposición, para el caso del cobre, el proceso no suele ser tan rápido a menos que sean expuestos a ambientes muy ácidos o alcalinos [31]. Durante las primeras diez semanas documentadas, se observó una acción corrosiva fuerte sobre estas probetas, atribuible a la susceptibilidad del cobre a compuestos como el SO₂, SO₃, SO₄ y H₂S. Se atribuye el transporte de estas emisiones debido a la cercanía de complejos industriales (Batería de separación Cunduacán) que procesan crudo para separar compuestos más ligeros como el aceite y el gas natural, este procedimiento emplea procesos físicos como destilación atmosférica [32] y destilación al vacío que suele derivar en la emisión de gases con contenido de azufre de hasta 7%.

4. Conclusiones

La atmósfera rural-urbana de Cunduacán, presenta mayor influencia de contaminación por iones cloruros con categorías de agresividad moderada S₂. El SO₂ captado en la estación de ensayo durante el tiempo de estudio, presentó una categoría de agresividad de P₁ considerada como una atmósfera urbana. El análisis del complejo Temperatura-Humedad relativa indicó que, para la atmósfera de Cunduacán, Tabasco, 1085 horas fue el tiempo en el cual los materiales se mantuvieron con una película de humedad, lo que propicia su deterioro con agresividad τ_3 de acuerdo con la norma ISO 9223, como una agresividad moderada. El cobre alcanzó una categoría de agresividad muy baja (C₁), con una velocidad de corrosión de 0.0908 $\mu\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$.

¹, durante el año de exposición. El acero al carbono obtuvo una velocidad de corrosión de $31.17_{\mu\text{m}\cdot\text{a}^{-1}}$ que corresponde a una agresividad atmosférica baja (C_2), en el año de exposición.

Adicionalmente, los resultados obtenidos constituyen evidencia técnica relevante que permite inferir la necesidad de fortalecer las medidas de control y gestión de las emisiones atmosféricas generadas por las actividades petroleras localizadas en los alrededores del área de estudio. La presencia de una atmósfera con influencia de iones cloruro, la captación de SO_2 con características propias de una atmósfera urbana y la permanencia prolongada de películas de humedad sobre los materiales expuestos, indican condiciones ambientales que pueden verse potenciadas por fuentes industriales cercanas, como las operaciones petroleras. En este sentido, la información generada puede ser utilizada como insumo para la construcción de bases de datos ambientales y mapas de agresividad atmosférica, que describan espacial y temporalmente los efectos de las emisiones sobre el entorno y los materiales expuestos. Este tipo de herramientas permitiría identificar zonas con mayor vulnerabilidad, así como respaldar técnicamente la implementación de estrategias de monitoreo continuo, prevención y mitigación, contribuyendo al diseño de políticas públicas y normas orientadas a la protección ambiental y a la reducción de impactos asociados a las emisiones provenientes de actividades petroleras en la región.

Si bien el estudio se desarrolló bajo las condiciones y alcances establecidos, los resultados obtenidos demuestran que los **objetivos planteados fueron alcanzados**, proporcionando una caracterización consistente de la agresividad atmosférica en la zona de estudio durante el periodo analizado

5. Agradecimientos

El autor le agradece al SECIHTI el apoyo otorgado a través de la Beca para Estudios de Maestría # 1166847.

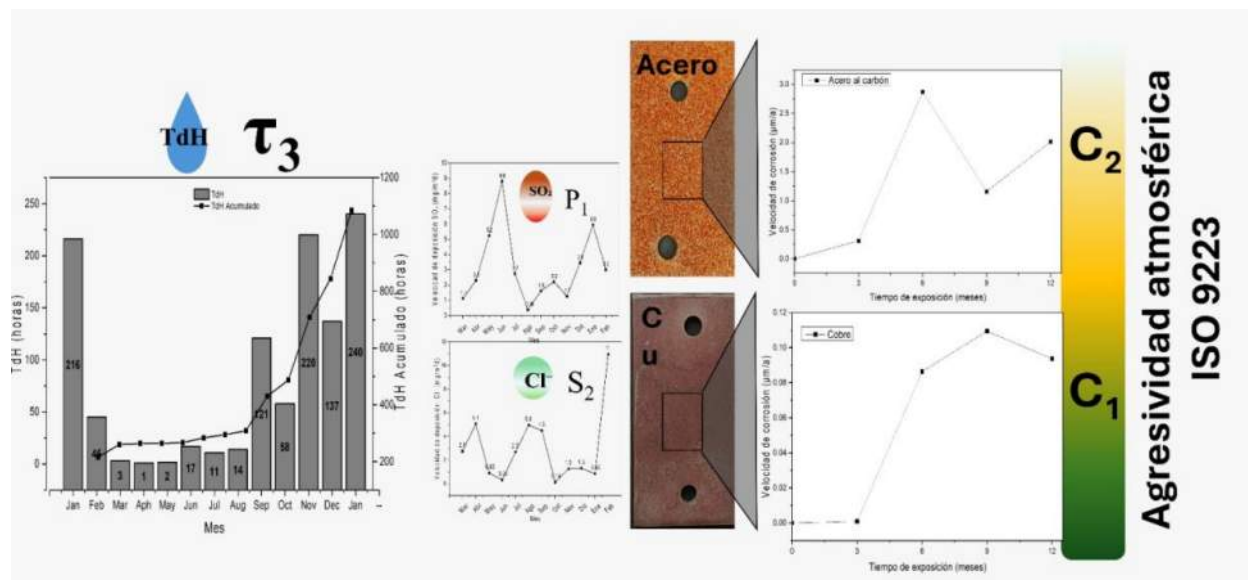
6. Conflicto de intereses

“Los autores declaran no tener conflictos de intereses”

7. Declaratoria de uso de Inteligencia Artificial

“Los autores declaran que no han utilizado ninguna aplicación, software, páginas web de inteligencia artificial generativa en la redacción del manuscrito, en el diseño de tablas y figuras, ni en el análisis e interpretación de los datos”.

8. Resumen Grafico



10. Tabla de rol de autores

ROL	AUTORES(AS)
Conceptualización	Osiris Angélica López Zapata, Ebelia Del Ángel Meraz, Francisco Eduardo Corvo Pérez,, Cecilia Silvia Valdés Clemente
Curación de datos	Osiris Angélica López Zapata, Ebelia Del Ángel Meraz, Cecilia Silvia Valdés Clemente
Análisis formal	Ebelia Del Ángel Meraz, Francisco Eduardo Corvo Pérez, Cecilia Silvia Valdés Clemente
Adquisición de fondos	Francisco Eduardo Corvo Pérez, Cecilia Silvia Valdés Clemente
Investigación	Osiris Angélica López Zapata, Ebelia Del Ángel Meraz, Francisco Eduardo Corvo Pérez, Cecilia Silvia Valdés Clemente
Metodología	Osiris Angélica López Zapata, Ebelia Del Ángel Meraz, Francisco Eduardo Corvo Pérez,
Administración del proyecto	Ebelia Del Ángel Meraz, Cecilia Silvia Valdés Clemente
Recursos	Francisco Eduardo Corvo Pérez, Cecilia Silvia Valdés Clemente
Software	Osiris Angélica López Zapata, Ebelia Del Ángel Meraz, Francisco Eduardo Corvo Pérez, Cecilia Silvia Valdés Clemente
Supervisión	Ebelia Del Ángel Meraz, Cecilia Silvia Valdés Clemente
Validación	Osiris Angélica López Zapata, Ebelia Del Ángel Meraz, Francisco Eduardo Corvo Pérez,, Cecilia Silvia Valdés Clemente
Visualización	Osiris Angélica López Zapata, Ebelia Del Ángel Meraz, Francisco Eduardo Corvo Pérez,, Cecilia Silvia Valdés Clemente
Escritura-borrador-original	Osiris Angélica López Zapata, Ebelia Del Ángel Meraz, F.E.C.P, Cecilia Silvia Valdés Clemente
Escritura-revisión-edición	Osiris Angélica López Zapata, Ebelia Del Ángel Meraz, Francisco Eduardo Corvo Pérez, Cecilia Silvia Valdés Clemente

Nota. Taxonomía de roles de contribución (CRediT)

11. Referencias

- [1] S. Mitali, J. Harsh, K. Devanshu, K. Santosh, and K. Rakesh, “Overview on corrosion, classification and control measure: a study,” *i-manager’s Journal on Future Engineering and Technology*, vol. 17, no. 2, p. 26, 2022, doi: 10.26634/JFET.17.2.18501.
- [2] B. Daneshian, D. Höche, O. Ø. Knudsen, and A. W. B. Skilbred, “Effect of climatic parameters on marine atmospheric corrosion: correlation analysis of on-site sensors data,” *Materials Degradation*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, Feb. 2023, doi: 10.1038/s41529-023-00329-6.
- [3] Fuad Khoshnaw, Ed., “Part I: General Aspects of Corrosion, Corrosion Control, and Corrosion Prevention,” in *Corrosion Atlas Case Studies*, Elsevier, 2024, pp. xxix–xlvi. doi: 10.1016/B978-0-443-13228-5.09993-1.
- [4] ISO, “ISO 9223:2012 Corrosion of metals and alloys-Corrosivity of atmospheres-Classification, determination, and estimation,” 2012.
- [5] I. O. Wallinder and C. Leygraf, “Environmental Effects of Metals Induced by Atmospheric Corrosion,” *ASTM Special Technical Publication*, no. 1421, pp. 185–199, 2002, doi: 10.1520/STP10893S.
- [6] J. Rodríguez-Yáñez, J. Uruchurtu-Chavarin, and J. Sanabria-Chinchilla, “Tropical atmospheric corrosion of galvanized steel, in a light urban atmosphere in the San José valley of Costa Rica,” *Rev Mex Ing Quim*, vol. 21, no. 2, pp. 1–26, Jun. 2022, doi: 10.24275/rmiq/Mat2759.
- [7] J. O. Castillo-Miranda and F. J. Rodríguez-Gómez, “Mapping of the cost of atmospheric corrosion of zinc and galvanised steel due to the effect of atmospheric pollution in the Mexico City Metropolitan area,” <https://doi.org/10.1080/1478422X.2022.2074115>, vol. 57, no. 5, pp. 408–419, Aug. 2022, doi: 10.1080/1478422X.2022.2074115.
- [8] “Cunduacán | Portal Tabasco.” Accessed: May 11, 2024. [Online]. Available: <https://tabasco.gob.mx/cunduacan>
- [9] B. G. Díaz, E. D. Á. Meraz, and M. A. P. Castro, “Composición Fisicoquímica del agua en Cunduacán, Tabasco México.”, *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability*, vol. 5, no. 2, pp. 127–146, Dec. 2021, doi: 10.19136/JEEOS.A5N2.4993.
- [10] M. Nogal, E. Bastidas-Arteaga, and H. M. Dos Santos Gervásio, “Consideration of climate change-induced corrosion by structural codes,” *IABSE Congress, Christchurch 2020: Resilient Technologies for Sustainable Infrastructure - Proceedings*, pp. 1064–1070, 2020, doi: 10.2749/CHRISTCHURCH.2021.1064.
- [11] D. González Terrazas, A. Vermonden Thibodeau, and F. Gress Carrasco, “Municipios Vulnerables al Cambio Climático con base en los resultados del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al cambio climático,” 2021. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/inecc>
- [12] ISO 8565, “ISO 8565:2011 Metals and alloys Atmospheric corrosion testing General requirements,” 8665, 2011.
- [13] ISO 9225, “ISO 9225:2012(E) Corrosion of metals and alloys-Corrosivity of atmospheres-Measurement of environmental parameters affecting corrosivity of atmospheres,” 2012.
- [14] “Servicio Meteorológico Nacional.” Accessed: Nov. 08, 2023. [Online]. Available: <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- [15] M. Hoseinpoor, T. Prošek, L. Babusiaux, and J. Mallécol, “Toward more realistic time of wetness measurement by means of surface relative humidity,” *Corros Sci*, vol. 177, p. 108999, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.CORSCI.2020.108999.
- [16] M. E. Del Angel, L. Veleza, and A. Acosta, “Agresividad atmosférica basada en el tiempo de humectación del clima tropical húmedo del estado de Tabasco,” *Universidad y ciencia*, vol. 25, no. 2, pp. 111–120, 2009, Accessed: Sep. 22, 2024. [Online]. Available:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792009000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

[29792009000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792009000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

- [17] A. S. Domínguez, E. D. A. Meraz, and A. E. C. Pérez, “La Corrosión del Acero Galvanizado en una Atmósfera marina-costera de Tabasco, México.,” *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability*, vol. 5, no. 2, pp. 147–162, Dec. 2021, doi: 10.19136/JEEOS.A5N2.4710.
- [18] M. Almazroui, K. S. Balkhair, M. N. Islam, and Z. Şen, “Climate Change Impact on Monthly Precipitation Wet and Dry Spells in Arid Regions: Case Study over Wadi Al-Lith Basin,” *Advances in Meteorology*, vol. 2017, no. 1, p. 5132895, Jan. 2017, doi: 10.1155/2017/5132895.
- [19] B. F. Zaitchik, M. Rodell, M. Biasutti, and S. I. Seneviratne, “Wetting and drying trends under climate change,” *Nature Water* 2023 1:6, vol. 1, no. 6, pp. 502–513, May 2023, doi: 10.1038/s44221-023-00073-w.
- [20] W. Thandar, Y. Y. K. Win, T. Khaing, Y. Suzuki, K. Sugiura, and I. Nishizaki, “Investigation of Initial Atmospheric Corrosion of Carbon and Weathering Steels Exposed to Urban Atmospheres in Myanmar,” *International Journal of Corrosion*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/4301767.
- [21] C. Titakis and P. Vassiliou, “Evaluation of 4-Year Atmospheric Corrosion of Carbon Steel, Aluminum, Copper and Zinc in a Coastal Military Airport in Greece,” *Corrosion and Materials Degradation 2020, Vol. 1, Pages 159-186*, vol. 1, no. 1, pp. 159–186, May 2020, doi: 10.3390/CMD1010008.
- [22] A. C. Santa, D. A. Montoya, J. A. Tamayo, M. A. Gómez, J. G. Castaño, and L. M. Baena, “Atmospheric corrosion of carbon steel: Results of one-year exposure in an andean tropical atmosphere in Colombia,” *Heliyon*, vol. 10, no. 8, p. e29391, Apr. 2024, doi: 10.1016/J.HELİYON.2024.E29391.
- [23] R. Vera et al., “Atmospheric corrosion and impact toughness of steels: Case study in steels with and without galvanizing, exposed for 3 years in Rapa Nui Island,” *Heliyon*, vol. 9, no. 7, p. e17811, Jul. 2023, doi: 10.1016/J.HELİYON.2023.E17811.
- [24] C. Titakis and P. Vassiliou, “Evaluation of 4-Year Atmospheric Corrosion of Carbon Steel, Aluminum, Copper and Zinc in a Coastal Military Airport in Greece,” *Corrosion and Materials Degradation 2020, Vol. 1, Pages 159-186*, vol. 1, no. 1, pp. 159–186, May 2020, doi: 10.3390/CMD1010008.
- [25] P. Melo, M. Echagüe, C. Guerra, Q. Jin, M. Sancy, and A. Paul, “On the effect of simulated contamination of chlorides and sulfates on steel rebar corrosion: Electrochemical behavior and surface analysis,” *Constr Build Mater*, vol. 359, p. 129337, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129337.
- [26] P. Zhang, X. Yue, Y. Sun, H. Zhou, J. Zhang, and Y. Wang, “Research on the mechanism of microbial corrosion in the subsurface layer of 7075 aluminum alloy under different corrosion environments with ultra low temperature double increase effect,” *Vacuum*, vol. 227, p. 113348, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.VACUUM.2024.113348.
- [27] D. de la Fuente, J. Simancas, and M. Morcillo, “Morphological study of 16-year patinas formed on copper in a wide range of atmospheric exposures,” *Corros Sci*, vol. 50, no. 1, pp. 268–285, Jan. 2008, doi: 10.1016/J.CORSCI.2007.05.030.
- [28] X. Wang et al., “Atmospheric corrosion of T2 copper and H62 brass exposed in an urban environment,” *Mater Chem Phys*, vol. 299, p. 127487, Apr. 2023, doi: 10.1016/J.MATCHEMPHYS.2023.127487.
- [29] O. O. Ekerenam et al., “Advancements in corrosion studies and protective measures for copper and copper-based alloys in varied environmental conditions,” *Results in Engineering*, p. 105257, May 2025, doi: 10.1016/J.RINENG.2025.105257.
- [30] O. O. Ekerenam et al., “Advancements in corrosion studies and protective measures for copper and copper-based alloys in varied environmental conditions,” *Results in Engineering*, p. 105257, May 2025, doi: 10.1016/J.RINENG.2025.105257.

- [31] I. Hamidah *et al.*, “Corrosion of copper alloys in KOH, NaOH, NaCl, and HCl electrolyte solutions and its impact to the mechanical properties,” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 60, no. 2, pp. 2235–2243, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.AEJ.2020.12.027.
- [32] T. J. Mathew *et al.*, “Advances in distillation: Significant reductions in energy consumption and carbon dioxide emissions for crude oil separation,” *Joule*, vol. 6, no. 11, pp. 2500–2512, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.JOULE.2022.10.004.