


**Óxido de grafeno como aditivo estabilizante: efecto del grado de oxidación en mojabilidad, estabilidad térmica y dispersión**

Flores-Oyervides, J.D., Farías-Cepeda, L., Sáenz-Galindo, A., Rosales Marines, L.



**Reconstrucción por Ingeniería Inversa del álabe desgastado del rodete Francis de mediano salto**

Delgado-Sánchez, G., Cerriteño-Sánchez, A., Castro-Gómez L.L., Galván-González, S.R., Domínguez-Mota, F.J., Ibarra-Bracamontes L.A.



**Propuesta de modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-141-SSA1/SCFI-2012 para un correcto manejo y uso en cosméticos de filtros de UV minerales, cuyo principio activo contiene nanopartículas de Óxido de Zinc (ZnO) y dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>)**

Sánchez-López, F., Ponce-Gil, B., Vázquez-Carrillo, H.Y., Ortiz-Santiago, A., Jiménez-Martínez, W.deJ.



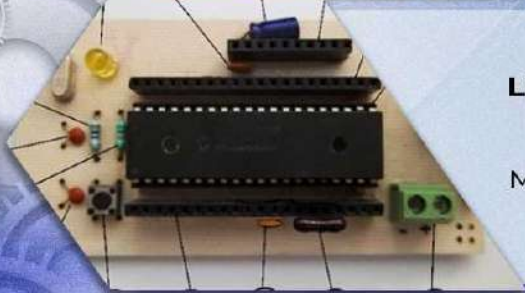
**Efecto ecotoxicológico del paratión metílico en *Moina macrocopa* bajo diferentes densidades algales**

Mauricio-Gutiérrez, A., Mangas-Ramírez, E., Valdez-Ruíz, S., Cortés-Reyes, K., Mora-Ravelo, S.G., Amaro-Leal, L.J., Romero-Arenas, O.



**Sistema de compostaje Johnson-Su como estrategia de gestión sustentable de residuos orgánicos en zonas forestales**

Nájera-Luna, J.A., Esquivel-Delgado, T.V., Díaz-Ramírez, B., Méndez-González, J., Meza-López, P., Rascón-Solano, J., Luna-Robles, E.O.



**Librería Integrable en LabVIEW y Firmware para Control de Tarjeta de Adquisición de Datos**

Martínez-Ramírez, A., Fosado-Quiroz, R.E., Hernández-Nava, N., Ávila-Rodríguez, R.

**Cintillo Legal**

RIIT REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA, Vol. 14, No. 81. Julio - Agosto 2026, es una publicación bimestral editada y publicada por Universidad Autónoma de Coahuila, boulevard Venustiano Carranza s/n colonia República Oriente, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, Tel. (844) 414 85 82, <https://riit.com.mx/>, correo electrónico: [publicacionesriit@uadec.edu.mx](mailto:publicacionesriit@uadec.edu.mx). Editor responsable: Dra. Antonia Mtz. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-021512364600-102, ISSN: 2007-9753, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Departamento de Divulgación y Comunicación Digital de la Dirección de Investigación y Posgrado de la UAdeC, Q.F.B. Fernando García, Edificio "D" planta alta, unidad Camporredondo, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, Tel. (844) 414 85 82, fecha de última modificación: 01 Julio 2026.

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

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de Universidad Autónoma de Coahuila.

**Tabla de Contenido**

Título artículo/ Autores	Páginas
<b>Óxido de grafeno como aditivo estabilizante: efecto del grado de oxidación en mojabilidad, estabilidad térmica y dispersión</b> Flores-Oyervides, J.D., Farías-Cepeda, L., Sáenz-Galindo, A., Rosales Marines, L.	1 – 13
<b>Reconstrucción por Ingeniería Inversa del álabe desgastado del rodete Francis de mediano salto</b> Delgado-Sánchez, G., Cerriteño-Sánchez, A., Castro-Gómez, L.L., Galván-González, S.R., Domínguez-Mota, F.J., Ibarra-Bracamontes, L.A.	14 - 30
<b>Propuesta de modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-141-SSA1/SCFI-2012 para un correcto manejo y uso en cosméticos de filtros de UV minerales, cuyo principio activo contiene nanopartículas de Óxido de Zinc (ZnO) y dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>)</b> Sánchez-López, F., Ponce-Gil, B., Vázquez-Carrilo, H.Y., Ortiz-Santiago, A., Jiménez-Martínez, W.deJ.	31 - 91
<b>Efecto ecotoxicológico del paratión metílico en <i>Moina macrocopa</i> bajo diferentes densidades algales</b> Mauricio-Gutiérrez, A., Mangas-Ramírez, E., Valdez-Ruiz, S., Cortés-Reyes, K.; Mora-Ravelo, S.G., Amaro-Leal, L.J., Romero-Arenas, O.	92 - 106
<b>Sistema de compostaje Johnson-Su como estrategia de gestión sustentable de residuos orgánicos en zonas forestales</b> Nájera-Luna, J.A., Esquivel-Delgado, T.V., Díaz-Ramírez, B., Méndez-González, J., Meza-López, P. Rascón-Solano, J., Luna-Robles, E.O.	107 - 119
<b>Librería Integrable en LabVIEW y Firmware para Control de Tarjeta de Adquisición de Datos</b> Martínez-Ramírez, A., Fosado-Quiroz, R.E., Hernández-Nava, N., Ávila-Rodríguez, R.	120 - 141



## Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: [www.riit.com.mx](http://www.riit.com.mx)

### **Óxido de grafeno como aditivo estabilizante: efecto del grado de oxidación en mojabilidad, estabilidad térmica y dispersión**

### **Graphene oxide as a stabilizing additive: effect of the oxidation degree on wettability, thermal stability, and dispersion**

**Flores-Oyervides, J.D., Farías-Cepeda, L.\*, Sáenz-Galindo, A., Rosales Marines, L.**

Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas, Blvd. V. Carranza esq. José Cárdenas V., C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, México. Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-2112-5122>, <https://orcid.org/0000-0001-7835-9628>\*, <https://orcid.org/0000-0001-7554-7439>, <https://orcid.org/0000-0001-7365-9859>.  
[davidflores@uadec.edu.mx](mailto:davidflores@uadec.edu.mx); [lorenafarias@uadec.edu.mx](mailto:lorenafarias@uadec.edu.mx)\*; [aidesaenz@uadec.edu.mx](mailto:aidesaenz@uadec.edu.mx); [lucero\\_rosales@uadec.edu.mx](mailto:lucero_rosales@uadec.edu.mx)

**Innovación tecnológica:** Uso del óxido de grafeno con grado de oxidación controlado como aditivo estabilizante en sistemas dispersos, permitiendo modular su comportamiento interfacial, mojabilidad y estabilidad térmica sin el empleo de surfactantes moleculares convencionales.

**Área de aplicación industrial:** Aplicable en procesos industriales que requieran estabilización de emulsiones y dispersiones, tales como las industrias químicas, de materiales poliméricos, recubrimientos, adhesivos y formulaciones funcionales.

Recibido: 22 enero 2026

Aceptado: 20 marzo 2026

#### **Abstract**

This work evaluated the influence of the oxidation degree of graphene oxide on its structural, thermal, and interfacial properties in order to assess its performance as a stabilizing additive in dispersed systems. Graphene oxide was synthesized by a modified Hummers method, varying the reaction time to obtain samples with different oxidation degrees.

FTIR spectroscopy and X-ray diffraction confirmed the incorporation of oxygen-containing functional groups and structural changes associated with oxidation, without showing a strictly proportional relationship between reaction time and oxidation degree. Thermogravimetric analysis revealed differences in thermal stability among the samples, related to the content and nature of oxygen functional groups. Contact angle and surface free energy measurements indicated that oxidation degree affects water affinity and amphiphilic character, although no linear trend with reaction time was observed.

Dispersion tests in liquid–liquid systems showed that the interfacial behavior of graphene oxide depends on both oxidation degree and medium pH. In particular, the sample obtained after 3 h of oxidation (GO 3H) exhibited the most favorable behavior, with greater sensitivity to pH changes and better redistribution between phases. These results indicate that controlling the oxidation degree is a key parameter for tuning the interfacial properties of graphene oxide for potential use as a stabilizing material.

**Keywords:** graphene oxide, oxidation degree, surface free energy, wettability.

## Resumen

En este trabajo se evaluó la influencia del grado de oxidación del óxido de grafeno sobre sus propiedades estructurales, térmicas e interfaciales, con el fin de analizar su desempeño como aditivo estabilizante en sistemas dispersos. El material se sintetizó mediante el método de Hummers modificado, variando el tiempo de reacción para obtener muestras con diferente grado de oxidación.

La caracterización por espectroscopía FTIR y difracción de rayos X confirmó la incorporación de grupos funcionales oxigenados y cambios estructurales asociados al proceso de oxidación, sin observarse una relación estrictamente proporcional entre el tiempo de reacción y el grado de oxidación. El análisis termogravimétrico mostró diferencias en la estabilidad térmica de las muestras, relacionadas con el contenido y naturaleza de los grupos oxigenados. Las mediciones de ángulo de contacto y energía libre superficial indicaron que el grado de oxidación modifica la afinidad por el agua y el carácter anfifílico del material, aunque sin seguir una tendencia lineal con el tiempo de reacción.

Las pruebas de dispersión en sistemas líquido–líquido mostraron que el comportamiento interfacial del óxido de grafeno depende tanto del grado de oxidación como del pH del medio. En particular, la muestra obtenida tras 3 h de oxidación (GO 3H) presentó el comportamiento más favorable, con mayor sensibilidad a los cambios de pH y mejor redistribución entre fases. Estos resultados indican que el control del grado de oxidación es un parámetro clave para ajustar las propiedades interfaciales del material.

**Palabras clave:** energía libre superficial, grado de oxidación, mojabilidad, óxido de grafeno.

## 1. Introducción

La estabilidad de emulsiones y sistemas coloidales es un aspecto fundamental en diversas aplicaciones industriales, ya que la elevada área interfacial generada en sistemas dispersos entre fases inmiscibles hace que los fenómenos interfaciales determinen el comportamiento del sistema (Ravera et al., 2021). La inestabilidad, manifestada a través de procesos como coalescencia, floculación o

sedimentación, afecta directamente el desempeño y la reproducibilidad de estos sistemas (Ravera et al., 2021). Aunque los surfactantes se utilizan comúnmente para reducir la energía interfacial y facilitar la formación de dispersiones, su efectividad puede verse limitada por fenómenos de desorción y por la sensibilidad a las condiciones del medio (Ravera et al., 2021). Por ello, el control de la mojabilidad y de las

interacciones interfaciales resulta clave para el diseño de sistemas dispersos estables y reproducibles (Ribeiro et al., 2023).

Como alternativa a los surfactantes convencionales, las emulsiones tipo Pickering corresponden a sistemas dispersos estabilizados por partículas sólidas adsorbidas en la interfaz entre fases inmiscibles, en lugar de moléculas anfifílicas (Ribeiro et al., 2023; H. Zhao et al., 2022). Estas partículas forman una capa interfacial alrededor de las gotas dispersas, lo que proporciona una barrera física que dificulta procesos de coalescencia y contribuye a una mayor estabilidad del sistema (Ribeiro et al., 2023). A diferencia de los surfactantes, las partículas sólidas presentan una adsorción interfacial altamente estable, lo que reduce significativamente la desorción y confiere una mayor resistencia frente a cambios en las condiciones del medio (Lv et al., 2023; H. Zhao et al., 2022). Como resultado, las emulsiones Pickering suelen exhibir una estabilidad superior y una mayor estabilidad interfacial, lo que ha impulsado su uso en una amplia gama de aplicaciones donde se requiere un control confiable de la dispersión y una estabilidad prolongada (Liu *et al.*, 2025; Yang *et al.*, 2017). Estudios recientes han señalado, además, que las emulsiones Pickering estabilizadas con óxido de grafeno no solo ofrecen ventajas en términos de estabilidad interfacial, sino que también constituyen una plataforma versátil para la preparación de materiales funcionales, debido a la combinación entre la adsorción interfacial del GO y sus propiedades estructurales y químicas superficiales (Liu et al., 2025).

El óxido de grafeno (GO) ha emergido como un material de interés para sistemas interfaciales debido a su estructura bidimensional laminar y a la presencia de diversos grupos funcionales oxigenados distribuidos tanto en el plano basal como en los bordes de las láminas (Huang et al., 2025).

Esta combinación estructural confiere al GO un carácter anfifílico, asociado a regiones hidrofílicas ricas en grupos oxigenados y dominios grafíticos relativamente hidrofóbicos, lo que favorece su interacción con diferentes fases líquidas (Huang et al., 2025; L. Zhao et al., 2023). Como consecuencia, el GO puede adsorberse en interfaces líquido-líquido y comportarse como un material superficialmente activo, mostrando la capacidad de estabilizar dispersiones y emulsiones sin recurrir a surfactantes moleculares convencionales (Wang et al., 2021). Estas características han motivado el estudio del GO como un candidato funcional en sistemas dispersos, particularmente en aplicaciones donde el control de la mojabilidad y de las interacciones interfaciales resulta determinante para la estabilidad y el desempeño de los sistemas dispersos (Huang et al., 2025).

A pesar del amplio interés en el óxido de grafeno, este material no puede considerarse químicamente definido, ya que su estructura y composición dependen de manera significativa del método de síntesis y de las condiciones de oxidación empleadas. Estudios fundamentales han demostrado que el GO presenta una distribución heterogénea de grupos funcionales oxigenados —principalmente epóxidos, hidroxilos y grupos carboxílicos— localizados tanto en el plano basal como en los bordes de las láminas, dando lugar a un material intrínsecamente polidisperso (Huang et al., 2025). La extensión de la oxidación, así como la severidad del proceso, influyen directamente en la preservación del marco carbonado y en la densidad de defectos estructurales, los cuales pueden incrementarse bajo condiciones de sobre oxidación (Karnis et al., 2024). Como consecuencia, el grado de oxidación del GO afecta de manera directa sus propiedades fisicoquímicas, incluyendo su dispersabilidad, comportamiento

interfacial y reactividad química, lo que ha sido ampliamente reconocido como una de las principales fuentes de variabilidad en los sistemas basados en GO (Smith *et al.*, 2019). Esta falta de estandarización dificulta el establecimiento de relaciones claras entre estructura y desempeño, resaltando la necesidad de evaluar de forma sistemática el efecto del grado de oxidación en aplicaciones específicas.

El objetivo de este trabajo es evaluar la influencia del grado de oxidación del óxido de grafeno, obtenido mediante la variación del tiempo de reacción en un método de oxidación química, sobre propiedades relevantes para su uso como aditivo estabilizante. En particular, se analizan los efectos del grado de oxidación en la mojabilidad, el comportamiento térmico y la capacidad de dispersión del material en sistemas líquido-líquido. Mediante este enfoque, se busca establecer relaciones entre las condiciones de síntesis del óxido de grafeno y su comportamiento interfacial bajo diferentes condiciones del medio, particularmente el pH, con el fin de aportar criterios para su selección y uso en aplicaciones de estabilización de sistemas dispersos.

## 2. Materiales y equipos

### 2.1 Materiales

El óxido de grafeno (GO) se sintetizó a partir de hojuelas de grafito como material precursor (99%, Asbury Carbons, Estados Unidos). Para el proceso de oxidación química se emplearon ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 98–99 %, EMSURE, Alemania), permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ , Sigma-Aldrich), ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ , Sigma-Aldrich) y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ , 30%, Jalmek, México), los cuales se utilizaron sin purificación adicional.

Para la preparación de los sistemas líquido – líquidos utilizados en las pruebas de dispersión, se emplearon metil metacrilato (MMA, 99%, Sigma-Aldrich) y acrilato de butilo (BuA, 99%, Sigma-Aldrich), los cuales fueron purificados previamente mediante lavado con una solución acuosa de hidróxido de sodio al 10% m/m. En todos los experimentos se utilizó agua destilada.

### 2.2 Equipos

La síntesis del GO se llevó a cabo utilizando un baño ultrasónico Branson modelo Branson M1800H (Estados Unidos), con una frecuencia de operación de 40 kHz y una potencia ultrasónica de 70 W, en combinación con un sistema de agitación magnética y un sistema de calentamiento con control de temperatura.

La caracterización estructural y química del GO se realizó mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) con accesorio de reflectancia total atenuada (ATR), utilizando un espectrómetro PerkinElmer Frontier (Estados Unidos), en un rango de medición de 4000 a 650  $\text{cm}^{-1}$ , y difracción de rayos X (XRD), utilizando un difractómetro PANalytical Empyrean (Países Bajos) operado a 40 kV y 30 mA, con tubo de Cu y radiación  $\text{Cu K}\alpha$  ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ). El comportamiento térmico de las muestras se evaluó mediante análisis termogravimétrico (TGA), utilizando un equipo PerkinElmer (Estados Unidos) con software Pyris, en un intervalo de 30 a 800 °C, a una velocidad de calentamiento de 20 °C/min, bajo atmósfera de nitrógeno (20 mL/min) y cambio a oxígeno (20 mL/min) a partir de 600 °C.

Las propiedades interfaciales del material se analizaron mediante mediciones de ángulo de contacto, y el comportamiento de dispersión se evaluó a través de pruebas en un sistema de emulsión compuesto por MMA–BuA, agua y óxido de grafeno.

### 3. Métodos experimentales

#### 3.1 Síntesis del óxido de grafeno con diferente grado de oxidación

El GO se sintetizó a partir de hojuelas de grafito mediante procedimiento adaptado por Morales-Acosta *et al.* (2019), basado en una variante del método de Hummers modificado. Inicialmente, 1 g de grafito se dispersó en una mezcla de 5 mL de  $H_3PO_4$  y 23 mL de  $H_2SO_4$  bajo tratamiento ultrasónico, seguido de la adición gradual de 3 g de permanganato de potasio bajo agitación magnética a 300 rpm y control de temperatura, manteniendo la reacción por debajo de  $10^\circ C$  mediante baño de hielo, de acuerdo con el método de referencia. El procedimiento experimental se realizó bajo condiciones de seguridad apropiadas, utilizando equipo de protección personal y campana de extracción, debido al manejo de ácidos concentrados y agentes oxidantes. Asimismo, la adición de los reactivos se llevó a cabo de manera controlada para minimizar riesgos asociados a la reacción.

Con el fin de obtener GOs con diferente grado de oxidación, se mantuvieron constantes las condiciones de síntesis descritas en la literatura y únicamente se varió el tiempo de reacción, evaluándose tres intervalos distintos (3, 6 y 12 h). Una vez finalizado el proceso de oxidación, la reacción se detuvo mediante la adición de 14 mL de peróxido de hidrógeno al 3%, después de agregar 26 mL de agua desionizada, y las suspensiones obtenidas se lavaron repetidamente con agua hasta alcanzar un pH cercano a la neutralidad ( $\approx 7$ ). Los lavados se realizaron por centrifugación a 3500 rpm durante 20 min. Posteriormente, las muestras se secaron en estufa a aproximadamente  $70^\circ C$  durante 24 h, obteniéndose los diferentes materiales de GO.

#### 3.2 Caracterización estructural y química

La presencia de grupos funcionales oxigenados en las muestras de GO se evaluó mediante FTIR, utilizando un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR). Los espectros obtenidos permitieron identificar las principales bandas asociadas a enlaces característicos de los grupos funcionales introducidos durante el proceso de oxidación.

La estructura cristalina y los cambios en el espaciamiento interlaminar del material se analizaron mediante difracción de rayos X (XRD). Los patrones de difracción se registraron bajo condiciones de operación constantes, permitiendo comparar las modificaciones estructurales inducidas por los diferentes tiempos de oxidación.

#### 3.3 Análisis termogravimétrico

El comportamiento térmico de las muestras de GO se estudió mediante análisis termogravimétrico (TGA), registrando la variación de masa en función de la temperatura. Los análisis se realizaron utilizando un analizador termogravimétrico PerkinElmer Pyris, en un intervalo de temperatura de 30 a  $800^\circ C$ , con una rampa de calentamiento de  $20^\circ C/min$ . Inicialmente, el ensayo se llevó a cabo bajo atmósfera de nitrógeno con un flujo de 20 mL/min, realizándose posteriormente un cambio a atmósfera de oxígeno con el mismo flujo al alcanzar temperaturas superiores a  $600^\circ C$ . Esta técnica se empleó para evaluar la estabilidad térmica del material y la influencia del grado de oxidación en los procesos de descomposición asociados a la eliminación de grupos funcionales oxigenados.

#### 3.4 Evaluación de mojabilidad

La mojabilidad de las diferentes muestras de GO se evaluó mediante mediciones de ángulo de contacto. Los ensayos se realizaron

utilizando un analizador de superficie Krüss Mobile Surface Analyzer, empleando agua destilada como líquido de prueba, a temperatura ambiente, y analizando las imágenes mediante el método de la tangente. A partir de estas mediciones se analizó la afinidad superficial del material, relacionando el comportamiento observado con el grado de oxidación obtenido en cada caso.

### **3.5 Pruebas de dispersión en sistemas líquido – líquido**

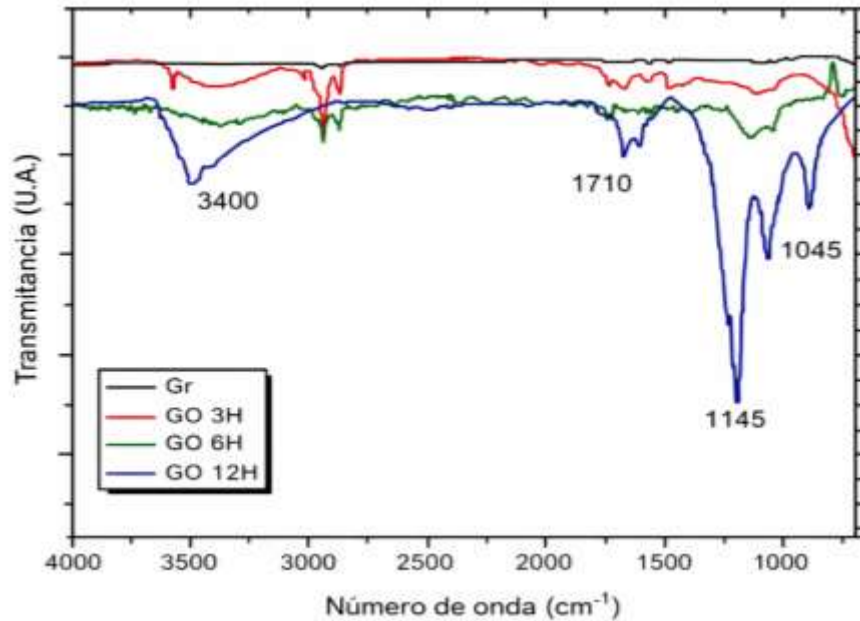
El comportamiento de dispersión del GO se evaluó mediante pruebas en un sistema de emulsión compuesto por una fase orgánica (MMA–BuA) y una fase acuosa. El sistema líquido – líquido se preparó con una proporción 25% MMA – 25% BuA – 50% H<sub>2</sub>O, incorporando las diferentes muestras de óxido de grafeno como aditivo estabilizante en una misma concentración para todos los ensayos.

Las dispersiones se prepararon adicionando el GO al sistema y se evaluó de manera visual la distribución del material entre las fases, así como la estabilidad del sistema con el tiempo. Estas pruebas permitieron analizar de forma cualitativa la influencia del grado de oxidación del GO de grafeno en su comportamiento interfacial y en su capacidad para actuar como aditivo estabilizante en sistemas dispersos.

## **4. Resultados y discusión**

### **4.1 Caracterización química y estructural**

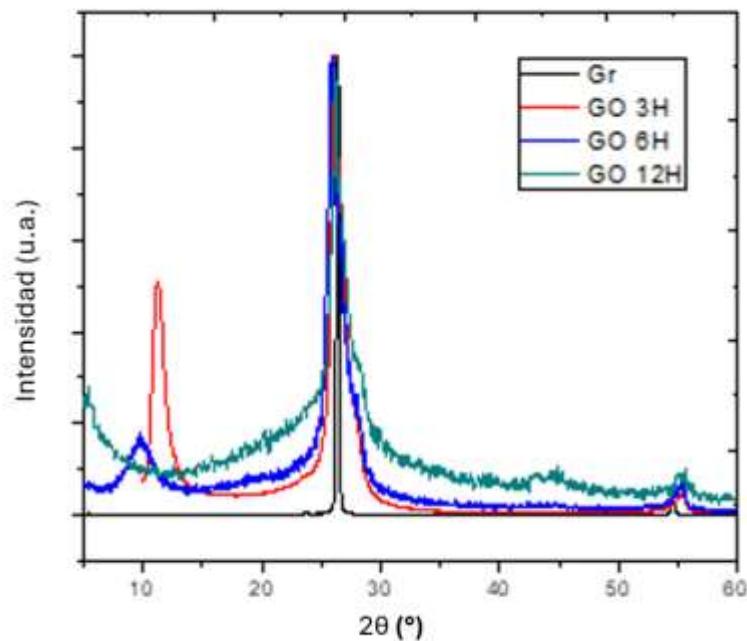
Los espectros FTIR del grafito (Gr) y de los GOs con diferente grado de oxidación (GO 3H, GO 6H y GO 12H) se presentan en la Figura 1. En el caso de los materiales oxidados, se observan bandas características asociadas a la incorporación de grupos funcionales oxigenados, incluyendo una banda alrededor de 1710 cm<sup>-1</sup> atribuida a la vibración de estiramiento del enlace C=O de grupos carboxílicos, así como señales en la región de 1045–1145 cm<sup>-1</sup> asociadas a enlaces C–O de grupos éter, alcohol y –COH. Adicionalmente, se observa una banda ancha alrededor de 3400 cm<sup>-1</sup>, característica de grupos hidroxilo (–OH). En contraste, el espectro FTIR del grafito no presenta bandas asociadas a grupos oxigenados, lo que confirma la oxidación efectiva del material precursor (Dimiev & Tour, 2014; Moazzeni et al., 2025). La evolución de las bandas FTIR no mostró una tendencia estrictamente lineal con el incremento del tiempo de oxidación, particularmente entre 3 y 6 h. Este comportamiento puede atribuirse a la naturaleza heterogénea del óxido de grafeno, así como a la superposición espectral y a la posible redistribución o transformación de grupos funcionales oxigenados durante el proceso de oxidación.



**Figura 1.** Espectros FTIR del grafito y de los GOs con diferente grado de oxidación.

Los difractogramas de rayos X correspondientes al grafito y a los diferentes óxidos de grafeno se muestran en la Figura 2. El grafito presenta el pico característico a  $2\theta \approx 26^\circ$ , correspondiente al plano (002). En los materiales oxidados aparece un nuevo pico en el intervalo de  $9-11^\circ$  a  $2\theta$ , asociado a la

estructura laminar expandida del GO. Sin embargo, en todos los GOs también se detecta la presencia del pico del grafito, lo cual ha sido previamente reportado y se asocia a una oxidación incompleta del material (Shojaeenezhad *et al.*, 2017).



**Figura 2.** Difractogramas de rayos X del Gr y de los GOs con diferente grado de oxidación.

Adicionalmente, el difractograma de GO 3H presenta un pico de mayor intensidad en la región de bajo ángulo, lo que indica una mayor presencia de dominios oxidados con espaciamiento interlaminar expandido en comparación con GO 6H y GO 12H. Este resultado sugiere que, a tiempos de reacción más cortos, puede coexistir material con un alto grado de oxidación junto con regiones grafíticas no completamente oxidadas, lo que se traduce en una estructura más heterogénea. La ausencia de una expansión progresiva del espaciamiento interlaminar con el aumento del tiempo de oxidación sugiere que el proceso no sigue una relación estrictamente lineal. Aunque tiempos de reacción mayores favorecen la oxidación, también pueden inducir reordenamiento estructural, generación de defectos o incluso colapso parcial de las láminas durante el secado, lo que limita la separación interlaminar observable por DRX/XRD aún bajo condiciones de síntesis similares.

Con base en la relación de intensidades entre los picos del GO y del grafito ( $I_{GO}/I_{Gr}$ ), se evaluó de manera semicuantitativa el grado de oxidación de los materiales (Tabla 1).

**Tabla 1.** Relación entre las intensidades de los picos del óxido de grafeno y del grafito ( $I_{GO}/I_{Gr}$ ).

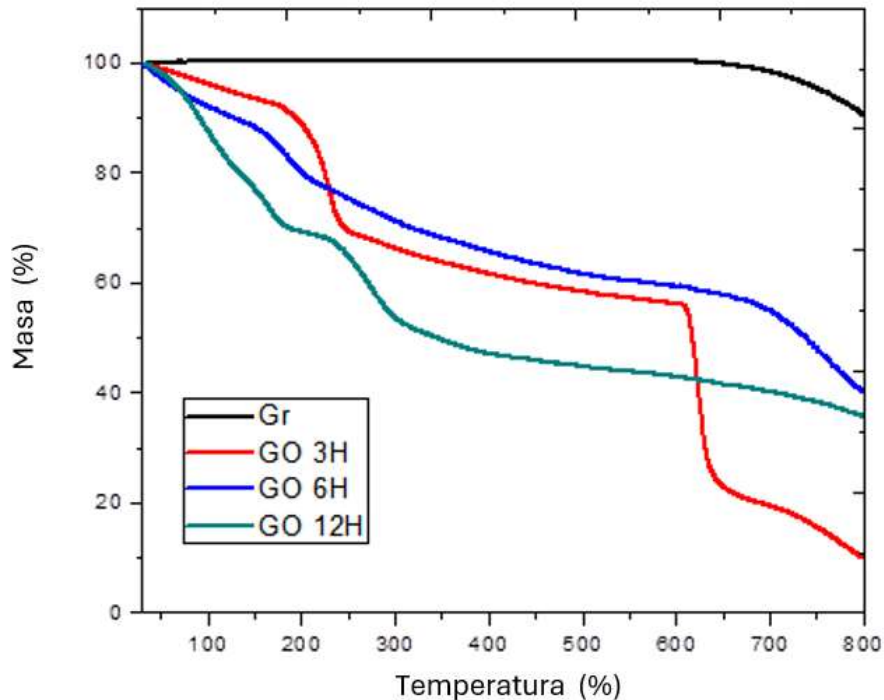
Muestra	$I_{GO}/I_{Gr}$
GO 3H	0.51
GO 6H	0.18
GO 12H	0.34

Nota: los valores de la relación  $I_{GO}/I_{Gr}$  corresponden a una sola medición por muestra; por lo tanto, no fue posible estimar una incertidumbre experimental basada en réplicas. Los datos se presentan con carácter semicuantitativo.

En general, un mayor valor de esta relación indica un mayor grado de oxidación; no obstante, no se observa una relación proporcional directa entre el tiempo de reacción y el grado de oxidación, lo que sugiere que la cinética del proceso no depende únicamente del tiempo, sino también de factores estructurales del grafito precursor y de la difusión del agente oxidante dentro de las láminas.

#### 4.2 Análisis termogravimétrico

Los termogramas correspondientes al grafito y a los diferentes GOs se presentan en la Figura 3. El grafito muestra una pérdida de masa significativa únicamente a temperaturas superiores a 600 °C, asociada a la descomposición del material carbonoso. En contraste, los óxidos de grafeno presentan múltiples etapas de pérdida de masa.



**Figura 3.** Análisis termogravimétrico del grafito y de los diferentes óxidos de grafeno.

La primera pérdida, observada alrededor de 100 °C, se atribuye a la eliminación de agua físicamente adsorbida. Una segunda pérdida, entre aproximadamente 100 y 200 °C, se asocia a la descomposición de grupos funcionales oxigenados débilmente enlazados, mientras que una tercera etapa, entre 200 y 450 °C, corresponde a la eliminación de grupos oxigenados más estables y al inicio de la degradación de la estructura carbonosa. Este comportamiento concuerda con lo reportado previamente para materiales basados en óxido de grafeno (Dimiev & Tour, 2014; Farivar *et al.*, 2021).

Las diferencias observadas en la magnitud de las pérdidas de masa entre los distintos GOs reflejan variaciones en el contenido de grupos funcionales, confirmando que el grado de oxidación influye directamente en la estabilidad térmica del material. En particular, la muestra GO 3H presenta una caída de masa más pronunciada en las etapas asociadas a la descomposición de grupos

oxigenados, lo que sugiere una mayor concentración de especies funcionales menos estables térmicamente y una estructura más heterogénea en comparación con GO 6H y GO 12H.

### 4.3 Propiedades interfaciales: mojabilidad y energía libre superficial

Las imágenes de ángulo de contacto para el grafito y los diferentes óxidos de grafeno se muestran en la Figura 4. El grafito presenta un ángulo de contacto de 99.83°, característico de una superficie hidrofóbica. En contraste, los óxidos de grafeno presentan valores menores a 90°, con ángulos de 78.73°, 88.75° y 87.06° para GO 3H, GO 6H y GO 12H, respectivamente. Esta disminución del ángulo de contacto indica un aumento en la afinidad por el agua, atribuible a la incorporación de grupos funcionales polares durante el proceso de oxidación (Yilbas *et al.*, 2018).

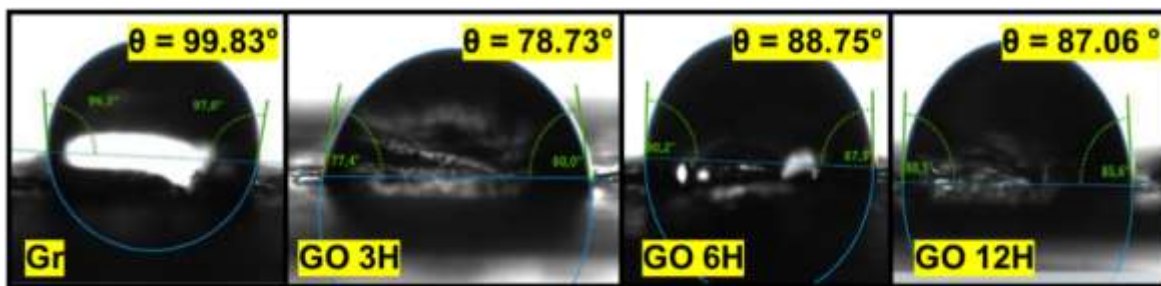


Figura 4. Imágenes del ángulo de contacto de gotas de agua sobre Gr y GOs con diferente grado de oxidación.

La Tabla 2 presenta los valores de energía libre superficial (SFE) calculados para el grafito y los GOs, utilizando diiodometano como líquido de prueba para el cálculo de la energía libre superficial. El grafito presenta una SFE de 46.52 mN/m, mientras que los óxidos de grafeno muestran valores variables en función del grado de oxidación. En particular, GO 3H presenta el valor más bajo de SFE, lo que se asocia a un mayor contenido de grupos funcionales y a un carácter anfifílico más pronunciado. En el caso de GO 6H, la medición con diiodometano fue excluida durante el procesamiento de los datos, lo que sugiere una interacción limitada entre la superficie del material y el líquido de prueba, impidiendo una determinación confiable de la energía libre superficial. Estos resultados son consistentes con el comportamiento térmico observado por TGA, donde GO 3H presentó la mayor pérdida de masa asociada a grupos oxigenados.

Tabla 2. Energía libre superficial del grafito y de los óxidos de grafeno.

Muestra	Energía libre superficial (mN/m)
Gr	46.52 ± 2.53
GO 3H	37.86 ± 1.65
GO 6H	N.D.
GO 12H	43.38 ± 2.02

#### 4.4 Comportamiento de dispersión y estabilidad coloidal

La Figura 5 muestra el efecto del pH en la estabilidad coloidal del óxido de grafeno en un sistema MMA–BuA/H<sub>2</sub>O (25%–25%–50%), empleando GO 3H y GO 12H, seleccionados con base en los resultados previos de caracterización. Se observa que el comportamiento interfacial del GO depende significativamente del pH del medio, lo cual se atribuye a la ionización de los grupos oxigenados presentes en los bordes y la superficie de las láminas.

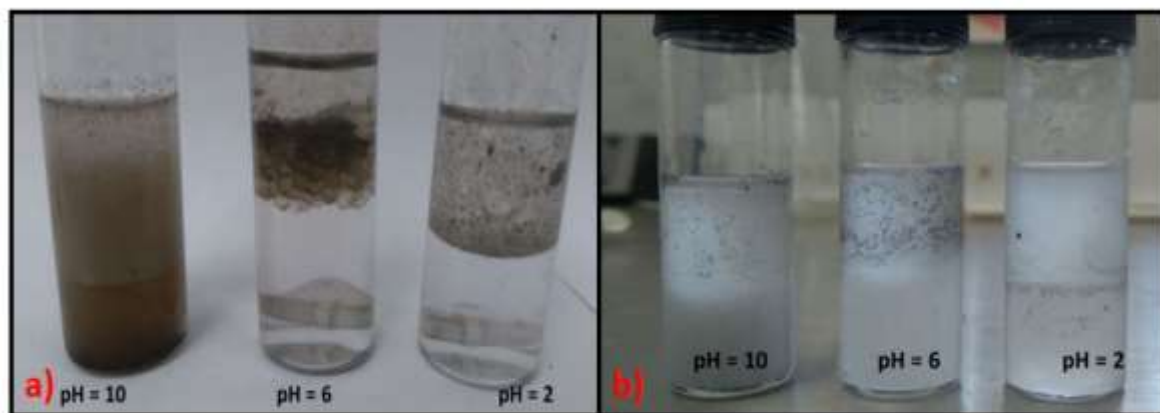


Figura 5. Imágenes de los sistemas formados por MMA–BuA/H<sub>2</sub>O (25%–25%–50%) utilizando: a) GO 3H y b) GO 12H como agente estabilizante.

En medios ácidos, el GO tiende a migrar preferentemente hacia la fase orgánica, mientras que en medios alcalinos presenta mayor afinidad por la fase acuosa. Este comportamiento se explica por la protonación y desprotonación de los grupos funcionales oxigenados, lo que modula el carácter anfifílico del material y su distribución interfacial, en concordancia con lo reportado por (Kim *et al.*, 2010). Adicionalmente, se observa una diferencia clara entre el comportamiento de GO 3H y GO 12H, atribuible a su distinto grado de oxidación. El GO 3H, con mayor contenido de grupos funcionales oxigenados, presenta una respuesta interfacial más sensible a los cambios de pH, reflejada en una redistribución más marcada entre las fases orgánica y acuosa. En contraste, el GO 12H muestra un comportamiento interfacial menos pronunciado, asociado a una menor afinidad diferencial entre fases, lo que sugiere una modificación en su carácter anfifílico como consecuencia del proceso de oxidación. Los resultados de esta sección se presentan en términos cualitativos y comparativos, de acuerdo con el alcance experimental del estudio.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se evaluó el efecto del grado de oxidación del óxido de grafeno sobre sus propiedades estructurales, térmicas e interfaciales, con énfasis en su desempeño como aditivo estabilizante. Los resultados obtenidos muestran que la oxidación del grafito conduce a la incorporación de grupos funcionales oxigenados y a modificaciones estructurales que no dependen de manera estrictamente proporcional del tiempo de reacción.

Entre las condiciones evaluadas, la muestra GO 3H presentó el comportamiento interfacial más favorable, caracterizado por una mayor afinidad por el agua, una respuesta

más sensible a los cambios de pH y una mayor capacidad de redistribución entre fases, lo que la posiciona como la condición de oxidación más adecuada para su uso como aditivo estabilizante.

El análisis termogravimétrico evidenció que el grado de oxidación influye directamente en la estabilidad térmica del material, mientras que las mediciones de ángulo de contacto y energía libre superficial confirmaron un aumento en la afinidad por el agua y en el carácter anfifílico del óxido de grafeno. Asimismo, las pruebas de dispersión en sistemas líquido-líquido demostraron que el comportamiento interfacial del material depende tanto de su grado de oxidación como de las condiciones del medio, particularmente del pH.

Desde el punto de vista de transferencia tecnológica, los resultados obtenidos permiten identificar al óxido de grafeno como un aditivo con potencial para su incorporación en emulsiones lubricantes/refrigerantes empleadas en procesos industriales. En particular, la muestra GO 3H mostró el comportamiento más prometedor, por lo que podría considerarse como base para el diseño de formulaciones orientadas a aplicaciones en manufactura, maquinado y sistemas de lubricación técnica. Aunque los resultados presentados corresponden a una etapa preliminar, constituyen un punto de partida relevante para el escalamiento experimental y la evaluación de desempeño en entornos productivos reales.

En conjunto, los resultados confirman que el control del grado de oxidación del óxido de grafeno es un factor clave para ajustar sus propiedades interfaciales y su desempeño como estabilizante en sistemas dispersos, aportando criterios útiles para su selección en aplicaciones tecnológicas.

### Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por el apoyo económico otorgado a través de la beca de Doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales, la cual hizo posible el desarrollo del presente trabajo. Asimismo, se agradece al Posgrado de Maestría en Ciencia y Tecnología Química de la Universidad Autónoma de Coahuila por el respaldo académico y las facilidades brindadas durante las etapas iniciales de formación que contribuyeron a la realización de este proyecto.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses financieros ni personales que pudieran haber influido en los resultados o en la interpretación de los datos presentados en este trabajo.

### Bibliografía

- Dimiev, A. M., & Tour, J. M. (2014). Mechanism of Graphene Oxide Formation. *ACS Nano*, 8(3), 3060-3068. <https://doi.org/10.1021/nn500606a>
- Farivar, F., Lay Yap, P., Karunagaran, R. U., & Losic, D. (2021). Thermogravimetric Analysis (TGA) of Graphene Materials: Effect of Particle Size of Graphene, Graphene Oxide and Graphite on Thermal Parameters. *C*, 7(2), 41. <https://doi.org/10.3390/c7020041>
- Huang, X., Zhao, W., Khalilov, F., & Xu, N. (2025). Graphene Oxide: Preparation and Medical Research. *Materials*, 18(12), 2855. <https://doi.org/10.3390/ma18122855>
- Karnis, I., Krasanakis, F., Sygellou, L., Rissanou, A. N., Karatasos, K., & Chrissopoulou, K. (2024). Varying the degree of oxidation of graphite: Effect of oxidation time and oxidant mass. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 26(13), 10054-10068. <https://doi.org/10.1039/D3CP05268K>
- Kim, J., Cote, L. J., Kim, F., Yuan, W., Shull, K. R., & Huang, J. (2010). Graphene Oxide Sheets at Interfaces. *Journal of the American Chemical Society*, 132(23), 8180-8186. <https://doi.org/10.1021/ja102777p>
- Liu, M., Zhu, W., & Wang, H. (2025). Materials Prepared via Pickering Emulsions Stabilized by Graphene Oxide: Overview and Prospects. *Materials*, 18(20), 4790. <https://doi.org/10.3390/ma18204790>
- Lv, H., Wang, Z., An, J., Li, Z., Shi, L., & Shan, Y. (2023). Preparation and Emulsifying Properties of Carbon-Based Pickering Emulsifier. *Processes*, 11(4), 1070. <https://doi.org/10.3390/pr11041070>
- Moazzeni, A., Riyahi Madvar, H., Hamed, S., & Kordrostami, Z. (2025). Controlled oxidation levels in graphene oxide to achieve forming-free and analog resistive switching in RRAM. *Scientific Reports*, 15(1), 45074. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-32232-2>
- Morales-Acosta, D., Flores-Oyervides, J. D., Rodríguez-González, J. A., Sánchez-Padilla, N. M., Benavides, R., Fernández-Tavizón, S., & Mercado-Silva, J. A. (2019). Comparative methods for reduction and sulfonation of graphene oxide for fuel cell electrode applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(24), 12356-12364.

- <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.02.091>
- Ravera, F., Dziza, K., Santini, E., Cristofolini, L., & Liggieri, L. (2021). Emulsification and emulsion stability: The role of the interfacial properties. *Advances in Colloid and Interface Science*, 288, 102344. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102344>
- Ribeiro, A., Lopes, J. C. B., Dias, M. M., & Barreiro, M. F. (2023). Pickering Emulsions Based in Inorganic Solid Particles: From Product Development to Food Applications. *Molecules*, 28(6), 2504. <https://doi.org/10.3390/molecules28062504>
- Shojaeenezhad, S. S., Farbod, M., & Kazeminezhad, I. (2017). Effects of initial graphite particle size and shape on oxidation time in graphene oxide prepared by Hummers' method. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 2(4), 470-475. <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2017.09.003>
- Smith, A. T., LaChance, A. M., Zeng, S., Liu, B., & Sun, L. (2019). Synthesis, properties, and applications of graphene oxide/reduced graphene oxide and their nanocomposites. *Nano Materials Science*, 1(1), 31-47. <https://doi.org/10.1016/j.nanoms.2019.02.004>
- Wang, B., Liu, Q., Fan, Z., Liang, T., Tong, Q., & Fu, Y. (2021). Fabrication of PDMS/GA Composite Materials by Pickering Emulsion Method and Its Application for Oil-Water Separation. *Energies*, 14(17), 5283. <https://doi.org/10.3390/en14175283>
- Yang, Y., Fang, Z., Chen, X., Zhang, W., Xie, Y., Chen, Y., Liu, Z., & Yuan, W. (2017). An Overview of Pickering Emulsions: Solid-Particle Materials, Classification, Morphology, and Applications. *Frontiers in Pharmacology*, 8, 287. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00287>
- Yilbas, B. S., Ibrahim, A., Ali, H., Khaled, M., & Laoui, T. (2018). Hydrophobic and optical characteristics of graphene and graphene oxide films transferred onto functionalized silica particles deposited glass surface. *Applied Surface Science*, 442, 213-223. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.02.176>
- Zhao, H., Yang, Y., Chen, Y., Li, J., Wang, L., & Li, C. (2022). A review of multiple Pickering emulsions: Solid stabilization, preparation, particle effect, and application. *Chemical Engineering Science*, 248, 117085. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.117085>
- Zhao, L., Shu, M., Chen, H., Shi, K., & Li, Z. (2023). Preparation of graphene oxide-stabilized Pickering emulsion adjuvant for Pgp3 recombinant vaccine and enhanced immunoprotection against Chlamydia Trachomatis infection. *Frontiers in Immunology*, 14, 1148253. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1148253>



## Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: [www.riit.com.mx](http://www.riit.com.mx)

### Reconstrucción por Ingeniería Inversa del álabe desgastado del rodete Francis de mediano salto Reverse-engineering reconstruction of a worn Francis runner blade for a medium-head

Delgado-Sánchez, G.<sup>a</sup>, Cerriteño-Sánchez, A.<sup>a</sup>, Castro-Gómez, L.L.<sup>b</sup>, Galván-González, S.R.<sup>a\*</sup>, Domínguez-Mota, F.J.<sup>c</sup>, Ibarra-Bracamontes, L.A.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Mecánica, Morelia Mich., México. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1108-1865>; <https://orcid.org/0000-0001-7925-0237>; <https://orcid.org/0000-0002-6925-707X>\*; <https://orcid.org/0000-0003-1741-2936>.

<sup>b</sup> Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Cuernavaca Mor., México. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2507-0067>.

<sup>c</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Morelia Mich., México. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6837-172X>.  
[giovanni.delgado@umich.mx](mailto:giovanni.delgado@umich.mx); [angel.cerriteno.sanchez@umich.mx](mailto:angel.cerriteno.sanchez@umich.mx); [lauracg@uaem.mx](mailto:lauracg@uaem.mx); [sergio.galvan@umich.mx](mailto:sergio.galvan@umich.mx)\*; [francisco.mota@umich.mx](mailto:francisco.mota@umich.mx); [laura.ibarra@umich.mx](mailto:laura.ibarra@umich.mx)

**Innovación tecnológica:** Adaptación a la Ingeniería Inversa de reconstrucción de álabes el procesamiento de datos por una función paramétrica y ajuste por un algoritmo de optimización.

**Área de aplicación industrial:** Manufactura y reparación de álabes de rodetes Francis en Centrales Hidroeléctricas de mediano salto.

Recibido: 9 julio 2025

Aceptado: 19 febrero 2026

#### Abstract

After years of operation with a working fluid that produces not only cavitation but also contains solid particles, the Francis runner blade often shows wear, erosion, cracking, and pitting. When reconstructing very old runners, the original drawings rarely provide detailed technical information about the blade, which, due to its complex shape, cannot be measured using conventional techniques. Therefore, empirical and artisanal methods are often used. Recently, the reverse-engineering process has enabled reconstruction of blade surface geometries through data acquisition, processing, and construction of a 3D model. However, for used and worn blades, the point-cloud data obtained by scanning can be so distorted that the processing technique cannot reconstruct the surface in a continuous, smooth manner that is as close to the original as possible. Consequently, this work aims to reconstruct the blade of an original Francis turbine using a

parametric function as the data-processing technique. By manipulating the  $m$ ,  $p$ , and  $t$  parameters of the four-digit NACA function using an optimization algorithm, the fitting error was minimized to 0.04 relative to the cross-sections extracted from the scanned digital file. The volume of the solid model obtained with the proposed methodology differs by only 0.25% from the original, while maintaining smooth, continuous surfaces. However, it remains to know whether the hydrodynamic and structural conditions generated by the rebuilt blade could affect the turbine's performance.

**Keywords:** *Francis Runner, Blade Reconstruction, Reverse Engineering, Optimization Algorithm, NACA Equations.*

## Resumen

Resultado de operar con un fluido de trabajo no sólo con cavitación sino también con partículas sólidas, el álabe del rodete Francis suele presentar desgaste, erosión, agrietamientos y picaduras después de años de operación. En la reconstrucción de los rodetes muy antiguos, los planos originales no suelen contener información técnica detallada del álabe y no puede ser medido con técnicas convencionales debido a su forma compleja, teniendo que recurrir a técnicas empíricas y artesanales. Recientemente, utilizando el proceso de Ingeniería Inversa, ha sido posible reconstruir las geometrías de las superficies del álabe a través de la adquisición de los datos del sólido, su procesamiento y la construcción del modelo en 3D. Sin embargo, en álabes usados y desgastados la nube de puntos derivada del escaneo es tan distorsionados que la técnica de procesamiento no es capaz de reconstruir la superficie de forma continua y suave y lo más cercana a la original. En consecuencia, este trabajo pretende reconstruir el álabe de un rodete Francis original utilizando una función paramétrica como técnica en el procesamiento de los datos. Manipulando los parámetros  $m$ ,  $p$  y  $t$  de la función NACA de cuatro dígitos por un Algoritmo de Optimización se logró minimizar el error de ajuste a un 0.04 en relación a las Secciones Transversales extraídas del archivo digital escaneado. El volumen del sólido del modelo obtenido por la metodología propuesta alcanza una diferencia de 0.25% respecto al original, pero con superficies suaves y continuas. Sin embargo, queda por conocer si las condiciones hidrodinámicas y estructurales generadas por el álabe reconstruido pudieran afectar el rendimiento de la turbina.

**Palabras clave:** *Rodetes Francis, Reconstrucción del Álabe, Ingeniería Inversa, Algoritmo de Optimización, Ecuaciones NACA.*

## 1. INTRODUCCIÓN

En una turbina hidráulica Francis, la forma del álabe del rodete determina su interacción con el fluido circundante, lo que provoca su desviación y cambio de velocidad, modificando así las fuerzas sobre la superficie del álabe y transformando éstas en torque en el eje de la turbina. Pero por las condiciones de operación demandadas a la turbina provocan la aparición de la cavitación

del fluido y el impacto de partículas por lo que estos álabes sufren daños severos como picaduras, agrietamientos y erosión. Con la constante reparación, este tipo de álabes acumula importantes desviaciones en su forma en relación a la geometría original (Tsuzuki et al., 2015), distorsionando el perfil y disminuyendo así la eficiencia de la turbina.

La geometría del álabe está compuesta de superficies de forma libre que no son comúnmente conocida ya que los dibujos originales no contienen información de los detalles de construcción al ser de uso exclusivo de los fabricantes de las turbinas (Ulucak, 2020). Además, estas superficies de forma libre han tenido la característica de no poder ser expresadas de manera exacta por medio de una o varias funciones analíticas (Gao et al., 2017).

Recientemente la Ingeniería Inversa ha sido aplicada para la reconstrucción de álabes de turbinas hidráulicas intentando crear modelos CAD (*Computational Aided Design*) lo más idénticos a los álabes originales (Basnet et al., 2021; Sedai et al., 2020 & Sierra & Correa, 2020). Los principales pasos en esta reconstrucción han sido el escaneo de la superficie, el procesamiento digital de los datos registrados y la generación del modelo CAD en 3D.

Pero lo disperso de la nube de puntos obtenida por el escaneo, en álabes desgastados por el uso, genera superficies distorsionadas por lo que la técnica de procesamiento de datos se vuelve fundamental para reconstruir la superficie de forma continua, suave y lo más aproximada a la original. Sedai et al., (2020) utilizaron el software de inspección GOM para suavizar los datos escaneados seguido por una reconstrucción de los bordes y así obtener el modelo CAD. Sierra & Correa, (2020) realizaron una aproximación de la superficie por curvas NURBS (*Non-Uniform Rational B-Spline*) debido a la falta de datos obtenidos por el escaneo ya que la erosión por sedimentos provocó la falta de superficies en el álabe. Aunque Delgado et al., (2020) utilizó una función para interpolar los datos obtenidos de un modelo CAD (no escaneado) de cada Sección Transversal del álabe, la reconstrucción numérica de un álabe original, en donde los datos obtenidos por escaneo son

más dispersos, requiere entonces un proceso de aproximación, más que de interpolación.

Por lo tanto, en este trabajo se utiliza una función paramétrica para alcanzar la reconstrucción del álabe. Esta función es dada por el *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA) de cuatro dígitos para ajustar los datos de tres Secciones Transversales (STs) del álabe original: en la corona, en la banda y al 50% de su longitud transversal o conocida como envergadura del álabe. Para alcanzar el mayor ajuste, los parámetros de la función fueron manipulados por un Algoritmo Genético (AG) de manera automatizada. Las Secciones Ajustadas fueron apiladas con una distribución uniforme a lo largo de la envergadura del álabe, generando las Superficies del Lado Presión (SLP) y Succión (SLS).

A diferencia del álabe escaneado, las superficies obtenidas han sido bien definidas, es decir, continuas y suaves para construir el volumen del sólido y compararlo con el volumen del álabe original.

Sin embargo, para asegurar que el ajuste no provoque cambios considerables en el desarrollo del flujo, será necesario comparar computacionalmente el comportamiento hidrodinámico integrando todos los componentes de la turbina.

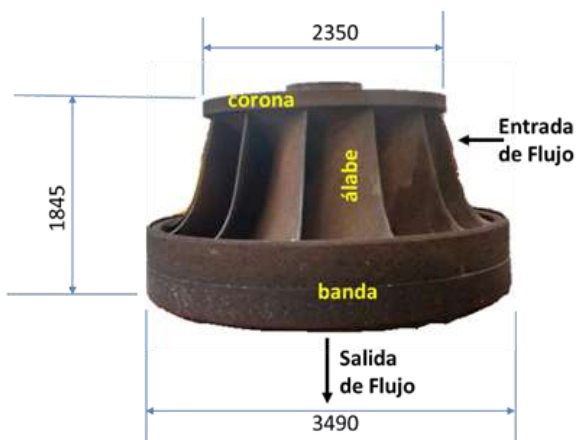
Así, el archivo CAD validado podría ser convertido en un modelo CAM (*Computational Aided Manufacturing*) para realizar su manufactura, o en un archivo CAE (*Computational Aided Engineering*) para crear nuevos diseños.

Se puede considerar entonces que, debido a la exactitud alcanzada y su relativa fácil implementación, esta metodología de reconstrucción del álabe a través de la Ingeniería Inversa podría reducir considerablemente los gastos de operación y

mantenimiento, ampliar la disponibilidad de la planta y mantener la generación de energía entre 30 a 50 años más.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁLABE ORIGINAL

La turbina Francis de mediano salto cuyas características se muestran en la Tabla 1 (Gómez et al., 2008 & Castro et al., 2011), alberga el rodete mostrado en la Figura 1 (a).



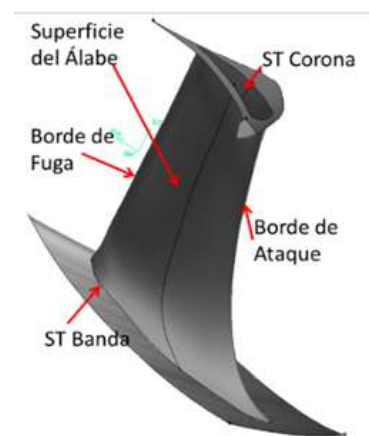
(a) Rodete Francis original (dimensiones en mm).

**Tabla 1.** Características de la turbina Francis.

Velocidad angular	180 rpm
Densidad del agua	998.7 kg m <sup>-3</sup>
Caída de Agua	56.5 m
Caudal	94.8 m <sup>3</sup> -s
Potencia	38.5 MW

Este tipo de rodetes admite gran caudal ya que la distancia entre la Corona y la Banda es muy grande comparada con la distancia entre los Bordes de Ataque y de Fuga del álabe. Esto ha resultado en diseños donde la curvatura del álabe no es muy pronunciada y tienden a provocar, a la salida del rodete, un flujo en forma más axial.

La Figura 1 (b) muestra el sólido del archivo CAD obtenido por escaneo de las superficies del álabe del rodete.



(b) Sólido del álabe escaneado.

**Figura 1.** Rodete original y el modelo CAD del álabe obtenido por escaneo.

Este procedimiento se realizó mediante un escáner láser conectado a un brazo digitalizador marca FARO, como se observa la Figura 2, Castro-Gómez, (2011).



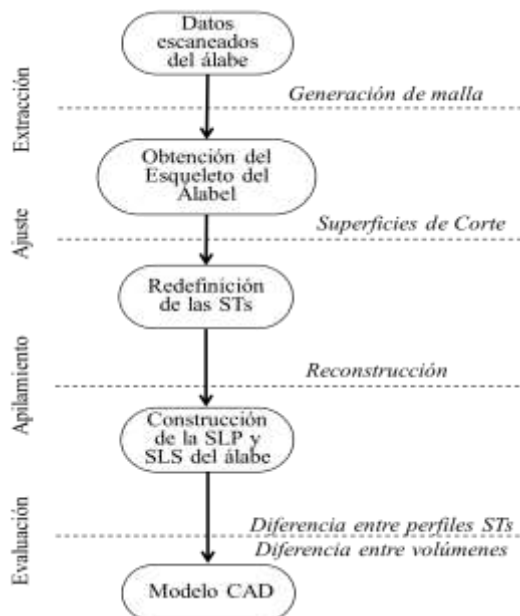
**Figura 2.** Brazo Faro con el cual se escaneo el álabe del rodete original.

La captura de puntos obtenidos por el escáner laser fue a través del software Geomegic Studio y posteriormente se realizó el procesamiento de datos para convertirlos en un modelo CAD y así importarlo al software GAMBIT encargado de la discretización del álabe.

Sin embargo, debido a lo desgastado y dañado del álabe, el modelo CAD presentó irregularidades y discontinuidades no sólo en las superficies del álabe sino también en las ST de la Corona y la Banda, así como en los Bordes de Ataque y de Fuga. Por lo tanto, la Ingeniería Inversa, con la técnica propuesta de procesamiento de datos, deberá de ser capaz de reconstruir las superficies del álabe de forma continua y suave y lo más cercano a la originales.

### 3. METODOLOGÍA DE RECONSTRUCCIÓN DEL ÁLABE

La Figura 3 muestra el diagrama de flujo del proceso para la reconstrucción del álabe.



**Figura 3.** Proceso de reconstrucción del álabe.

La extracción de información del archivo digitalizado tiene como objetivo conocer los

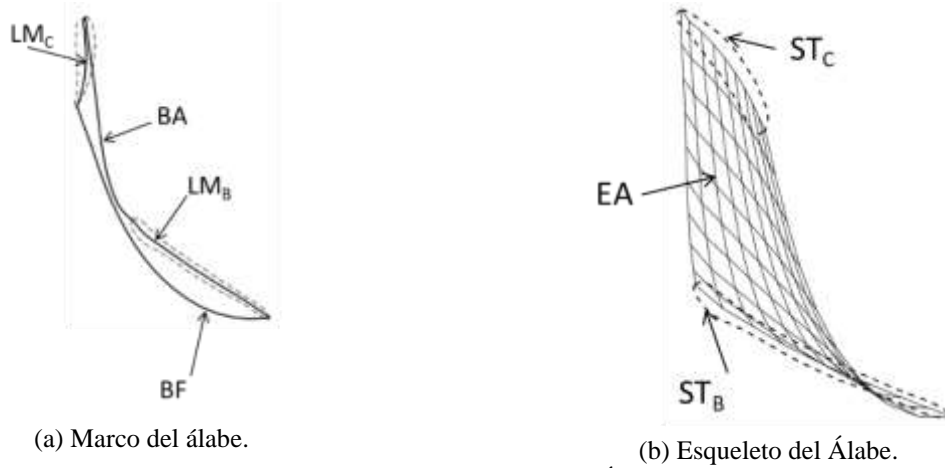
puntos discretos que definen la ST de la Corona, Banda y Central. En la etapa de ajuste del álabe, a diferencia de Delgado et al., (2020) quien lo hizo con un alabe nominal (limpio y sin defectos), se lleva a cabo con una función matemática que define la distribución del espesor en las tres diferentes STs. Los parámetros de la función son manipulados por un algoritmo de optimización para minimizar el ajuste entre STs. En la etapa de apilamiento, las STs ya ajustadas, son colocadas ortogonalmente y en diferente número, a lo largo de la envergadura del álabe. Utilizando los bordes de Lado Presión y de Succión de las STs, se crea la Superficie del álabe para así definir el sólido del álabe. Finalmente, en la etapa de evaluación, se compara el ajuste entre STs y los volúmenes del álabe original y reconstruido.

### 4 ETAPAS DE RECONSTRUCCIÓN NUMÉRICA DEL ÁLABE

La metodología de la reconstrucción del álabe, de acuerdo a la Figura 3, cuenta con cuatro etapas; Extracción, Ajuste, Apilamiento y Evaluación y serán descritas a detalle en las siguientes subsecciones.

#### 4.1 EXTRACCIÓN DE PUNTOS DISCRETOS

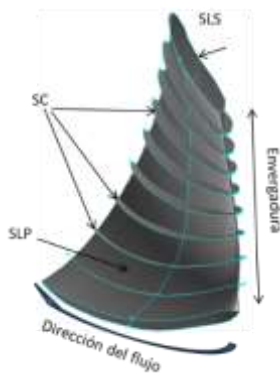
Con los puntos discretos de la ST de la Corona y Banda se define su Línea Media (LM) que junto con el Borde de Ataque y Fuga componen el Marco del Álabe (MA), Figura 4 (a). Mediante el método de Interpolación Transfinita (TFI) utilizado por (Perez Rubio et al., 2021), para la generación de mallas algebraicas, se logró interpolar los datos hacia al interior del dominio del álabe con la finalidad de generar una malla estructurada con una densidad de  $10 \times 10$ , Figura 4 (b), y así crear el Esqueleto del Álabe (EA).



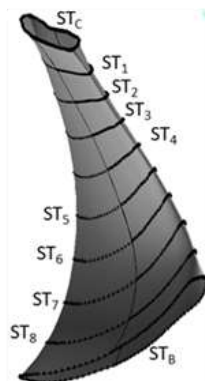
**Figura 4.** Marco y Esqueleto del Álabe.

Cabe destacar que con el método TFI se logró una importante densidad y ortogonalidad de las líneas de la malla sobre las cuales se colocaron a lo largo de la envergadura del álabe las superficies de corte (SC), como lo muestra la Figura 5, utilizando el software GAMBIT.

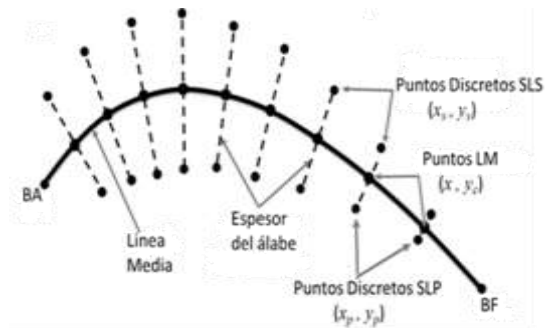
Dado que las SC intersectan a las SLP y SLS del álabe original, fue posible extraer con cada SC 212 puntos discretos para el lado Presión ( $x_p, y_p$ ) y los mismos para el de Succión ( $x_s, y_s$ ) del alabe original, Figura 6. Estos Puntos Discretos definieron las STs del álabe original a lo largo de la envergadura del álabe.



**Figura 5.** Inserción de las SC sobre el álabe original.



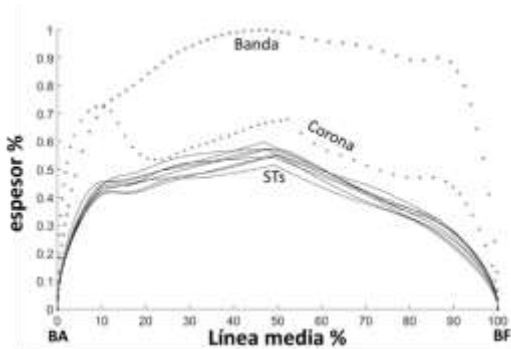
(a) Puntos Discretos sobre la Superficie.



(b) Puntos Discretos sobre la Sección.

**Figura 6.** Puntos discretos obtenidos del álabe original y que definen cada ST.

Los datos obtenidos mediante la técnica de corte por intersección de superficie-superficie, (Dubé et al., 2006 y Milos, 2006), no sólo definieron las STs, sino también sirvieron para conocer la distribución y evolución de espesor de cada ST del álabe original, Figura 7. La distribución define la variación del espesor de cada ST a lo largo de la dirección del flujo, es decir del BA hacia el BF. Por el contrario, la evolución lo define en relación a las otras STs del álabe. Es claro que la distribución del espesor del álabe original en las STs interiores es casi idéntica y sólo existe una diferencia con las STs de la Corona y la Banda. Esto pudo haber sido provocada por la soldadura añadida en la unión del álabe con la Banda y Corona. Ya que los puntos discretos de cada ST tienen una misma tendencia o forma a lo largo de la Línea Media, se puede asumir que una sola forma de ST es común para todo el álabe.



**Figura 7.** Distribución y evolución del espesor para cada ST.

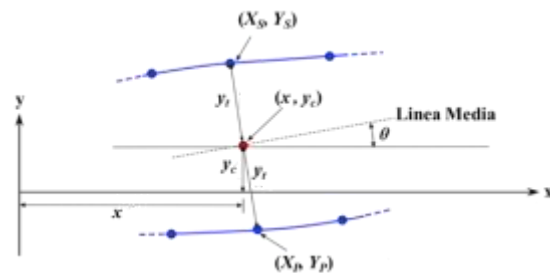
$$y_t = t \left[ a_0 \sqrt{\frac{x}{c}} - a_1 \left( \frac{x}{c} \right) - a_2 \left( \frac{x}{c} \right)^2 - a_3 \left( \frac{x}{c} \right)^3 - a_4 \left( \frac{x}{c} \right)^4 \right] \tag{Ec. 1}$$

Donde:  $a_0 = 1.4845$ ;  $a_1 = 0.6300$ ;  $a_2 = 1.7580$ ;  $a_3 = 1.4215$ ;  $a_4 = 0.5075$

Y  $t$  es el espesor máximo del perfil de acuerdo a la Figura 9.

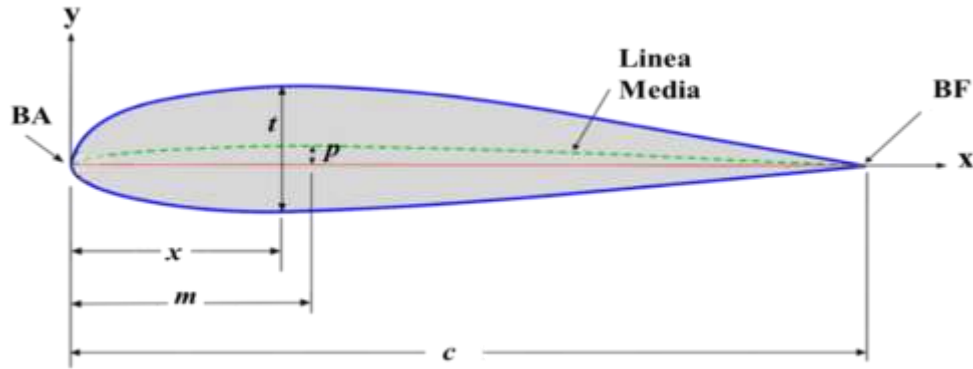
## 4.2 AJUSTE DE LAS SUPERFICIES TRANSVERSALES

De acuerdo con Ferrando López (2006), existen tres formas para establecer la distribución del espesor de un álabe de turbina hidráulica; a través de una función, utilizando NURBs o Splines y por aproximación o interpolación. En Delgado et al., (2020), se definió esta distribución del espesor por esta última opción. En Cerriteño et al., (2021), se hizo este ajuste con la segunda opción, utilizando polinomios de Bernstein de 4to. orden. En este estudio se utilizará la primera opción, es decir una función paramétrica, que defina la distribución del espesor  $y_t$  a lo largo de la Línea Media, de acuerdo a la Figura 8.



**Figura 8.** Definición de la distribución del espesor del álabe en función de las coordenadas.

Esta distribución se puede encontrar por la Ec. (1), NACA de 4 dígitos.



**Figura 9.** Parámetros que definen un perfil aerodinámico usados por NACA.

Donde:

$c$  = Cuerda del álabe

$m$  = Localización de la máxima combadura.

$p$  = Máxima combadura.

Que serán los parámetros que nos ayudarán a definir por medio de las Ec. (2) y Ec. (3) la posición de  $y_c$  conocida como la distribución de la LM, Figura 8.

$$y_c = \frac{m}{p^2} \left[ 2p \left( \frac{x}{c} \right) - \left( \frac{x}{c} \right)^2 \right] ; 0 \leq \left( \frac{x}{c} \right) \leq p \tag{Ec. 2}$$

$$y_c = \frac{m}{(1-p)^2} \left[ 1 - 2p + 2p \left( \frac{x}{c} \right) - \left( \frac{x}{c} \right)^2 \right] ; p \leq \left( \frac{x}{c} \right) \leq c \tag{Ec. 3}$$

Y las coordenadas finales de cada punto discreto de la nueva ST en el Lado Succión o superior ( $X_S, Y_S$ ) Ec. (4), y en inferior o Lado Presión ( $X_P, Y_P$ ) por la Ec. (5).

$$X_S = c(t - y_t \sin \theta) ; Y_S = c(y_c + y_t \cos \theta) \tag{Ec. 4}$$

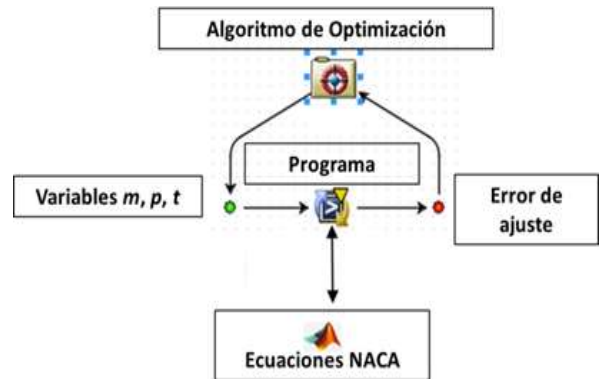
$$X_P = c(t + y_t \sin \theta) ; Y_P = c(y_c - y_t \cos \theta) \tag{Ec. 5}$$

Donde la Ec. (6) define al ángulo de la pendiente de la LM.

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{dy_c}{d\left(\frac{x}{c}\right)} \right) \tag{Ec. 6}$$

#### 4.2.1 Proceso automático de ajuste entre Secciones Transversales del álabe

La Figura 10 muestra el diagrama de flujo diseñado para minimizar el ajuste de la distribución entre espesores de los álabes original y numérico.



**Figura 10.** Diagrama de flujo del proceso automático de minimización del ajuste.

El programa creado interconecta los diferentes softwares y automatiza el proceso que comienza con la propuesta de las variables  $m, p$  y  $t$  las cuales definirán el perfil del álabe a través de las Ecuaciones NACA especificadas en Matlab (2019). Esta propuesta es hecha por el Algoritmo Genético de optimización, Multi-Islands (MIGA), y está implementado dentro de iSIGHT (1994).

La característica principal del MIGA es que la población de diseños es dividida a sub-diseños llamadas islas. La operación genética normal (selección, reproducción y mutación) se desarrollan separadamente sobre cada isla. Una operación adicional llamada migración se usa para transferir algunos diseños de una isla a otra. Así, el proceso de optimización está controlado por el número de sub-diseños que cada isla tendrá que desarrollar a través del número de generaciones.

Para desarrollar la minimización del error de ajuste como función objetivo se utilizaron los parámetros primarios los establecidos por el software que son diez islas con una población de diez individuos realizada durante diez generaciones lo que resultaría en 100 evaluaciones. Los parámetros secundarios fueron la razón de reproducción de 1.0%, de mutación 0.1%, de migración de 0.5% y el intervalo de migración de cada 5 generaciones. Una de las grandes ventajas de este MIGA es que cada sub-diseño puede ser distribuido a un diferente nodo para calcular su ajuste individualmente, reduciendo el tiempo del proceso.

Si los diseños no minimizan el error establecido de ajuste para la misma coordenada  $(x, y_c)$  entre la ST del álabe original, y la numérica, dado por la Ec. (7), el algoritmo deberá proponer nuevamente otras variables para repetir el proceso hasta alcanzar la convergencia o el número de generaciones establecidas.

$$Error = [(\Delta y_s)^2 + (\Delta y_p)^2]^{1/2} \quad (\text{Ec. 7})$$

Dónde:

$$\Delta y_s = y_s - Y_S \quad (\text{Ec. 8})$$

$$\Delta y_p = y_p - Y_P \quad (\text{Ec. 9})$$

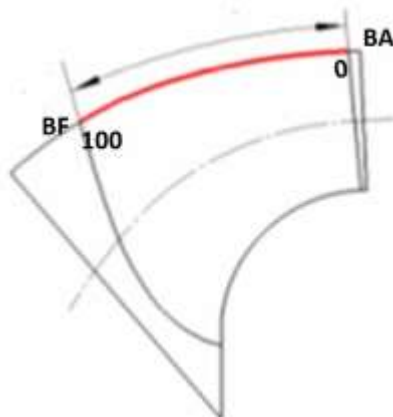
Para lo cual, de la Figura 6 (b), se definen las coordenadas para el álabe original:

$y_s$ : Puntos discretos en el lado succión.

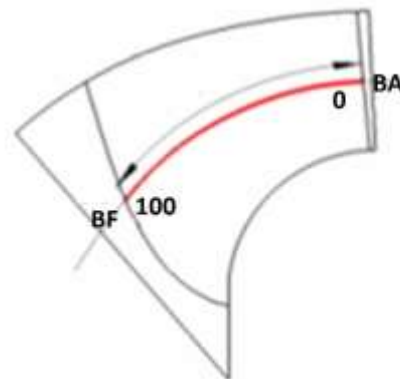
$y_p$ : Puntos discretos en el lado presión.

#### 4.2.2 Evaluación del ajuste

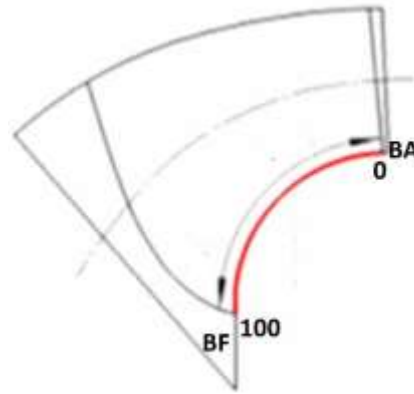
Cada variable de diseño  $m$ ,  $p$  y  $t$  fueron calculados para cada ST en la Corona, la Banda y en la ST<sub>5</sub>, es decir, al 50% de la envergadura del álabe, como lo presenta Chen et al (2016) en la Figura 11.



(a) ST<sub>c</sub>



(b) ST<sub>5</sub>

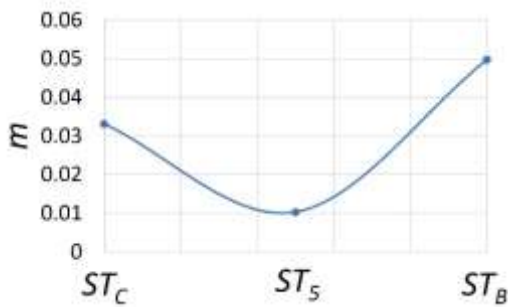


(c) ST<sub>B</sub>

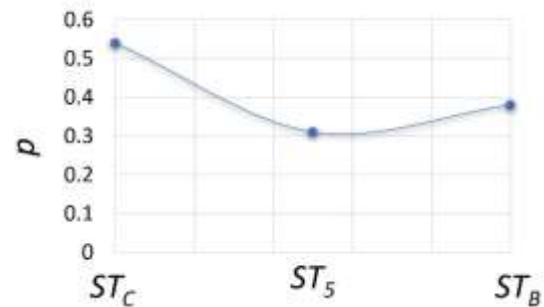
**Figura 11.** Localización del ajuste efectuado en las diferentes STs del álabe.

La Figura 12 presenta los valores alcanzados por los parámetros que definen la distribución

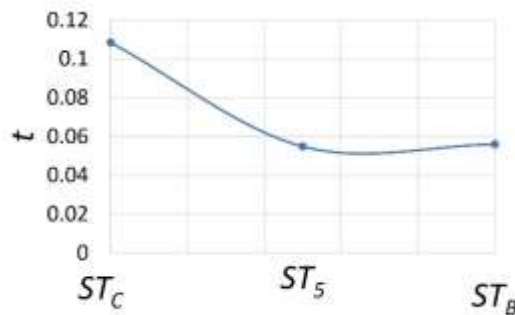
del espesor del álabe cuando se minimizó el ajuste entre las STs.



a) Parámetro m



b) Parámetro p

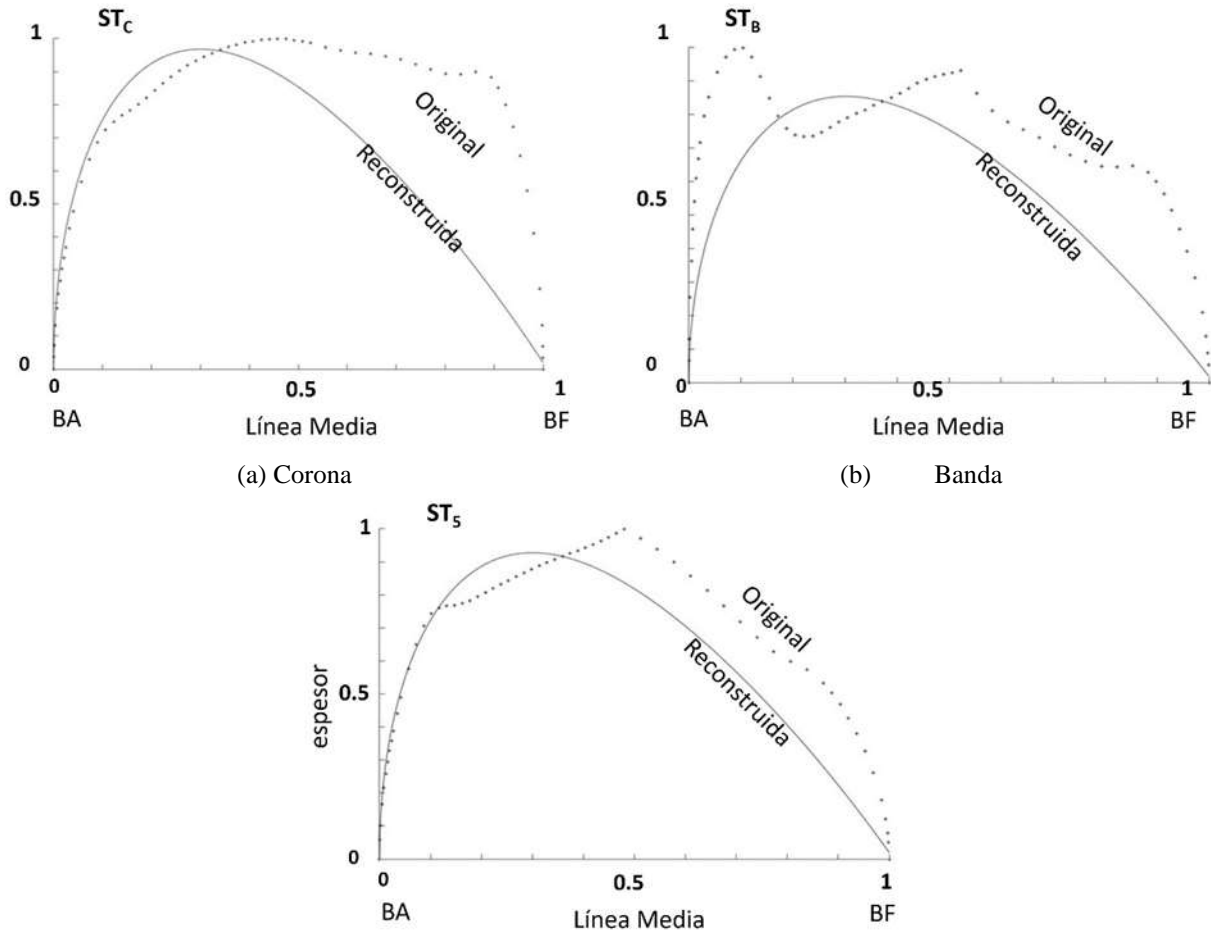


c) Parámetro t

**Figura 12.** Parámetros finales alcanzados en las STs del alabe reconstruido.

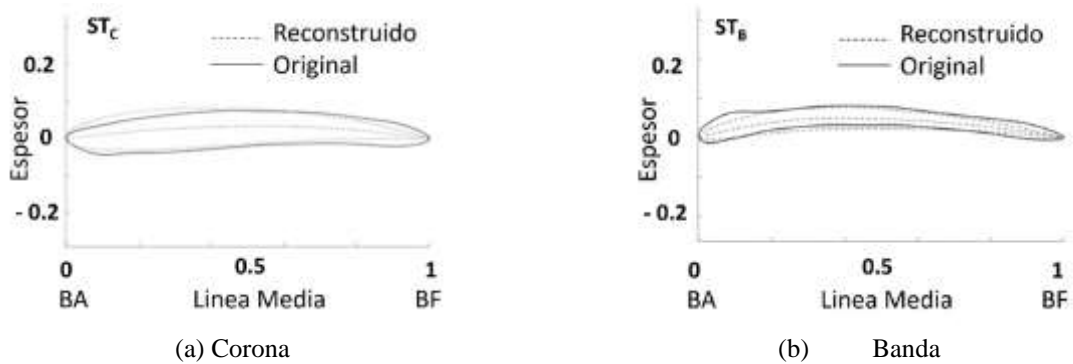
La Figura 13 muestra la comparación entre la distribución del espesor de las STs originales y las reconstruidas en las diferentes posiciones del álabe: Figura 13 (a) para la

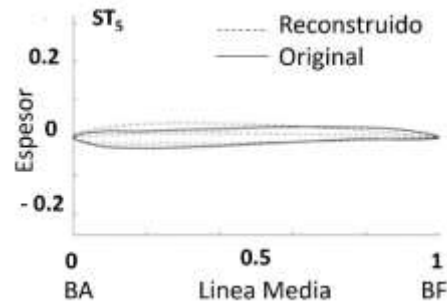
corona, Figura 13 (b) para la banda, y Figura 13 (c) para la mitad de la envergadura del álabe.



(c) 50% de la envergadura.  
**Figura 13.** Comparación entre la distribución del espesor.

La Figura 14 muestra gráficamente el ajuste entre STs para la Banda, Corona y  $ST_5$ .





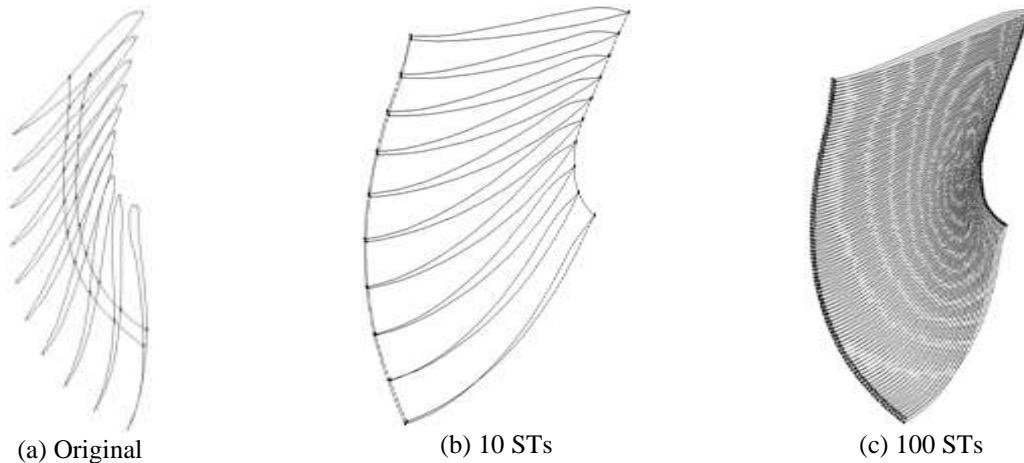
(c)  $ST_5$ , 50% de la envergadura,

**Figura 14.** Comparación entre las STs originales y las ajustadas a lo largo de la envergadura del álabe.

### 4.3 APILAMIENTO DE LAS STs PARA LA DEFINICIÓN DE LAS SLP y SLS

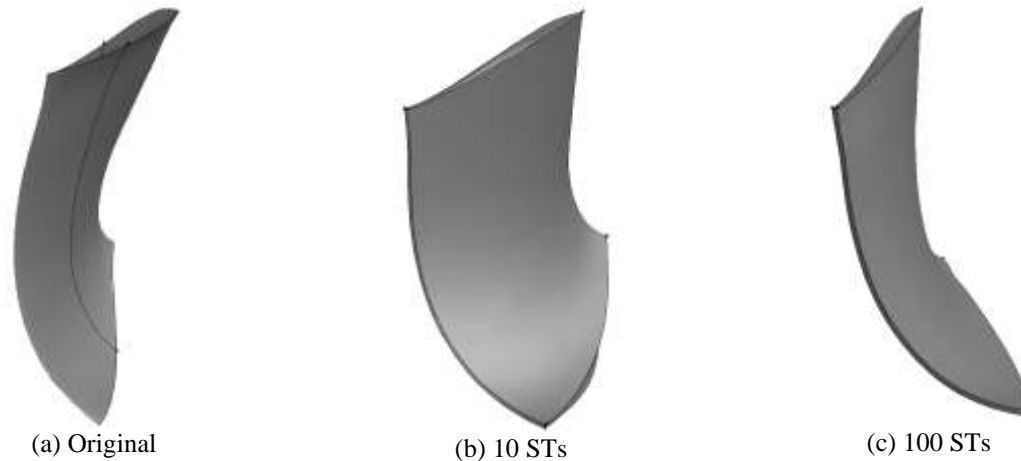
Para definir el álabe con las SLP y SLS de forma continua y suave se apilaron sobre el EA, a lo largo su envergadura, las STs reconstruidas. La Figura 15 (a) muestra la

comparación entre el apilamiento de STs del álabe original, la Figura 15 (b) contra los álabes reconstruidos con 10 STs, y la Figura 15 (c) con 100 STs. Ésta última demuestra que 100 STs ortogonales apiladas en el EA prácticamente definen las superficies de ambos lados del álabe.



**Figura 15.** Apilamiento de las STs en el Esqueleto del Álabe (EA).

La Figura 16 muestra la definición de las superficies del álabe. El sólido del modelo CAD final se construyó mediante superficies revestidas cuando se utilizaron 10 y 100 STs.

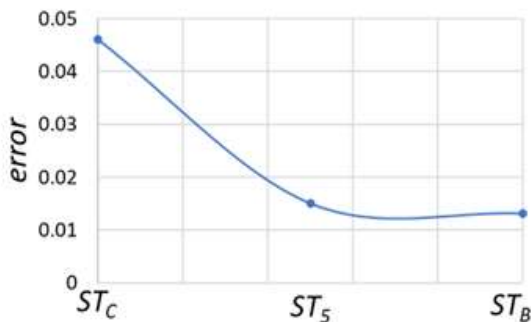


**Figura 16.** Comparación del sólido obtenido del álabe reconstruido contra el original.

#### 4.4 EVALUACIÓN DE LA RECONSTRUCCION

Como se mencionó anteriormente este tipo de álabes no se tienen medidas de referencia por lo que para evaluar la aproximación alcanzada por esta metodología se tomaron dos consideraciones: El ajuste alcanzado entre STs y la diferencia entre volúmenes.

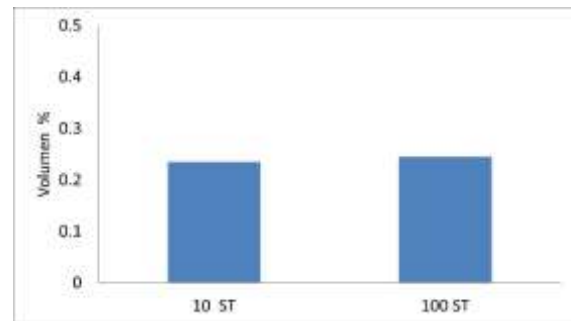
La Figura 17 muestra el error en el ajuste entre las STs de la Corona, la Banda y la  $ST_5$ .



**Figura 17.** Error en el ajuste entre STs dado por la Ec. 7.

Una vez definidas las SLS y la SLP, se determinó el porcentaje de variación del volumen del álabe respecto al original. La Figura 18 muestra que el álabe reconstruido alcanza un cambio de volumen del 0.23% en relación con el original, cuando se utilizó un apilamiento de 10 STs sobre el EA. De la misma manera, el volumen sólo alcanzó el

0.24% cuando se utilizó el apilamiento de 100 secciones para su reconstrucción.



**Figura 18.** Variación volumétrica del ajuste entre el álabe reconstruido respecto al original.

#### 5 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La proximidad en el valor los parámetros  $m$ ,  $p$  y  $t$  entre las diferentes STs del álabe confirma que en este tipo de álabe no cambia mucho en su forma a lo largo de la envergadura. Además, el ajuste alcanzado en las diferentes STs del álabe demuestra que la ecuación del perfil NACA de 4 dígitos puede ser utilizada para este tipo axial-radial de rodete como función paramétrica y con ella procesar los datos escaneados para redefinir las STs del álabe. El posterior apilamiento de estas STs sobre su esqueleto es capaz de crear las SLP y SLS del álabe de forma continua y suave.

## 5.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Para evaluar al ajuste entre las SLP y SLS del álabe, Dubé et al., (2006) and Tsuzuki et al., (2015) establecieron un error cuantificable de aproximación. El primero establece un error en relación al diámetro de rodete de 0.1%. Basados en estos resultados, Delgado et al., (2020) reconstruyó el álabe nominal del rodete de la turbina Francis 99 runner con una exactitud del 0.21% y Cerriteño et al., (2020) consiguió un mejor del ajuste con un 0.04%.

Sin embargo, en este trabajo, al no tener medidas de referencia de las SLP y las SLS del álabe original, solo ha sido posible evaluar la diferencia de volumen alcanzada, 0.23% con 10×10 STs y 0.24% con 100×100 STs. Delgado et al., (2020) alcanzó una diferencia de volúmenes de 0.032% con 10×10 STs y de 0.075% 100×100 STs solo que con álabes nominales.

Así, en la correcta definición del álabe el número de STs no es fundamental, como lo demuestra cuantitativamente Cerriteño-Sánchez et al., (2023). Esto se debe a que las STs son colocadas ortogonalmente siguiendo el EA y no siguiendo las líneas de corriente para apilar las STs como generalmente se ha hecho en otros procesos de reconstrucción (Iliev et al., 2020).

## 5.2 TRABAJOS FUTUROS

Como continuación a este trabajo se pretende analizar el espacio de diseño del álabe generado por los diferentes parámetros de las STs. Utilizando la DFC se estudiaría si las superficies creadas de los álabes reconstruidos numéricamente mejoran o al menos no provocan problemas fluido-dinámicos y estructurales que afecten el rendimiento de la turbina. Así, se pretende utilizar la metodología establecida por Cerriteño et al., (2023) con el modelo de turbina estudiado por Castro et al., 2011.

## 6. CONCLUSIONES

En el presente estudio se ha aplicado una metodología para reconstruir un álabe de rodete Francis original (desgastado y dañado) basada en la Ingeniería Inversa, dónde el principal aporte fue la utilización de una función paramétrica manipulada por un algoritmo de optimización para lograr el mejor ajuste de cada STs del álabe.

Esta metodología demuestra también que, extrayendo los puntos discretos del archivo del álabe original, se puede obtener el marco del álabe para crear una malla estructurada en 3D y definir el EA. Es así que este conjunto bien organizado de líneas de coordenadas permitió, en primer lugar, colocar Superficies de Corte ortogonales para obtener información importante del álabe real y, en segundo lugar, construir las ST del álabe directamente sobre el espacio real, eliminando los problemas de distorsión de longitud inherentes a los álabes axial-radiales con alto grado de torsión geométrica.

Ya que no se cuentan con las medidas de referencias del álabe escaneado, la diferencia encontrada entre volúmenes del álabe desgastado del 0.23% en comparación con ajustes hechos con álabes nominales, 0.0325%, se puede considerar como aceptable, ya que la variación de este volumen es imperceptible a pesar de que se aumenten el número de Secciones Transversales, (STs). Así, sólo el hecho de reconstruir un álabe utilizando una ecuación paramétrica para generar STs bien definidas y continuas, debería resultar en un desarrollo del flujo uniforme y sin fluctuaciones de presión en sus superficies.

Aunque la reconstrucción numérica debió alcanzar una suavidad y continuidad debido al número de secciones insertadas, debe tenerse en cuenta que la distribución y evolución del espesor del álabe podrían

cambiar con las formas de los álabes, lo que implicaría utilizar varias ecuaciones paramétricas para analizar en qué medida el rendimiento del álabe podría verse afectado o mejorado.

Además, la metodología puede apilar una gran cantidad de STs para definir a las superficies de presión y succión del álabe, no obstante, se debe considerar disminuir el número de STs en caso de que se requiera realizar un proceso de optimización de la geometría, esto con la finalidad de reducir el número de parámetros para hacer más eficiente el proceso.

Para tener certeza de la efectividad en la reconstrucción del álabe, se pretende analizar posteriormente por medio de la Dinámica de Fluidos Computacional, las condiciones hidrodinámicas creadas por el rodete en relación al estudio hecho por Gómez et al., (2008). Para esto se deberá establecer a través del método de Taguchi, el espacio de diseño del álabe con el cual pudiera mejorar el rendimiento de la turbina.

Así, una vez evaluado el rendimiento total de la turbina con los álabes reconstruidos, este método de Ingeniería Inversa podría ser propuesto para el proceso de reparación o reemplazo de álabes dañados de rodetes de turbinas de mediano y bajo salto.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el soporte financiero al primer autor, a las Aulas CIMNE Morelia por el apoyo técnico, y a la Coordinación de la Investigación Científica (CIC) de la UMSNH por el apoyo financiero para realizar esta investigación.

### REFERENCIAS

- [1] Tsuzuki, M. S., Vatanabe, S. L., Castro, E. G., Silva, E. C., Martins, T. C., Taniguchi, D. & Tiba, H. (2015). Development of a complete methodology to reconstruct, optimize, analyze and visualize Francis turbine runners. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1900-1905. <https://doi.org/10.1016>
- [2] Ulucak, O. (2020). Rehabilitation of old francis turbines using reverse engineering and computational fluid dynamics simulations (Master's thesis). [URL](#)
- [3] Gao, B., Hao, C., Li, T., & Ye, J. (2017). Grid generation on free-form surface using guide line advancing and surface flattening method. *Advances in Engineering Software*, 110, 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.04.003>
- [4] Basnet, S., Dhulikhel, N., Kapali, A., & Chitrakar, S. (2021). Application of Reverse Engineering Method on Francis Turbine Runner Using 3D Scanning Techniques. In *KEC Conference* (Vol. 2021, p. 2021). [URL](#)
- [5] Sedai, A., Thapa, B. S., Thapa, B., Kapali, A., Qian, Z., & Guo, Z. (2020, August). Application of Reverse Engineering method to model eroded Francis runner. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1608, No. 1, p. 012012). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1608/1/012012>
- [6] Sierra, J., & Correa, E. (2020). Obtaining the CAD Flow Models in the Francis Turbine of the Sancancio Hydroelectric Power Plant by Means of Reverse Engineering. *International Journal of Integrated Engineering*, 12(1), 172-187. [URL](#)
- [7] Delgado, G., Galván, S., Dominguez-Mota, F., García, J. C., & Valencia, E. (2020).

Reconstruction methodology of a Francis runner blade using numerical tools. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 34, 1237-1247. <https://doi.org/10.1007/s12206-020-0222-4>

[8] Gómez, L. L. C., Beltrán, G. U., & Szyszka, J. K. (2008). Estudio numérico del flujo en componentes de una turbina hidráulica. *Memorias del 14 Congreso Internacional Anual de la SOMIM 17 al 19 de septiembre, 2008 Puebla, México*. pp. 1209-1223. [URL](#)

[9] Castro, L., Urquiza, G., Adamkowski, A., & Reggio, M. (2011). Experimental and numerical simulations predictions comparison of power and efficiency in hydraulic turbine. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2011(1), 146054. <https://doi.org/10.1155/2011/146054>

[10] Castro-Gómez L., (2011). Estudio experimental y numérico de la potencia y eficiencia de una turbina Francis: efecto de la modificación geométrica del tubo de aspiración. Doctoral tesis. CIICAP, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

[11] Pérez Rubio, L. D., Galván González, S. R., Domínguez Mota, F. J., Cerriteño Sánchez, A., Tamayo Soto, M. A., & Delgado Sánchez, G. (2021, June). Reconstruction of a Steam Turbine Blade Using Piecewise Bernstein Polynomials and Transfinite Interpolation. In *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air* (Vol. 85017, p. V008T22A005). American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/GT2021-58632>

[12] Dubé, J. F., Guibault, F., Vallet, M. G., & Trépanier, J. Y. (2006). Turbine blade reconstruction and optimization using subdivision surfaces. In *44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit* (p. 1327). <https://doi.org/10.2514/6.2006-1327>

[13] Milos, T. (2006). A New method to obtain the blade surface intersections with horizontal cutting planes of the Francis turbine runner. *Hydraulica*, 2(19), 26-35. [URL](#)

[14] Ferrando López, L. (2006). *Surface parameterization and optimum design methodology for hydraulic turbines* (No. 3448). EPFL. [URL](#)

[15] Cerriteño, A., Delgado, G., Galván, S., Domínguez, F., & Ramírez, R. (2021, June). Reconstruction of the Francis 99 main runner blade using a hybrid parametric approach. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 774, No. 1, p. 012074). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/774/1/012074>

[16] The Math Works, Inc. (2019) Matlab.

[17] isight, iSIGHT 9.0.1. (1994) Engineous Software Inc.

[18] Chen, Z., Singh, P. M., & Choi, Y. D. (2016). The effect of runner blade loading on the performance and internal flow of a Francis hydro turbine model. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 30, 1617-1623. <https://doi.org/10.1007/s12206-016-0317-0>

[19] Cerriteño-Sánchez, Á., Arispe-Angulo, T., Ramírez-Camacho, R., Domínguez-Mota, F., Delgado-Sánchez, G., & Galván-González, S. (2023). Reconstruction of the blade model of the Francis GAMM runner using a smoothed numerical blade. *Alexandria Engineering Journal*, 81, 489-500. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.09.038>

[20] Iliev, I., Tengs, E. O., Trivedi, C., & Dahlhaug, O. G. (2020). Optimization of Francis turbines for variable speed operation using surrogate modeling approach. *Journal*

*of Fluids Engineering*, 142(10), 101214.  
<https://doi.org/10.1115/1.4047675>

### NOMENCLATURA

<b>SLP</b>	Superficie del Lado Presión
<b>SLS</b>	Superficie del Lado Succión
<b>ST<sub>c</sub></b>	Sección Transversal de la Corona
<b>ST<sub>B</sub></b>	Sección Transversal de la Corona
<b>ST<sub>5</sub></b>	Sección Transversal a la mitad del álabe
<b>EA</b>	Esqueleto del Álabe

<b>MA</b>	Marco del Álabe.
<b>SC</b>	Superficies de Corte
<b>BA</b>	Borde de Ataque
<b>BF</b>	Borde de Salida.
<b>LMB</b>	Línea Media en la ST <sub>B</sub>
<b>LM<sub>c</sub></b>	Línea Media en la ST <sub>c</sub>
<b>BA</b>	Borde de Ataque
<b>BF</b>	Borde de Fuga



## Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: [www.riit.com.mx](http://www.riit.com.mx)

### **Propuesta de modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-141-SSA1/SCFI-2012 para un correcto manejo y uso en cosméticos de filtros de UV minerales, cuyo principio activo contiene nanopartículas de Óxido de Zinc (ZnO) y dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>)**

### **Proposal to modify the Mexican Official Standard NOM-141-SSA1/SCFI-2012 for the correct handling and use of mineral UV filters in cosmetics, whose active ingredients contains nanoparticles of zinc oxide (ZnO) and titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>)**

**Sánchez-López, F.<sup>a</sup>, Ponce-Gil, B.<sup>a</sup>, Vázquez-Carrilo, H.Y.<sup>a</sup>, Ortiz-Santiago, A.<sup>b</sup>, Jiménez-Martínez, W.deJ.<sup>b\*</sup>**

<sup>a</sup> Carrera de Química Farmacéutico Biológica, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza; Universidad Nacional Autónoma de México; C.P. 09230, Ciudad de México, México. Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-3581-6846>, <https://orcid.org/0009-0007-5681-1012>, <https://orcid.org/0009-0003-9093-1860>

<sup>b</sup> Academia de Química Analítica, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza; Universidad Nacional Autónoma de México; C.P. 09230, Ciudad de México, México. Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-9918-7795>, <https://orcid.org/0009-0009-8442-6781>\*

[faabssone09@gmail.com](mailto:faabssone09@gmail.com); [poncegilbetsabe@gmail.com](mailto:poncegilbetsabe@gmail.com), [beto.vazcar23@gmail.com](mailto:beto.vazcar23@gmail.com), [alejandro.ortiz@zaragoza.unam.mx](mailto:alejandro.ortiz@zaragoza.unam.mx), [nano.williams@zaragoza.unam.mx](mailto:nano.williams@zaragoza.unam.mx)\*

**Innovación tecnológica:** Normativas mexicanas para el uso seguro de nanomateriales en cosmética.

**Área industrial de aplicación:** Potencial uso en normativas mexicanas obligatorias para la industria cosmética.

Recibido: 03 noviembre 2025

Aceptado: 06 marzo 2026

#### **Abstract**

Nanotechnology has transformed the scientific and technological landscape in recent decades, enabling the manipulation of matter at the nanometric scale, which ranges from 1 to 100 nanometers. This has led to the creation and development of materials with unique physicochemical properties, which have applications in various industries, including pharmaceuticals, cosmetics, food, and electronics. However, its rapid and growing development has outpaced the creation of regulations to ensure the safe and ethical use of these nanomaterials. In Mexico, there has been very little regulation, causing concern at the academic and industrial levels, as there is no strong and solid regulatory framework that specifically regulates the interaction of nanomaterials, from their production to their final disposal. Current Mexican standards, such as NMX-R-13830-SCFI-2020, are voluntary and lenient, and have little impact on consumer health regulation and

protection. On the other hand, the Official Mexican Standards, which are strict and mandatory, do not yet cover nanotechnology products, creating a regulatory vacuum that lacks the assessment of risks associated with exposure to nanomaterials. In the unique case of cosmetic products, particularly mineral sunscreens, the use of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles has become common due to their effectiveness against ultraviolet radiation. However, due to their higher chemical reactivity, these nanoparticles can interact inappropriately in biological systems, with the possibility of generating undesirable toxicological effects if not properly controlled. In regions such as the European Union, clear regulations have been established, such as Regulation (EC) No. 1223/2009, which requires the inclusion of the term [nano] on labeling, with characteristics such as concentration limits and pre-marketing safety assessments. In contrast, Mexico lacks similar regulations, causing competitive disadvantages and potential health risks. Therefore, this research work proposes to update NOM-141-SSA1/SCFI-2012 to include specific requirements for the use of nanomaterials in sunscreens for cosmetic use. It suggests the importance of incorporating the figure of a health officer, the obligation to notify Federal Commission for the Protection against Sanitary Risks (COFEPRIS) before marketing products with nanoparticles, and the detailed declaration of active ingredients such as  $\text{TiO}_2$  and  $\text{ZnO}$  [nano] on the label. Taken together, these measures can strengthen consumer safety by promoting industrial transparency in Mexico.

**Keywords:** mineral sunscreens, cosmetics, nanomaterials, nanomaterials regulation.

## Resumen

La nanotecnología ha modificado el panorama científico y tecnológico durante las últimas décadas, pues esta permite manipular la materia a una escala muy pequeña que va de 1 a 100 nanómetros, lo que ha derivado en la creación y desarrollo de materiales con propiedades fisicoquímicas únicas y con aplicaciones en diversas industrias como la farmacéutica, cosmética, alimentaria y electrónica. Sin embargo, su veloz y creciente desarrollo ha superado la creación de regulaciones que promuevan un elemento ético en el uso de estos materiales. En México, esta regulación ha sido casi nula, provocando preocupaciones a nivel académico e industrial, ya que no existe un marco normativo obligatorio y sólido que regule de manera específica la interacción de nanomateriales, desde su producción hasta la disposición final. Las normas mexicanas actuales, como la NMX-R-13830-SCFI-2020, son de carácter voluntario y blando, además de tener poco impacto para la regulación y protección sanitaria hacia los consumidores, por otro lado, las Normas Oficiales Mexicanas, que sí son duras y obligatorias, no contemplan todavía los productos nanotecnológicos, generando un vacío regulatorio que carece de la evaluación de los riesgos asociados a la exposición de nanomateriales. Para el singular caso de los productos cosméticos, particularmente los protectores solares minerales, el uso de nanopartículas de dióxido de titanio y óxido de zinc se ha vuelto común por su eficacia en contra de la radiación ultravioleta, sin embargo, al tener mayor reactividad química, estas nanopartículas pueden interactuar de una manera inadecuada en los sistemas biológicos, con la posibilidad de generar efectos toxicológicos no deseados si no se controlan de manera adecuada. En regiones como la Unión Europea, se han establecido

regulaciones claras como en el Reglamento (CE) N°. 1223/2009, que exige la inclusión del término [nano] en el etiquetado, con características como límite de concentración y evaluaciones de seguridad previas a su comercialización. En contraste, México carece de una normativa similar, causando desventajas competitivas y posibles riesgos para la salud. Por lo tanto, la propuesta de este trabajo de investigación consiste en la propuesta de la actualización de la NOM-141-SSA1/SCFI-2012, la cual regula el etiquetado sanitario y comercial de productos cosméticos preenvasados, para incluir requisitos específicos para el uso de los nanomateriales de ZnO y TiO<sub>2</sub> en protectores solares para su uso cosmético. Sugiriendo la importancia de incorporar la figura de responsable sanitario, la obligación de notificar a la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) antes de comercializar los productos con nanopartículas, y la declaración detallada de ingredientes activos [nano] en el etiquetado. Tomando como conjunto que estas medidas pueden fortalecer la seguridad del consumidor al promover la transparencia industrial en México.

**Palabras clave:** Bloqueadores solares minerales, Cosmética, Nanomateriales, Regulación de nanomateriales.

## Introducción

El área de la nanotecnología ha representado uno de los avances científicos en auge de finales del siglo XX y durante el presente siglo XXI, pues permite la manipulación de la materia en la escala nanométrica que va de 1 a 100 nm, lo que ha permitido el desarrollo de materiales y partículas con propiedades fisicoquímicas y biológicas únicas<sup>1</sup>. Estos materiales han impulsado su uso e integración en múltiples sectores industriales como el farmacéutico, alimenticio, electrónico, cosmético, entre otros<sup>2</sup>. Sin embargo, la rápida expansión, desarrollo y uso de nuevos nanomateriales (NMs) han superado la creación y desarrollo de políticas públicas y normas regulatorias que garanticen un control seguro en sus implicaciones sanitarias, ambientales y éticas<sup>3</sup>. La falta de una regulación integral en torno a la nanotecnología constituye, por tanto, un desafío emergente para la gestión del riesgo y la protección de la salud pública<sup>4</sup>.

En México, la regulación de la nanotecnología y el uso de NMs carece de una estructura normativa robusta que contemple de manera específica a los

diferentes tipos de NMs y su información de tiempo de vida media, incluyendo su elaboración, producción y disposición final<sup>5</sup>. Este país sólo cuenta con Normas Mexicanas (NMX) de carácter voluntario no obligatorio, una de ellas es la NMX-R-13830-SCFI-2020<sup>6</sup>, que menciona y propone lineamientos para un etiquetado de productos que contengan nanopartículas (NPs) o nanomateriales manufacturados<sup>7</sup>. Sin embargo, al no ser obligatoria, esta norma tiene un muy limitado impacto en la vigilancia sanitaria y transparencia hacia el consumidor. Por otro lado, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que son de aplicación obligatoria, no incluyen menciones de productos derivados de la nanotecnología, generando un vacío regulatorio que impide identificar y gestionar los riesgos potenciales asociados a la exposición a NMs y NPs<sup>8,9</sup>.

Con el actual incremento en el uso de NMs en el área cosmética y particularmente en la elaboración de protectores solares minerales, donde el uso de NPs como dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) y óxido de zinc (ZnO) se ha generalizado debido a su eficacia en la

dispersión y absorción de los diferentes tipos de luz ultravioleta (UV)<sup>10, 11, 12, 13</sup>. Estas NPs presentan una mayor relación superficie-volumen y un incremento en su reactividad química, modificando su interacción con los sistemas biológicos como la piel y los efectos toxicológicos en comparación con su forma convencional (tamaño en bulto)<sup>14, 15</sup>. Algunos estudios realizados por los grupos de investigación de Subramanian *et al.* en 2019; Lee *et al.* en 2020; Dreno *et al.* en 2019, han mostrado la capacidad de estas NPs de atravesar barreras biológicas como la hematoencefálica, inducir estrés oxidativo por el incremento de especies de oxígeno altamente reactivas (ROS) y causar daño genético, lo que plantea la necesidad de encontrar y establecer límites de concentración, métodos para evaluar su seguridad y protocolos de etiquetado claros<sup>16, 17, 18, 19, 20</sup>.

En la Unión Europea, la regulación de NMs para su uso en cosméticos ha avanzado de una buena manera, por ejemplo, el reglamento (CE) N°. 1223/2009 del Parlamento y Consejo Europeo, establece los requisitos específicos sobre el uso de NMs y su declaración en el etiquetado mediante el uso de la palabra “nano” entre corchetes [nano] después del nombre del ingrediente nanométrico, así como el establecer el límite de concentración de éste para su uso en filtros UV<sup>21</sup>. Esta política da un enfoque precautorio, que busca equilibrar la innovación tecnológica con la protección a la salud y la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, en México aún no hay ningún instrumento normativo equivalente, lo que genera una asimetría regulatoria que puede poner en riesgo a los desarrolladores y consumidores del cosmético con el ingrediente nano, además de disminuir la competitividad de la industria nacional en el mercado internacional.

Una normativa mexicana muy importante para implementar modificaciones en el uso de NMs en el área cosmética es la NOM-141-SSA1/SCFI-2012, la cual se encarga de regular el etiquetado de productos cosméticos preenvasados, la cual no contempla actualmente la identificación de NMs entre sus requisitos, lo que representa una omisión relevante en el contexto actual<sup>22</sup>. Un buen etiquetado en cualquier producto cosmético, es una importante herramienta para la gestión del riesgo, comunicación transparente e información al consumidor, por lo que, su actualización resulta prioritaria al incorporar disposiciones que obliguen a declarar la presencia, tipo y características fisicoquímicas de los NMs utilizados para fortalecer los mecanismos de control sanitario, fomentar la trazabilidad de los productos y promover la investigación sobre reacciones adversas y efectos toxicológicos asociados a su uso<sup>23, 24, 25</sup>.

Esta falta de regulación dura en el ámbito de la nanotecnología en México refleja la necesidad de transitar de modelos voluntarios o de autorregulación denominados “regulación blanda” hacia marcos normativos obligatorios y verificables “regulación dura”. Por esto, la regulación dura permitirá prevenir riesgos y establecer responsabilidades, mediante el respaldo de las autoridades competentes y el uso de mecanismos de supervisión científica para garantizar un control integral del desarrollo, comercialización y disposición de NMs en productos cosméticos, específicamente en protectores solares, en concordancia con principios de bioseguridad, transparencia y protección del consumidor<sup>26, 27</sup>.

El fortalecimiento y modificación del marco normativo mexicano sobre la nanotecnología no solo constituye una medida de protección sanitaria, sino también una gran herramienta para impulsar la competitividad y sostenibilidad del sector industrial mexicano,

dado que México es actualmente el principal exportador de productos cosméticos en América Latina<sup>28</sup>. La implementación de regulaciones claras y actualizadas resulta importante para cumplir con la normativa y estándares internacionales para evitar barreras comerciales derivadas de la falta de equivalencia normativa, por lo tanto, en este trabajo se propone la modificación y actualización de la NOM-141-SSA1/SCFI-2012, específicamente en el numeral 5, para el uso de NPs de TiO<sub>2</sub> y ZnO en protectores solares y así contribuir a la protección de la salud pública en la inclusión de los productos “nano”, para fomentar una innovación responsable que integre la seguridad como principio rector del desarrollo tecnológico.

### **Materiales y Metodología**

El presente trabajo se realizó mediante un estudio observacional, prolectivo, transversal y descriptivo-comparativo, orientado a un análisis normativo y técnico del uso de NPs de TiO<sub>2</sub> y ZnO para su uso en cosméticos, específicamente en protectores solares minerales.

El universo de estudio fue constituido por documentos regulatorios internacionales y nacionales vinculados con la seguridad, etiquetado y uso de NPs en cosméticos, particularmente en protectores solares, mediante el uso del Reglamento (CE) n°. 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, las publicaciones técnicas y guías emitidas por la Food and Drug Administration (FDA)<sup>29</sup> y artículos científicos citados previamente en el apartado de Introducción, los cuales reportan los efectos adversos y evaluaciones toxicológicas de NPs en cosméticos; lo anterior como documentos contrastantes para la propuesta de modificación de la normativa mexicana vigente en materia de etiquetado sanitario y comercial de productos cosméticos NOM-141-SSA1/SCFI-2012 “Etiquetado para

productos cosméticos preenvasados. Etiquetado sanitario y comercial”, específicamente el numeral 5 del cual se analizó la variable correspondiente al contenido y declaración de TiO<sub>2</sub> y ZnO [nano] en protectores solares minerales. A partir de lo anterior se identificaron los vacíos o inconsistencias técnicas en el numeral 5 de la NOM-141-SSA1/SCFI-2012, proponiendo su modificación y fortalecimiento normativo para la elaboración de la propuesta de actualización del etiquetado sanitario.

### **Resultados**

La propuesta de modificación de los numerales 3 y 5 en su totalidad se encuentra en el Material Complementario de este artículo, donde se resalta en letra negrita los cambios sugeridos y el anexo del numeral 5.3.8 donde se habla específicamente de los NMs. Además, en este mismo material se adjuntan los apartados de Anexo en los cuales se puede consultar las sustancias más usadas en la elaboración de protectores solares minerales, así como aquellas que tienen prohibido su uso.

A continuación, se muestra el listado de los numerales modificados:

En estas primeras propuestas de cambio se observa de manera general el complemento de vacíos en relación con los productos elaborados con nanomateriales.

Listado de los enunciados de los numerales modificados:

3.17 Responsable sanitario es aquella persona responsable, persona física o jurídica establecida en el territorio nacional que tiene la obligación legal de garantizar el cumplimiento de los requisitos normativos aplicables a un producto cosmético durante todo su ciclo de comercialización. Así como mantener registros actualizados de los productos bajo su responsabilidad, proporcionar información requerida por las

autoridades y actuar como punto de contacto principal para cuestiones regulatorias y de salud pública.

5.1.5 Para aquellos productos cosméticos que contengan nanomateriales, es indispensable para su comercialización que tanto el envase primario y el envase secundario figuren, con caracteres indelebles, fácilmente legibles y visibles, las menciones siguientes:

5.1.5.1 El nombre o la razón social y la dirección de la persona responsable. Estas podrán abreviarse siempre y cuando su abreviatura permita identificar a esa persona y su dirección. Si se indican varias direcciones, se resaltará aquella en la que la persona responsable ponga a disposición el expediente de información sobre el producto. Se especificará el país de origen para productos cosméticos importados.

5.1.5.2 El contenido nominal, indicado en peso o en volumen, así como se deberá especificar, además del dato cuantitativo del contenido, el porcentaje del contenido nano, por ejemplo: "... DEL CUAL EL "X" % CORRESPONDE AL MATERIAL EN SU FORMA NANO". Quedan libres aquellos envases que contengan menos de 5 gramos o de 5 mililitros, las muestras gratuitas y las monodosis; respecto a los productos preenvasados, que se comercializan habitualmente por conjuntos de unidades y para los que no es significativa la indicación del peso o del volumen, no será necesario indicar el contenido, siempre que se mencione en el embalaje el número de unidades. Esta mención no será necesaria cuando sea fácil determinar desde el exterior el número de unidades o si el producto sólo se comercializa normalmente por unidades sueltas.

5.1.5.3. Fecha hasta la cual el producto cosmético, almacenado en condiciones adecuadas, seguirá cumpliendo su función

inicial. La fecha de duración mínima se expresa con claridad y estará compuesta por el mes y el año, o bien por el día, el mes y el año, en ese orden.

5.1.5.3.1 La indicación de la fecha de duración mínima no será obligatoria para aquellos productos cosméticos cuya duración mínima exceda de treinta meses. Para estos productos cosméticos se indicará el plazo después de la apertura durante el que el producto es seguro y puede utilizarse sin daño alguno para el consumidor. Salvo cuando el concepto de duración tras la apertura no sea pertinente.

5.1.6 Designación del responsable del producto

5.1.6.1 Antes de la introducción de productos cosméticos que contengan nanomateriales, la persona responsable presentará por medios electrónicos o físicos, mínimo seis meses antes la siguiente información a COFEPRIS:

A) La categoría de producto cosmético y denominación del cosmético. Formarán parte de la denominación, la marca registrada o nombre comercial, la línea del producto y el nombre específico que aparecen en el producto (incluida la función).

B) El nombre, la dirección, correo y número telefónico de la persona responsable.

C) El país de origen, en el caso de importación, indicar: Marca registrada o nombre comercial (país de origen).

D) Los datos de contacto de una persona física a contactar en caso de necesidad.

E) Identificación del nanomaterial, incluida su denominación química (IUPAC).

F) La especificación del nanomaterial, incluido el tamaño de las partículas, las propiedades físicas y químicas.

H) El nombre y el número del Servicio de Abstractos de Productos Químicos (CAS) o el número CE de sustancias clasificadas como cancerígenas, mutágenos o tóxicas para la reproducción (CMR), de categoría 1A o 1B.

5.3.1.3 Los productos cosméticos que contengan ingredientes en forma de nanomateriales deberán ser declarados en la lista de ingredientes manteniendo el orden decreciente: nombre del ingrediente + (nano).

5.3.1.3.1 Restricciones para las sustancias enumeradas en los anexos. Los productos cosméticos no contendrán ninguno de los siguientes:

5.3.1.3.1.1 Sustancias prohibidas y restringidas

A) Está prohibido el uso de filtros UV que no estén incluidos en el Anexo I, así como de aquellos que sí aparecen en dicho anexo pero

que se utilicen en condiciones distintas a las ahí establecidas.

5.3.1.3.2 Colorantes

A) Los colorantes distintos de los enumerados en el anexo II y los colorantes que figuran allí, pero que no se utilizan de conformidad con las condiciones establecidas en dicho anexo.

5.3.1.3.3 Conservantes

A) Conservantes distintos de los enumerados en el Anexo III, conservantes que figuran allí pero que no se utilizan de acuerdo con las condiciones establecidas en ese anexo.

Un resumen de los numerales anteriores se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Resumen de las modificaciones realizadas a los diferentes numerales de los apartados 3 y 5 de la NOM-141-SSA1/SCFI-2012.

Apartado	Numeral	Modificación
3. Definiciones	3.17	Incorporación del término “persona responsable”
5.1. Presentación de la información	5.1.5 5.1.5.1 5.1.5.2 5.1.5.3 5.1.5.3.1 5.1.6	Adición de numerales enfocados al etiquetado en cosméticos con nanomateriales, recalcando la información indispensable visible en el envase primario y secundario para su comercialización:  Nombre o razón social y domicilio de la persona responsable. Contenido nominal y porcentual del contenido “nano”. Fecha de duración del producto cosmético.  Agregación del punto “designación del responsable del producto”, que establece el tiempo mínimo para la notificación ante COFEPRIS para la comercialización de productos cosméticos con nanopartículas, además de los requisitos de información indispensables.
5.3. Información sanitaria	5.3.1.3 5.3.1.3.1 5.3.1.3.1.1 5.3.1.3.1.2 5.3.1.3.1.3	Se anexaron estos numerales, delimitando la palabra [nano] después del ingrediente utilizado, respetando el listado de orden decreciente.

		Así mismo, se incorporó que toda aquella sustancia que esté fuera de los Anexos I, II y III queda prohibida y restringida en productos cosméticos: filtros UV, colorantes y conservantes.
--	--	---

En la siguiente lista se presenta la propuesta de adición del numeral 5.3.8, destacando la inclusión de los NMs y su información para el etiquetado de productos cosméticos, específicamente en bloqueadores solares minerales. Seguido de la Tabla 2, donde se indica el resumen de la información anexada.

### 5.3.8 Nanomateriales.

5.3.8.1 El uso de nanopartículas en protectores solares no representa un daño a largo plazo para los consumidores, siempre y cuando éste sea igual o menos al 25% del total del producto bruto.

5.3.8.2 Se prohíbe el uso de nanomateriales en productos cosméticos, específicamente en protectores solares bajo el formato de aerosoles o polvos sueltos.

5.3.8.3 Además de la notificación en virtud del numeral 5.1.5.1 los productos cosméticos que contengan nanomateriales serán notificados a COFEPRIS por la persona responsable y por medios electrónicos o físicos al menos seis meses antes de su comercialización y se agregará al menos la siguiente información:

- A) Su identificación, incluida la denominación química (IUPAC).
- B) La especificación del nanomaterial, incluido el tamaño de las partículas, las propiedades físicas y químicas.
- C) Una estimación de la cantidad de nanomaterial contenida en los productos cosméticos destinados a ser comercializados por año.
- D) El perfil toxicológico del nanomaterial.
- E) Datos relativos en relación con la seguridad del nanomaterial presente en otros productos cosméticos previamente utilizados.

F) Las condiciones de exposición razonablemente previsibles.

5.3.8.4 COFEPRIS proporcionará un número de referencia para la presentación del perfil toxicológico, que puede sustituir la información que debe notificarse en virtud de la letra D.

5.3.8.5 COFEPRIS, teniendo en cuenta los progresos técnicos y científicos, puede modificar el numeral 5.1.6 añadiendo requisitos.

5.3.8.6 COFEPRIS pondrá a disposición la siguiente información:

Deberá poner a disposición del público un catálogo actualizado de todos los nanomateriales empleados en productos cosméticos comercializados en el país. Este catálogo incluirá, en una sección específica, aquellos nanomateriales utilizados como colorantes, filtros ultravioleta y conservadores. Además, se especificarán las categorías de productos en los que se emplean y las condiciones de exposición previsibles para los consumidores. El catálogo será actualizado de forma periódica.

5.3.8.7 COFEPRIS revisará de manera periódica las disposiciones del presente Reglamento en materia de nanomateriales, tomando en cuenta los avances científicos más recientes. En caso de ser necesario, propondrá las modificaciones pertinentes para asegurar su adecuación y efectividad.

5.3.8.8 El uso de nanopartículas de óxido de zinc en protectores solares se cumplirá si el tamaño de partícula está entre 30 nm y 55 nm y  $\geq 30$  nm para nanopartículas de dióxido de titanio. Se recomienda incluir los métodos de prueba para la evaluación de conformidad, considerando la especificación de tamaño de partícula, contenido de NMs, propiedades fisicoquímicas y toxicológicas.

**Tabla 2.** Resumen de la información agregada en el numeral 5.3.8 de la NOM-141-SSA1/SCFI-2012.

Apartado	Numeral	Información incluida
5.3.8. Nanomateriales	5.3.8.1 5.3.8.2 5.3.8.3 5.3.8.4 5.3.8.5 5.3.8.6 5.3.8.7 5.3.8.8	<p>Se agregó un nuevo apartado destinado a nanomateriales, resaltando el límite permitido en protectores solares (<math>\leq 25\%</math> del total del producto en bulto). Así mismo, los formatos de polvo libre o aerosoles quedan prohibidos.</p> <p>Adición de nueva información requerida por presentar ante COFEPRIS, por parte de la persona responsable.</p> <p>Se sugiere la creación de un catálogo actualizado de todos los nanomateriales presentes en productos cosméticos, además de su constante actualización conforme al avance científico.</p> <p>Finalmente, el uso de nanopartículas de óxido de zinc en protectores solares debe ser entre 30 nm y 55 nm<sup>30</sup> y para nanopartículas de dióxido de titanio <math>\geq 30</math> nm<sup>31</sup>.</p>

### Análisis de Resultados

El análisis documental y comparativo de las normativas internacionales, tomando como partida lo establecido por la Unión Europea, permitió identificar la diferencia que existe entre esta y el marco regulatorio mexicano respecto al uso de NPs de ZnO y TiO<sub>2</sub> en protectores solares minerales como productos cosméticos. Mientras que la legislación europea presenta una documentación clara que contempla límites de concentración, propiedades fisicoquímicas necesarias y obligaciones de notificación y evaluación de seguridad de estos NMs antes de su comercialización, en México no existen lineamientos específicos similares que regulen de forma clara y dura estos aspectos.

Para la normatividad mencionada en el Reglamento (UE) 2016/621<sup>32</sup> y el Reglamento (UE) 1223/2009<sup>33</sup>, estos definen los parámetros técnicos para el empleo de ZnO y TiO<sub>2</sub> nanométrico, los cuales obligan a mencionar su estructura cristalina, tamaño promedio de partícula, concentración máxima permitida (25% p/p) y condiciones de su uso excluyendo las presentaciones en aerosol. Estos criterios se sustentan en evaluaciones toxicológicas reportadas por el

*Scientific Committee on Consumer Safety* (SCCS), que establecen que las NPs y NMs de ZnO y TiO<sub>2</sub> no presentan riesgo significativo por exposición dérmica ni efectos sistémicos por su absorción por esta vía siempre y cuando se mantengan dentro de las concentraciones autorizadas<sup>34</sup>. En contraste, el marco normativo mexicano vigente, específicamente en la Norma Oficial Mexicana NOM-141-SSA1/SCFI-2012, sólo informa el etiquetado sanitario y comercial, sin tomar en cuenta los parámetros específicos del uso de NMs, su caracterización y potencial riesgo para la salud.

En relación con esta comparación, es que este trabajo propone la incorporación de propuestas para modificaciones sustanciales en los numerales 3 y más a fondo para el numeral 5 de la NOM-141-SSA1/SCFI-2012, con el propósito de ampliar su alcance y adecuarlo a los estándares internacionales. Para el numeral 3.17 se incluye la figura de “responsable sanitario”, quien deberá realizar notificaciones ante la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) con al menos seis meses de anticipación a la comercialización del producto. Esta modificación permite generar

un sistema de registro preventivo para garantizar la evaluación de riesgos sanitarios antes de que los productos lleguen al mercado.

Para el numeral 5, donde se haya la mayor propuesta de modificación y adición de información, en el numeral 5.3 se fortalece la transparencia para el consumidor mediante la obligación de reportar los ingredientes en orden decreciente de concentración, precisando aquellos que representen más del 1% de la formulación, ya que actualmente, la ausencia de este requisitos, ha facilitado la ambigüedad de información en el etiquetado, particularmente en los protectores solares minerales, donde se utilizan los filtros inorgánicos como el ZnO y el TiO<sub>2</sub> en forma nanométrica, como principales agentes activos. Por lo tanto, la actualización en estos apartados busca eliminar esta deficiencia para promover la estandarización del etiquetado y así tener una mejor comparación entre productos nacionales e importados. Asimismo, esta propuesta de normativa contempla la creación de anexos complementarios que limitan el uso de sustancias para bloqueadores solares, mencionando colorantes, conservadores y filtros UV, siguiendo el modelo comparativo del Anexo VI del Reglamento Europeo 1223/2009. Por lo anterior, incluyendo el apartado 5.3.8, el cual es específico y dedicado a los NMs, estableciendo así la concentración máxima permitida de NPs de ZnO y TiO<sub>2</sub>, enfatizando su restricción de uso en formulaciones que impliquen exposición por inhalación (aerosoles o polvos sueltos), debido al potencial riesgo de bioacumulación pulmonar y daño oxidativo<sup>35, 36, 37</sup>.

Por estos posibles efectos toxicológicos, también es el fortalecimiento del numeral 5.3.8.3 para la notificación del perfil toxicológico, dosis previsible de exposición, condiciones de uso y comportamientos del NM en distintas matrices cosméticas.

Como complemento, la propuesta establece que la COFEPRIS conserve la facultad de actualizar periódicamente la normativa, considerando los avances científicos, tecnológicos y regulatorios a nivel internacional. Además de sugerir la creación de un Catálogo Nacional de Nanomateriales Cosméticos, el cual debe ser de acceso público y tener actualización constante. Este instrumento contribuiría no solo a la vigilancia sanitaria, sino también a la transparencia en la industria cosmética mexicana.

### **Conclusiones**

Con el análisis y los resultados de propuestas de normativa anteriores, se observa la necesidad urgente de establecer un marco normativo mexicano más robusto, armonizado con estándares internacionales y respaldado por investigación científica actual. El adoptar estos lineamientos no solo fortalecería la seguridad del consumidor, sino que también sería posible incrementar la competitividad y credibilidad de la industria cosmética nacional mexicana para el mercado global. A largo plazo, la implementación de un sistema de evaluación preventiva y trazabilidad regulatorio puede permitir que México crezca y se posicione dentro de las economías que regulan de manera proactiva los productos nanotecnológicos para el desarrollo responsable y seguro en la industria cosmética mexicana, específicamente en el uso de protectores solares minerales.

El estado actual de esta revisión para la modificación de la presente norma se encuentra todavía en desarrollo para su posterior envío a las autoridades normalizadoras correspondientes.

### **Conflicto de interés y Agradecimientos**

No existe ningún tipo de conflicto de interés; todos los autores contribuyeron con la misma

actividad de investigación y redacción. Los resultados de esta investigación fueron derivados de la tesis de grado de Q.F.B Fabiola Sánchez López y servicio social de Q.F.B Betsabe Ponce Gil y Q.F.B Humberto Yael Vázquez Carrillo.

## Referencias

1.- Rao, C. N. R., Müller, A., & Cheetham, A. K. (2004). *Nanomaterials – An introduction*. In *The chemistry of nanomaterials: Synthesis, properties and applications* (pp. 1–11). Wiley-VCH.

2.- Mekuye, B., & Abera, B. (2023). Nanomaterials: An overview of synthesis, classification, characterization, and applications. *Nano Select*, 4(8), 486–501. <https://doi.org/10.1002/nano.202300030>

3.- Barhoum, A., García-Betancourt, M. L., Jeevanandam, J., Hussien, E. A., Mekkawy, S. A., Mostafa, M., ... & Bechelany, M. (2022). Review on natural, incidental, bioinspired, and engineered nanomaterials: History, definitions, classifications, synthesis, properties, market, toxicities, risks, and regulations. *Nanomaterials*, 12(2), 177. <https://doi.org/10.3390/nano12020177>

4.- Foladori, G., & Invernizzi, N. (2016). La regulación de las nanotecnologías: una mirada desde las diferencias EUA-UE. *Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia*, 4(2), 8-20. <https://doi.org/10.3395/2317-269x.00726>

5.- Saldívar Tanaka, L. (2022). Recomendaciones de política pública de nanociencia y nanotecnología en México: privilegiar el bienestar humano y ambiental. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 15(28). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69655>

6.- Secretaría de Economía. (2022, 1 de marzo). Aviso de consulta pública del

Proyecto de Norma Mexicana PROY-NMX-R-13830-SCFI-2020, Nanotecnologías— Guía para el etiquetado voluntario de productos de consumo que contienen nano-objetos manufacturados. Diario Oficial de la Federación.

7.- Saldívar Tanaka, L. (2019). Regulando la nanotecnología. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 12(22), 0-0. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.22.63140>

8.- Rojano, N. G., Jaimes, H. N., & Martínez, R. J. L. (2014). Retos de la metrología en México para tecnologías emergentes: La nanotecnología. *Simposio de Metrología*, 6(10).

9.- López-de la Mora, D. A. (2019). Identificación de posibles riesgos toxicológicos y sus regulaciones sanitarias del uso de nanomateriales en productos de consumo humano en México. *Revista Médica MD*, 10(3), 221–228.

10.- Año, D., Del día, H., De reflejo, C., & De la irradiación, I. C. J. J. M. C. (s.f.). *Efectos de la radiación solar en la piel*. Bvsalud.org. Recuperado de <https://docs.bvsalud.org/biblioref/ecuador/2015/equ-7043/equ-7043-220.pdf>

11.- Velasco, D. S. M. (s.f.). *Uso de nanotecnología en protectores solares para prevenir el fotoenvejecimiento. Actualización en Dermatología*, 9, 135.

12.- Rojas Labastida, R. A., Pacheco Julián, J. V., Amaya Parra, G., & Jiménez Valera, S. (2024). Nanopartículas de óxido de zinc y óxido de plata para uso de protección solar de piel. *Revista de Ciencias Tecnológicas*, 7(2). <https://doi.org/10.37636/recit.v7n2e283>

13.- Mendoza Madrigal, N. (2021). *Tendencias de vanguardia en el desarrollo de filtros solares a través de nanotecnología* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional

Autónoma de México, Facultad de Química]. Repositorio de la Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información.

<https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000815735>

14.- Ohno, K., Tanaka, M., Takeda, J., & Kawazoe, Y. (Eds.). (2008). *Nano-and micromaterials* (Vol. 9). Springer.

15.- Findik, F. (2021). Nanomaterials and their applications. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(3), 62–75.

16.- Subramaniam, V. D., Prasad, S. V., Banerjee, A., Gopinath, M., Murugesan, R., Marotta, F., & Pathak, S. (2019). Health hazards of nanoparticles: Understanding the toxicity mechanism of nanosized ZnO in cosmetic products. *Drug and Chemical Toxicology*, 42(1), 84–93. <https://doi.org/10.1080/01480545.2018.1437140>

17.- Lee, C. C., Lin, Y. H., Hou, W. C., Li, M. H., & Chang, J. W. (2020). Exposure to ZnO/TiO<sub>2</sub> nanoparticles affects health outcomes in cosmetics salesclerks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6088. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176088>

18.- Dreno, B., Alexis, A., Chuberre, B., & Marinovich, M. (2019). Safety of titanium dioxide nanoparticles in cosmetics. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 33(S7), 34–46. <https://doi.org/10.1111/jdv.15943>

19.- Landsiedel, R., Ma-Hock, L., Van Ravenzwaay, B., Schulz, M., Wiench, K., Champ, S., ... & Oesch, F. (2010). Gene toxicity studies on titanium dioxide and zinc oxide nanomaterials used for UV protection in cosmetic formulations. *Nanotoxicology*, 4(4), 364–381. <https://doi.org/10.3109/17435390.2010.506694>

20.- Smijs, T. G., & Pavel, S. (2011). Titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in sunscreens: Focus on their safety and effectiveness. *Nanotechnology, Science and Applications*, 4, 95–112. <https://doi.org/10.2147/NSA.S19419>

21.- Comité Económico y Social Europeo. (2013). *Dictamen sobre el Reglamento (CE) n.º 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, sobre los productos cosméticos.*

22.- Secretaría de Salud y Secretaría de Economía. (2012). *Norma Oficial Mexicana NOM-141-SSA1/SCFI-2012, Etiquetado para productos cosméticos preenvasados. Etiquetado sanitario y comercial.* Diario Oficial de la Federación.

23.- Lionetti, N., & Rigano, L. (2018). Labeling of cosmetic products. *Cosmetics*, 5(1), 22. <https://doi.org/10.3390/cosmetics5010022>

24.- Purwanto, I., Darmawan, D., Dirgantara, F., & Halizah, S. N. (2023). Implementation of cosmetic product labeling regulations for consumer protection and fair competition in the marketplace. *Journal of Social Science Studies*, 3(1), 165–170. <https://jos3journals.id/index.php/jos3/article/view/229>

25.- Melo, A., Amadeu, M. S., Lancellotti, M., Hollanda, L. M. D., & Machado, D. (2015). The role of nanomaterials in cosmetics: National and international legislative aspects. *Química Nova*, 38(4), 599–603. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150042>

26.- Saldívar Tanaka, L. (2020). Regulación blanda, normas técnicas y armonización regulatoria internacional para la nanotecnología. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 13(24).

<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2020.24.69621>

27.- Vidal Correa, L. E. (2016). *La nanomedicina en México: Normatividad y empresas* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Estudios del Desarrollo]. <https://estudiosdeldesarrollo.mx/wp-content/uploads/2021/04/Laura-Vidal-Correa.pdf>

28.- Choque, D. Q., de Oliveira Rocha, M. J., & Santos, J. A. (2024). Estratégias de internacionalização aplicadas no segmento de cosméticos na América Latina. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 10(11), 7376–7388. <https://doi.org/10.51891/rease.v10i11.17138>

29.- Frestedt J. L. (2018). Foods, food additives, and generally regarded as safe (GRAS) food assessments. *Food Control and Biosecurity*, 543–65.

30.- European Commission. (2016). *Commission Regulation (EU) 2016/621 of 21 April 2016 amending Annex VI to Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council on cosmetic products by adding zinc oxide (nano) as a UV filter. Official Journal of the European Union, L 106*, 12–15.

31.- European Commission. (2019). *Commission Regulation (EU) 2019/1857 of 6 November 2019 amending Annex VI to Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council on cosmetic products by adding titanium dioxide (nano) as a UV filter. Official Journal of the European Union, L 285*, 3–8.

32.- Comisión Europea. (2016). *Reglamento (UE) 2016/621 de la Comisión, de 21 de abril de 2016, por el que se modifica el anexo VI del Reglamento (CE) n.º 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre los productos cosméticos. Diario Oficial de la Unión Europea, L 106*, 1–3.

33.- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2009). *Reglamento (CE) n.º 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, sobre los productos cosméticos. Diario Oficial de la Unión Europea, L 342*, 59–209.

34.- Bocca, B., Caimi, S., Senofonte, O., Alimonti, A., & Petrucci, F. (2018). ICP-MS-based methods to characterize nanoparticles of TiO<sub>2</sub> and ZnO in sunscreens with focus on regulatory and safety issues. *Science of the Total Environment*, 630, 922–930. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.166>

35.- Wang, S., Alenius, H., El-Nezami, H., & Karisola, P. (2022). A new look at the effects of engineered ZnO and TiO<sub>2</sub> nanoparticles: Evidence from transcriptomics studies. *Nanomaterials*, 12(8), 1247. <https://doi.org/10.3390/nano12081247>

36.- Shabbir, S., Kulyar, M. F. E. A., Bhutta, Z. A., Boruah, P., & Asif, M. (2021). Toxicological consequences of titanium dioxide nanoparticles (TiO<sub>2</sub>NPs) and their jeopardy to human population. *Bionanoscience*, 11(2), 621–632. <https://doi.org/10.1007/s12668-021-00836-3>

37.- Rashid, M. M., Forte Tavčer, P., & Tomšič, B. (2021). Influence of titanium dioxide nanoparticles on human health and the environment. *Nanomaterials*, 11(9), 2354. <https://doi.org/10.3390/nano11092354>.

## **-ANEXOS (REGULACIÓN COSMÉTICA)**

### **PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE NORMA**

Sólo se incluyen todos los numerales completos cuya propuesta es su modificación, además de agregar el numeral propuesto 5.3.8

Se resalta en negritas los numerales a modificar y los numerales a agregar para la propuesta.

#### 3. Definiciones

Para fines de esta norma se entiende por:

3.1 Consumidor final, a la persona física o moral que adquiere y disfruta los productos como destinatario final.

3.2 Denominación específica, al nombre particular que recibe un producto y que se encuentra asociado a la(s) característica(s) que lo distingue(n) dentro de una clasificación general y lo restringen en aplicación, efecto, estructura y función particular.

3.3 Denominación genérica, al nombre que recibe un grupo de productos que tienen características comunes y que representa cada uno de los distintos tipos o clases de productos en que se pueden ordenar.

3.4 Envase múltiple o colectivo, a cualquier recipiente o envoltura en el que se encuentran contenidas dos o más unidades de productos preenvasados, iguales o diferentes, destinados para su venta al consumidor en dicha presentación.

3.5 Envase presurizado, al envase sometido a presión provisto de una válvula de mando que con un gas propulsor permite dosificar en el aire al producto en diferentes formas.

3.6 Envase primario, al recipiente destinado a contener un producto y que entra en contacto con el mismo, conservando su integridad física, química y sanitaria.

3.7 Envase secundario, al envase que contiene al primario.

3.8 Etiqueta, al marbete, rótulo, inscripción, marca, imagen gráfica u otra forma descriptiva o que se haya escrito, impreso, estarcido, marcado, en relieve o en hueco, grabado, adherido, precintado o anexo al envase primario o secundario del producto.

3.9 Factor de protección solar, el cociente entre la dosis eritematogénica mínima en una piel protegida por un producto de protección solar y la dosis eritematogénica mínima en la misma piel sin proteger.

3.10 Fecha de duración mínima o de caducidad o de consumo preferente o de vencimiento o de validez o de expiración, es la fecha límite en la cual un producto conservado en condiciones adecuadas mantiene su calidad sanitaria por lo que no representa un riesgo a la salud humana y después de la cual no podrá ser comercializado.

3.11 Filtro ultravioleta, las sustancias cuya finalidad exclusiva o principal es de filtrar ciertas radiaciones UV, con el fin de proteger a la piel o cabello contra la radiación ultravioleta absorbiendo, reflejando o dispersando esta radiación.

3.12 Forma cosmética, a la mezcla de dos o más ingredientes que da como resultado un producto con ciertas características físicas para su adecuado uso, aplicación y conservación tal como spray, mousse, roll-on, emulsión, etc.

3.13 Ingrediente, cualquier sustancia que forma parte del producto terminado.

3.14 Leyenda precautoria, a cualquier texto o representación que prevenga al consumidor sobre la presencia de un ingrediente específico o de daños a la salud que pueda ocasionar el mal uso del producto.

3.15 Lote, a la cantidad de un producto elaborado en un mismo ciclo, integrado por unidades homogéneas.

3.16 Nomenclatura Internacional de Ingredientes Cosméticos (NIIC-INCI por sus siglas en inglés), Nomenclatura que puede usarse en la declaración de cada ingrediente utilizado en la elaboración de un producto cosmético.

**3.17 Persona responsable, persona física o jurídica establecida en el territorio nacional que tiene la obligación legal de garantizar el cumplimiento de los requisitos normativos aplicables a un producto cosmético durante todo su ciclo de comercialización. Así como mantener registros actualizados de los productos bajo su responsabilidad, proporcionar información requerida por las autoridades y actuar como punto de contacto principal para cuestiones regulatorias y de salud pública.**

3.18 Piel sana, aquella que no presenta alteraciones en su color y su textura, en relación con su tipo racial, sexo, edad y manifiesta equilibrio en sus funciones, sin evidencia de enfermedad aparente incluyendo sus anexos y faneras.

3.19 Proceso, al conjunto de actividades relativas a la obtención, elaboración, fabricación, preparación, conservación, mezclado, acondicionamiento, envasado, manipulación, transporte, distribución, almacenamiento y expendio o suministro al público de los productos.

3.20 Productos de aromacología o aromalogía, productos que como parte de sus ingredientes contienen aceites esenciales; tales productos son para la aplicación directamente al cabello, la piel y uñas con la finalidad de embellecer, mejorar la apariencia y conservar la limpieza o pulcritud de las personas y adicionalmente brindar al consumidor placer sensorial y realzar su sensación de bienestar sin que ello implique que el producto tiene alguna acción terapéutica, curativa o medicinal. Dichos productos pueden ostentar cualquiera de las denominaciones genéricas indicadas en el apéndice informativo "A" de esta norma.

3.21 Producto inflamable, al producto que bajo condiciones normales de uso posee un punto de inflamación inferior a 37,8 °C y mantiene la combustión.

3.22 Productos cosméticos, las sustancias o formulaciones destinadas a ser puestas en contacto con las partes superficiales del cuerpo humano: epidermis, sistema piloso y capilar, uñas, labios y órganos genitales externos, o con los dientes y mucosas bucales con el fin exclusivo o principal de limpiarlos, perfumarlos, ayudar a modificar su aspecto, protegerlos, mantenerlos en buen estado o corregir los olores corporales o atenuar o prevenir deficiencias o alteraciones en el funcionamiento de la piel sana.

3.23 Productos preenvasados, a los productos cosméticos, que cuando son colocados en un envase de cualquier naturaleza, no se encuentra presente el consumidor y la cantidad de producto contenida en él no puede ser alterada, a menos que el envase sea abierto o modificado perceptiblemente.

3.24 Producto de protección solar o protector solar, cualquier preparado como crema, aceite, gel o aerosol entre otros, de aplicación sobre la piel humana con la finalidad exclusiva o principal de protegerla de la radiación UV absorbiéndola, dispersándola o reflejándola.

3.25 Responsable del producto, a la persona física o moral que importe o elabore totalmente un producto o que haya ordenado su elaboración total o parcial a un tercero.

3.26 Superficie de información, al área del envase primario o secundario, distinta de la superficie principal de exhibición.

3.27 Superficie principal de exhibición, es aquella área del envase primario o secundario donde debe encontrarse la marca comercial del producto.

## 5. Requisitos de etiquetado

### 5.1 Requisitos generales.

#### 5.1.1 Presentación de la información.

Los productos destinados a comercializarse en el mercado nacional, deben ostentar una etiqueta con la información establecida en esta norma en idioma español, independientemente de que también pueda estar en otros idiomas, cuidando que los caracteres sean mayores o al menos iguales a aquellos en los que se presenta la información en otros idiomas; los cuales deben ser claros, visibles, indelebles y en colores contrastantes, fáciles de leer por el consumidor en circunstancias normales de compra y uso. No será necesario utilizar las comillas en el etiquetado.

5.1.2. La información que se presente al consumidor, debe ser veraz y comprobable.

5.1.3. Las etiquetas que ostenten los productos objeto de esta norma, deben fijarse de manera tal que permanezcan disponibles hasta el momento de su compra y uso en condiciones normales.

5.1.4 Cuando por las características del producto, no sea posible que la(s) etiqueta(s) se encuentre(n) directamente sobre el envase primario o secundario se podrán anexar al mismo.

**5.1.5 Para aquellos productos cosméticos que contengan nanomateriales, es indispensable para su comercialización que tanto el envase primario y el envase secundario figuren, con caracteres indelebles, fácilmente legibles y visibles, las menciones siguientes:**

**5.1.5.1 El nombre o la razón social y la dirección de la persona responsable. Estas podrán abreviarse siempre y cuando su abreviatura permita identificar a esa persona y su dirección. Si se indican varias direcciones, se resaltaré aquella en la que la persona responsable ponga a disposición el expediente de información sobre el producto. Se especificará el país de origen para productos cosméticos importados**

**5.1.5.2 El contenido nominal, indicado en peso o en volumen, así como se deberá especificar, además del dato cuantitativo del contenido, el porcentaje del contenido nano, por ejemplo; "... DEL CUAL EL "X"% CORRESPONDE AL MATERIAL EN SU FORMA NANO".**

**Quedan libres aquellos envases que contengan menos de 5 gramos o de 5 mililitros, las muestras gratuitas y las monodosis; respecto a los productos preenvasados, que se comercializan habitualmente por conjuntos de unidades y para los que no es significativa la indicación del peso o del volumen, no será necesario indicar el contenido, siempre que se mencione en el embalaje el número de unidades. Esta mención no será necesaria cuando sea fácil determinar desde el exterior el número de unidades o si el producto sólo se comercializa normalmente por unidades sueltas**

**5.1.5.3. Fecha hasta la cual el producto cosmético, almacenado en condiciones adecuadas, seguirá cumpliendo su función inicial. La fecha de duración mínima se expresa con claridad y estará compuesta, por el mes y el año, o bien por el día, el mes y el año, en ese orden.**

**5.1.5.3.1 La indicación de la fecha de duración mínima no será obligatoria para aquellos productos cosméticos cuya duración mínima exceda de treinta meses. Para estos productos cosméticos se indicará el plazo después de la apertura durante el que el producto es seguro y puede utilizarse sin daño alguno para el consumidor. Salvo cuando el concepto de duración tras la apertura no sea pertinente.**

#### **5.1.6 Designación del responsable del producto**

**5.1.6.1 Antes de la introducción de productos cosméticos que contengan nanomateriales la persona responsable presentará por medios electrónicos o físicos, mínimo seis meses antes la siguiente información a COFEPRIS:**

**A) La categoría de producto cosmético y denominación del cosmético.**

**Formarán parte de la denominación, la marca registrada o nombre comercial, la línea del producto y el nombre específico que aparecen en el producto (incluida la función)**

**B) El nombre, la dirección, correo y número telefónico de la persona responsable.**

**C) El país de origen, en el caso de importación indicar: Marca registrada o nombre comercial (país de Origen)**

**D) Los datos de contacto de una persona física a contactar en caso de necesidad**

**E) Identificación del nanomaterial, incluida su denominación química (IUPAC)**

**F) La especificación del nanomaterial, incluido el tamaño de las partículas, las propiedades físicas y químicas;**

**H) el nombre y el número del Servicio de Abstractos de Productos Químicas (CAS) o el número CE de sustancias clasificadas como cancerígenas, mutágenos o tóxicas para la reproducción (CMR), de categoría 1A o 1B.**

#### **5.1.7 Denominación genérica y específica del producto.**

**5.1.7.1 Todos los productos deben ostentar la denominación genérica, conforme a lo que se establece en el apéndice informativo "A" de esta norma, pudiendo incluir la específica. En caso de productos cuya denominación no se encuentre dentro del ordenamiento antes citado, su denominación será aquella que mejor los describa o la más común o usual, podrá usarse una ilustración o viñeta que represente el uso del producto cosmético.**

5.1.7.2 La información del numeral anterior, debe presentarse en español a excepción de las formas cosméticas que podrán declararse en su idioma original. Esta información podrá presentarse en la superficie principal del envase primario o secundario.

5.1.8 Identificación del responsable del producto.

5.1.8.1 Debe figurar en la superficie de información del envase primario o secundario, el nombre, denominación o razón social y domicilio (calle, número, código postal, ciudad y estado) del responsable del producto. Tratándose de productos importados, estos datos podrán incorporarse al producto, en el Territorio Nacional después del despacho aduanero y antes de su comercialización.

5.1.8.2 Leyenda que identifique al país de origen del producto o gentilicio, por ejemplo "Producto de ...", "Hecho en...", "Manufacturado en ..." u otras análogas, sujeto a lo dispuesto en los tratados internacionales de los cuales México sea parte.

5.1.9 Declaración de lote.

5.1.9.1 En cualquier parte del envase primario o secundario, debe figurar en todos los productos objeto de esta norma, la identificación del lote con una indicación en clave o en lenguaje claro, ya sea grabado, marcado con tinta indeleble o de cualquier otro modo similar, siempre y cuando éste sea claro y asegure su permanencia en condiciones normales de uso.

5.1.10 Instrucciones o modo de uso.

5.1.10.1 Deben figurar las instrucciones de uso u otros análogos en la superficie de información del envase primario o secundario o instructivo anexo de los siguientes productos: tintes, colorantes, coloración, decolorantes; permanentes; alaciadores permanentes; en productos para la piel cuya función primaria sea la protección solar, bronceadores, autobronceadores, depilatorios, epilatorios o en cualquier otro producto que lo requiera.

5.1.10.2 En caso de que las instrucciones o modo de uso estén en un instructivo anexo deberá señalarse esta situación mediante la oración "léase instructivo anexo" o equivalente.

5.1.10.3 En productos para la piel cuya función primaria sea la protección solar, indicar mediante las frases siguientes o equivalentes:

5.1.10.3.1 Que se aplique antes de la exposición al sol.

5.1.10.3.2 Que para mantener la protección, se repita con frecuencia la aplicación del producto, especialmente después de transpirar, bañarse o secarse.

5.1.10.3.3. Que se aplique a la piel la cantidad suficiente.

5.1.11 Declaraciones prohibidas de propiedades.

Se prohíbe el uso de las siguientes declaraciones:

5.1.11.1 Declaración de propiedades que no pueden comprobarse.

5.1.11.2 No podrán atribuirse a los productos cosméticos, acciones propias de los medicamentos.

5.1.11.3 En la comercialización de los productos cosméticos, el etiquetado no utilizará textos, denominaciones, marcas, imágenes o cualquier otro símbolo figurativo o no, con el fin de atribuir a estos productos características o propiedades de las que carecen.

5.1.12 En los envases múltiples o colectivos será necesario declarar únicamente, la información de etiquetado que no contengan los productos, de forma individual.

5.1.12.1 La información anterior debe aparecer en la superficie principal de exhibición o en la de información, sin restricción en el tamaño de la letra utilizada, siempre que sea fácil de leer por el consumidor.

5.1.12.2 Para los productos que se comercialicen en envases múltiples o colectivos:

5.1.12.2.1 La declaración de la cantidad puede expresarse indistintamente por cuenta numérica por los envases que contiene o por contenido neto, excepto cuando el contenido o contenido neto sea obvio, no siendo restrictivo la ubicación y tamaño de la letra utilizada.

5.1.12.2.2 Los envases individuales deben contener la información completa que establece este ordenamiento, la declaración de cantidad del dato cuantitativo de acuerdo con lo establecido en este ordenamiento. En el caso de que los envases individuales no contengan la declaración de cantidad, ésta debe declararse en el envase múltiple o colectivo, no siendo restrictivo la ubicación y tamaño de la letra utilizada.

## 5.2. Información Comercial

5.2.1 Se debe cumplir con lo que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002 Sistema General de Unidades de Medida, sin perjuicio de que además se puedan utilizar unidades de medida de otro sistema.

5.2.2 Para la declaración de cantidad se considera suficiente que los envases ostenten el dato cuantitativo, seguido de la unidad correspondiente a la magnitud aplicable, sin que sea necesario ostentar las leyendas "CONTENIDO", "CONTENIDO NETO", O SUS ABREVIATURAS, "CONT", "CONT.NET".

5.2.3 La declaración anterior debe aparecer en la superficie principal de exhibición o en la de información del envase primario o secundario.

5.2.4 El tamaño de la declaración de contenido o contenido neto debe ser de acuerdo con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-030-SCFI-2006 Información comercial - Declaración de cantidad en la etiqueta - Especificaciones.

5.2.5 En las muestras o ayudas de venta y amenidades debe figurar, en cualquier parte del envase la siguiente información: denominación del producto, nombre del responsable del producto, número de lote y cuando aplique, considerando lo establecido en esta norma, incluir las instrucciones de uso y/o leyendas precautorias.

5.2.6 En las muestras o ayudas de venta de lociones y fragancias cuyo contenido neto sea menor o igual a 2 ml debe figurar en el envase secundario al menos la marca comercial, la denominación del producto, para los productos importados ésta podrá ser la del país de origen, la razón social del fabricante del mismo, y cuando aplique leyendas precautorias.

## 5.3 Información Sanitaria

5.3.1. En los productos objeto de esta norma, debe incluirse en caracteres visibles, en cualquiera de las etiquetas ubicadas en la superficie de información del envase primario o secundario, la lista de los nombres de los ingredientes de la fórmula. Esta lista debe estar precedida por el término "Ingredientes" y enlistarse.

5.3.1.1 por orden cuantitativo; o,

5.3.1.2 por orden cuantitativo decreciente aquellos ingredientes cuya concentración sea superior al 1% seguido por aquellos ingredientes en concentración inferior o igual al 1% que podrán mencionarse en cualquier orden.

**5.3.1.3 Los productos cosméticos que contengan ingredientes en forma de nanomateriales deberán ser declarados en la lista de ingredientes manteniendo el orden decreciente: nombre del ingrediente + (nano).**

**5.3.1.3.1 Restricciones para las sustancias enumeradas en los anexos. Los productos cosméticos no contendrán ninguno de los siguientes:**

**5.3.1.3.1.1 Sustancias prohibidas y restringidas**

**A) Está prohibido el uso de filtros UV que no estén incluidos en el Anexo I, así como de aquellos que sí aparecen en dicho anexo pero que se utilicen en condiciones distintas a las ahí establecidas.**

**5.3.1.3.2 Colorantes**

**A) Los colorantes distintos de los enumerados en el anexo II y los colorantes que figuran allí, pero que no se utilizan de conformidad con las condiciones establecidas en dicho anexo.**

**5.3.1.3.3 Conservantes**

**A) Conservantes distintos de los enumerados en el Anexo III, conservantes que figuran allí pero que no se utilizan de acuerdo con las condiciones establecidas en ese anexo.**

5.3.2 Quedan exceptuadas de la declaración de los nombres de los ingredientes, los perfumes y fragancias.

5.3.3 Para la nomenclatura de los ingredientes, puede emplearse a elección del fabricante cualquiera de las establecidas en los Acuerdos, o el nombre químico más usual o el nombre tal cual como aparece en la Nomenclatura Internacional de Ingredientes Cosméticos (INCI).

Las fragancias y sabores pueden designarse con el nombre genérico.

Los materiales de origen botánico deben designarse con el nombre científico de la planta, siendo opcional el nombre común de la misma.

5.3.4 Para la declaración de los nombres de los ingredientes en los productos con una o más presentaciones, en los que la fórmula base es la misma y sólo varía el uso de los colorantes, se incluirá la lista con los nombres de los ingredientes comunes de la fórmula, seguida de otra con todos los colorantes usados para las diversas presentaciones, anteponiendo a esta última el texto "puede contener" o "contiene uno o más" o "+/-".o equivalentes.

5.3.5 Para la declaración de los nombres de los ingredientes en aquellos productos que por su tamaño carecen de espacio, (como son lápices de cejas, delineadores, entre otros) ésta podrá figurar en el envase secundario si lo hubiere o bien en un volante impreso anexo al producto o en una etiqueta de bandera.

5.3.6 En productos con una duración menor o igual a 24 meses debe figurar, en cualquier parte del envase primario o secundario, la fecha hasta la cual un producto, en condiciones adecuadas de almacenamiento, es seguro para la salud del consumidor, indicando al menos el mes y el año, o bien por el día, el mes y el año Este dato podrá o no ir precedido por la leyenda, a elección del fabricante: Caducidad, Consumo preferente, Vencimiento, Duración mínima, Validez, Expiración, o equivalentes o sus abreviaturas.

Quedan exceptuados de la declaración de esta fecha, los productos que por sus características no permiten el crecimiento microbiano o que tienen una alta rotación de venta y uso, tales como: Aceites, Jabones sólidos, sales de baño, perfumes y derivados, desodorantes que no sean emulsiones, antitranspirantes, depilatorios, tintes y decolorantes, shampoo, acondicionadores, permanentes, relajantes permanentes de rizos y alaciadores permanentes, fijadores, oxidantes, productos para uñas, brillantinas, unidosis y productos en envases presurizados.

### 5.3.7 Leyendas precautorias

Las leyendas precautorias asociadas a ingredientes que conforme a las disposiciones que emita la Secretaría representen riesgos a la salud, deberán estar escritas en idioma español, incluyendo el nombre de dichos ingredientes. Cuando los ingredientes se hayan declarado conforme a la Nomenclatura INCI, las leyendas precautorias a que hace referencia el párrafo anterior deberán incluir también dicha denominación.

Conforme al tipo de producto y las sustancias que contiene, se deben incluir las siguientes leyendas precautorias o sus equivalentes:

#### 5.3.7.1 En desodorantes o antitranspirantes:

5.3.7.1.1 Que no se aplique sobre piel irritada o lastimada

5.3.7.1.2 Que descontinúe su uso en caso de presentarse irritación, enrojecimiento o alguna molestia

5.3.7.1.3 Que no se deje al alcance de los niños

5.3.7.1.4 En caso de contener Fenolsulfonato de zinc mencionar que se evite el contacto con los ojos

#### 5.3.7.2 En tintes, colorantes, coloración y otros relacionados:

5.3.7.2.1 Los colorantes del cabello pueden causar reacciones alérgicas graves

5.3.7.2.2 Lea y siga las instrucciones

5.3.7.2.3 Este producto no está destinado a utilizarse en personas menores de dieciséis años.

5.3.7.2.4 Los tatuajes temporales de «henna negra» pueden aumentar el riesgo de alergia

5.3.7.2.5 No utilice el tinte capilar

- 5.3.7.2.5.1 Si tiene una erupción cutánea en el rostro o tiene el cuero cabelludo sensible, irritado o dañado
- 5.3.7.2.5.2 Si alguna vez ha experimentado cualquier tipo de reacción después de la coloración del cabello
- 5.3.7.2.5.3 Si alguna vez ha experimentado una reacción a los tatuajes temporales de «henna negra»
- 5.3.7.2.6 Que se realice una prueba preliminar de acuerdo a las instrucciones
- 5.3.7.2.7 Que puede causar alergia en algunas personas
- 5.3.7.2.8 Que suspenda su empleo en caso de irritación
- 5.3.7.2.9 Que no se aplique en cejas o pestañas
- 5.3.7.2.10 Que se evite el contacto con los ojos
- 5.3.7.2.11 Que no se deje al alcance de los niños
- 5.3.7.2.12 Indicaciones de primeros auxilios para el caso
- 5.3.7.2.13 Que se usen guantes apropiados
- 5.3.7.2.14 En caso de que el producto entre en contacto con los ojos, que se enjuaguen inmediatamente con agua
- 5.3.7.2.15 En productos profesionales además se debe indicar: Reservado a profesionales
- 5.3.7.3 En tintes, colorantes, coloración y otros que contengan alguna de las siguientes sustancias, además de las leyendas anteriores, se deberán indicar que la contienen:
  - 5.3.7.3.1 Diaminobenceno y sus derivados
  - 5.3.7.3.2 Diaminotolueno y sus derivados
  - 5.3.7.3.3 Diaminofenol
  - 5.3.7.3.4 Hidroquinona
  - 5.3.7.3.5 Resorcinol
- 5.3.7.4 En permanentes y alaciadores permanentes:
  - 5.3.7.4.1 Que se destaque(n) la(s) sustancia(s) que puedan causar daño al cabello y piel cabelluda
  - 5.3.7.4.2 Que no se aplique a cejas o pestañas
  - 5.3.7.4.3 Que se evite el contacto con los ojos. Que puede causar ceguera
  - 5.3.7.4.4 Que se use exclusivamente conforme al instructivo
  - 5.3.7.4.5 Que no se deje al alcance de los niños
  - 5.3.7.4.6 Además deben incluirse las indicaciones de primeros auxilios para el caso y recomendar la consulta a un médico
  - 5.3.7.4.7 En productos profesionales además se debe indicar: Reservado a profesionales

5.3.7.4.8 En los productos que contengan alguna de las siguientes sustancias, además de lo anterior, se deberá indicar que las contienen:

5.3.7.4.8.1 Hidróxido de sodio

5.3.7.4.8.2 Hidróxido de potasio

5.3.7.4.8.3 Hidróxido de litio

5.3.7.4.8.4 Hidróxido de calcio

Se podrá indicar de manera genérica "Contiene un agente alcalino"

5.3.7.5 En decolorantes:

5.3.7.5.1 Que se destaque(n) la(s) sustancia(s) que puede causar daño

5.3.7.5.2 Que se evite el contacto con los ojos

5.3.7.5.3 En caso de que el producto entre en contacto con los ojos, que se enjuaguen inmediatamente con agua

5.3.7.5.4 Que se usen guantes apropiados

5.3.7.5.5 Que no se aplique si la piel cabelluda está irritada

5.3.7.5.6 Que se suspenda su empleo en caso de irritación

5.3.7.5.7 Que no se aplique en cejas o pestañas

5.3.7.5.8 Que no se deje al alcance de los niños

5.3.7.5.9 Que se den indicaciones de primeros auxilios para el caso

5.3.7.6 En depilatorios:

5.3.7.6.1 Que no se aplique sobre piel irritada o lastimada

5.3.7.6.2 Que no se deje al alcance de los niños

5.3.7.6.3 Que se evite el contacto con los ojos

5.3.7.6.4 Los productos que contengan alguna de las siguientes sustancias además de las anteriores, se debe indicar que la contiene:

5.3.7.6.4.1 Hidróxido de sodio

5.3.7.6.4.2 Hidróxido de potasio

5.3.7.6.4.3 Hidróxido de litio

5.3.7.6.4.4 Hidróxido de calcio

Se podrá indicar de manera genérica "Contiene un agente alcalino"

5.3.7.7 En los endurecedores de uñas que contengan formaldehído:

5.3.7.7.1 Que se proteja la cutícula con sustancias grasosas

5.3.7.7.2 Indicar que lo contiene mediante la leyenda correspondiente (sólo si la concentración es superior a 0.05%)

5.3.7.8 En removedores de cutícula que contengan hidróxido de sodio o potasio:

5.3.7.8.1 Que contiene potasa o sosa, según corresponda o que contiene un agente alcalino

5.3.7.8.2 Que se evite el contacto con los ojos

5.3.7.8.3 Que puede causar ceguera

5.3.7.8.4 Que no se deje al alcance de los niños

5.3.7.9 En sistemas de uñas profesionales que contengan peróxido de benzoílo y/o hidroquinona:

5.3.7.9.1 Que está reservado a los profesionales

5.3.7.9.2 Que se evite el contacto con la piel

5.3.7.9.3 Que se lean las instrucciones de uso

5.3.7.10 En los productos para la piel cuya función primaria sea la de ofrecer protección solar:

5.3.7.10.1 Que se indique el valor del Factor de Protección Solar (FPS), en caso de que se utilicen las siglas FPS o SPF, señalar su significado

5.3.7.10.2 Que protege contra UVB y UVA

5.3.7.10.3 Que no permanezca mucho tiempo expuesto al sol, aunque emplee un producto de protección solar

5.3.7.10.4 Que se mantenga a los bebés y niños pequeños fuera de la luz solar directa

5.3.7.10.5 Que la exposición excesiva al sol es un riesgo importante para la salud

5.3.7.10.6 Que suspenda su empleo si se presentan signos de irritación o salpullido

5.3.7.10.7 Evite el contacto con los ojos, puede causar irritación

5.3.7.10.8 Se podrá incluir el logotipo del Factor UVA, el cual deberá indicarse mediante las siglas "UVA" impresas dentro de un círculo simple y cuyo diámetro no deberá exceder la altura con que se indique el número FPS.



Los productos que ofrezcan protección solar como función secundaria, no se consideran protectores solares por lo que no les aplican estas leyendas.

5.3.7.11 En productos cuya función primaria sea la de broncear éstos deben tener un FPS de 2 a 4 (valor medido 2 a 5.9) y declararlo:

5.3.7.11.1 Que se indique el valor del Factor de Protección Solar (FPS), en caso de que se utilicen las siglas FPS o SPF, señalar su significado

- 5.3.7.11.2 Que suspenda su empleo si se presentan signos de irritación
- 5.3.7.11.3 Que no permanezca mucho tiempo expuesto al sol
- 5.3.7.11.4 Que se mantenga a los bebés y niños pequeños fuera de la luz solar directa
- 5.3.7.11.5 Que la exposición excesiva al sol es un riesgo importante para la salud
- 5.3.7.11.6 Que no se recomienda para niños y personas con piel sensible al sol
- 5.3.7.12 En desodorantes femeninos en aerosol previstos para el uso en el área genital:
  - 5.3.7.12.1 Este producto es exclusivo para uso externo solamente y no debe ser aplicado a piel con heridas, irritada o con escozor
  - 5.3.7.13 En productos cuya presentación sea en ampollitas, iguales a la presentación farmacéutica, debe figurar en el envase múltiple o en cada ampollita el texto: "no ingerible" "no inyectable"
  - 5.3.7.14 En los productos cuya presentación es en envases presurizados (aerosol), además de las leyendas precautorias que se requieran conforme al producto de que se trate, las siguientes:
    - 5.3.7.14.1 Que no se aplique cerca de los ojos o flama
    - 5.3.7.14.2 Que no se exponga al calor
    - 5.3.7.14.3 Que no se queme, ni perfora el envase
    - 5.3.7.14.4 Que no se deje al alcance de los niños
  - 5.3.7.15 En los productos inflamables, además de las leyendas precautorias que se requieran conforme al producto de que se trate:
    - 5.3.7.15.1 Que es inflamable
    - 5.3.7.15.2 Que no se aplique cerca de los ojos o piel irritada
    - 5.3.7.15.3 Que no se deje al alcance de los niños
  - 5.3.7.16 En productos que contengan ácido bórico y boratos (exceptuando productos para el baño y para la ondulación del cabello):
    - 5.3.7.16.1 Que no se aplique a niños menores de tres años
    - 5.3.7.16.2 Que no se aplique en piel irritada o lastimada (sólo si la concentración de borato soluble libre excede 1.5% expresado en ácido bórico masa / masa)
  - 5.3.7.17 En productos que contengan tetraboratos:
    - 5.3.7.17.1 En productos para el baño:
      - 5.3.7.17.1.1 Que no se use en niños menores de tres años
    - 5.3.7.17.2 En productos para el cabello:
      - 5.3.7.17.2.1 Enjuagar abundantemente
    - 5.3.7.17.3 En talcos:

5.3.7.17.3.1 Que no se use en niños menores de tres años

5.3.7.17.3.2 No utilizar en pieles escoriadas o irritadas

5.3.7.18 En productos para niños que contengan ácido salicílico y sus sales:

5.3.7.18.1 Que no se use en niños menores de tres años

5.3.7.19 En los productos que contengan diclorofeno, clorobutanol, cloroacetamida, timerosal compuestos fenilmercúricos (ya sea ácido o sales) u oxibenzona:

5.3.7.19.1 Indicar que lo contiene mediante la leyenda correspondiente

5.3.7.20 Si el producto contiene más de 0,05% de glutaraldehído en el producto final:

5.3.7.20.1 Indicar que lo contiene mediante la leyenda correspondiente

5.3.7.21 En productos que permanezcan en la piel, si la concentración de yodopropinil butil carbamato es superior a 0.02%:

5.3.7.21.1 Indicar que contiene yodo

5.3.7.22 En productos que contengan más de 2% de amoníaco se indicará que lo contiene.

5.3.7.23 En productos que contengan ácido tioglicólico, sus sales o esteres:

5.3.7.23.1 Para todos los productos:

5.3.7.23.1.1 Indicar que lo contiene mediante la leyenda correspondiente

5.3.7.23.1.2 Que se mantenga fuera del alcance de los niños

5.3.7.23.1.3 Que se siga el modo de empleo

5.3.7.23.1.4 Que se evite el contacto con los ojos

5.3.7.23.1.5 En caso de contacto con los ojos enjuague con abundante agua. Consulte al médico

5.3.7.23.2 Para el caso de productos para el cabello además de lo anterior:

5.3.7.23.2.1 Utilizar guantes adecuados

5.3.7.23.3 Para el caso de los Esteres del ácido tioglicólico además de lo anterior:

5.3.7.23.3.1 Puede causar sensibilización en caso de contacto con la piel

5.3.7.23.4 Para los productos para el cabello de uso profesional además de lo anterior, indicar:

5.3.7.23.4.1 Que es para uso profesional

5.3.7.24 En productos que contengan clorhidrato de aluminio/zirconio y sus complejos de glicina:

5.3.7.24.1 Que no se aplique sobre la piel irritada, o lastimada

5.3.7.25 En productos que contengan disulfuro de selenio:

5.3.7.25.1 Indicar que lo contiene mediante la leyenda correspondiente

5.3.7.25.2 Que se evite el contacto con los ojos y la piel lastimada

5.3.7.26 En productos que contengan peróxidos excepto cuando su uso sea como conservador:

5.3.7.26.1 Se deben usar guantes protectores (sólo cuando se trate de tratamientos capilares)

5.3.7.26.2 Que se evite el contacto con los ojos

5.3.7.26.3 Que en caso de contacto con los ojos se laven inmediatamente con agua

5.3.7.26.4 Indicar que lo contiene mediante la leyenda correspondiente

5.3.7.26.5 En productos profesionales además se debe indicar: Reservado a profesionales

5.3.7.27 En productos que contengan benzalconio como cloruro, bromuro o sacarinato:

5.3.7.27.1 Que se evite el contacto con los ojos

5.3.7.28 En productos que contengan ácido oxálico sus ésteres y sus sales:

5.3.7.28.1 Reservado a los profesionales

5.3.7.29 En productos que contengan Sulfuros alcalinos y alcalinotérreos:

5.3.7.29.1 Que se mantenga fuera del alcance de los niños

5.3.7.29.2 Que se evite el contacto con los ojos

5.3.7.30 En productos que contengan Hidróxido de estroncio:

5.3.7.30.1 Que se mantenga alejado del alcance de los niños

5.3.7.30.2 Que se evite el contacto con los ojos

5.3.7.31 En productos que contengan Nitrato de plata:

5.3.7.31.1 Indicar que lo contiene

5.3.7.31.2 Que en caso de contacto con los ojos, lavarse inmediatamente con agua

### **5.3.8 Nanomateriales.**

**5.3.8.1 El uso de nanopartículas en protectores solares no representan un daño a largo plazo para los consumidores, siempre y cuando éste sea igual o menos al 25% del total del producto bruto**

**5.3.8.2 Se prohíbe el uso de nanomateriales en productos cosméticos, específicamente en protectores solares bajo el formato de aerosoles o polvos sueltos.**

**5.3.8.3 Además de la notificación en virtud del numeral 5.1.5.1 los productos cosméticos que contengan nanomateriales serán notificados a COFEPRIS por la persona responsable y por medios electrónicos o físicos al menos seis meses antes de su comercialización y se agregará al menos la siguiente información:**

**A) Su identificación, incluida la denominación química (IUPAC)**

**B) La especificación del nanomaterial, incluido el tamaño de las partículas, las propiedades físicas y químicas.**

**C) Una estimación de la cantidad de nanomaterial contenida en los productos cosméticos destinados a ser comercializados por año.**

**D) El perfil toxicológico del nanomaterial.**

**E) Datos relativos en relación con la seguridad del nanomaterial presente en otros productos cosméticos previamente utilizados.**

**F) Las condiciones de exposición razonablemente previsibles.**

**5.3.8.4 COFEPRIS proporcionará un número de referencia para la presentación del perfil toxicológico, que puede sustituir a la información que debe notificarse en virtud de la letra D.**

**5.3.8.5 COFEPRIS, teniendo en cuenta los progresos técnicos y científicos, puede modificar el numeral 5.1.6 añadiendo requisitos.**

**5.3.8.6 COFEPRIS pondrá a disposición la siguiente información:**

**Deberá poner a disposición del público un catálogo actualizado de todos los nanomateriales empleados en productos cosméticos comercializados en el país. Este catálogo incluirá, en una sección específica, aquellos nanomateriales utilizados como colorantes, filtros ultravioleta y conservadores. Además, se especificarán las categorías de productos en los que se emplean y las condiciones de exposición previsibles para los consumidores. El catálogo será actualizado de forma periódica.**

**5.3.8.7 COFEPRIS revisará de manera periódica las disposiciones del presente Reglamento en materia de nanomateriales, tomando en cuenta los avances científicos más recientes. En caso de ser necesario, propondrá las modificaciones pertinentes para asegurar su adecuación y efectividad.**

**5.3.8.8 El uso de nanopartículas de óxido de zinc en protectores solares se cumplirá si el tamaño de partícula está entre 30 nm y 55 nm, y  $\geq 30$  nm para dióxido de titanio. Se recomienda incluir los métodos de prueba para la evaluación de conformidad, considerando la especificación de tamaño de partícula, contenido de NMs, propiedades fisicoquímicas y toxicológicas.**

## ANEXO I

### LISTA DE LOS FILTROS ULTRAVIOLETA ADMITIDOS EN LOS PRODUCTOS COSMÉTICOS

Nombre químico	Nombre común	Concentración máxima % en el producto preparado para su uso
<i>Ácido 4-aminobenzoico</i>	<i>PABA</i>	5%

<i>Metilsulfato de N,N,N-trimetil-4-[(2 oxo-3 borniliden)-metil]-anilina</i>	<i>Camphor benzalkonium methosul-fate</i>	<b>6%</b>
<i>Benzoato de 2-hidroxi-, 3,3,5-trimetilciclohexílico/homosalato</i>	<i>Homosalate</i>	<b>10%</b>
<i>2-Hidroxi-4-metoxibenzofenona/oxibenzona</i>	<i>Benzophenone-3</i>	<b>10%</b>
<i>Ácido 2-fenil-5-bencimidazol sulfónico y sus sales de potasio, de sodio y de trietanolamina/ensulizol</i>	<i>Phenylbenzimidazol e sulfonic acid</i>	<b>8%</b>
<i>Ácido 3,3'-(1,4-fenilendimetilen)bis[7,7-dimetil-2-oxobiciclo[221]hept-1-il-metano]sulfónico y sus sales/Ecamsul</i>	<i>Terephthalylidene dicamphor sulfonic acid</i>	<b>10%</b>
<i>1-(4-tert-Butil-fenil)-3-(4-metoxifenil) propano-1,3-dona/ avobenzona</i>	<i>Butyl nethoxydibenzoylm ethane</i>	<b>5%</b>
<i>Ácido a-(2-Oxoborn-3-ilideno)-toluen-4-sulfónico y sus sales</i>	<i>Benzylidene camphor sulfonic acid</i>	<b>6 %</b>
<i>Ester 2-etilhexílico del ácido 2-ciano-3,3-difenilacrilico/octocrileno</i>	<i>Octocrylene</i>	<b>10 % (ácido)</b>
<i>Polímero de N- (2 y 4)-[(2-oxoborn-3-iliden)metil]bencil]acrilamida</i>	<i>Polyacrylamidomethyl benzylidene camphor</i>	<b>6%</b>
<i>Metoxicinamato de octilo/octinoxato</i>	<i>Ethylhexyl methoxycinnamate</i>	<b>10%</b>
<i>Etil-4-aminobenzoato etoxilado</i>	<i>PEG-25 PABA</i>	<b>10%</b>
<i>Isopentil-4-metoxicinamato/amiloxato</i>	<i>Isoamyl p-methoxycinnamate</i>	<b>10%</b>

<i>2,4,6-Trianiilino-p-carbo-2'-etilhexil-1'oxi-1,3,5-triazina</i>	<i>Ethylhexyl triazone</i>	<b>5%</b>
<i>2-(2H-Benzotriazol-2-il)-4-metil-6-(2-metil-3-(1,3,3,3-tetrametil-1-(trimetilsilil)oxi)-disiloxani)propilo)fenol</i>	<i>Drometrizole trisiloxane</i>	<b>15%</b>
<i>Benzoato Bis(2-etilhexil) bis(4,4'-[[6-[[4-[[1,1-dimetil-etil]amino]carbonil]fenil]amino]-1,3,5-triazina-2,4-diil] diimino)Iscotrizinol (USAN)</i>	<i>Diethylhexyl butamido triazone</i>	<b>10%</b>
<i>3-(4'-Metilbencilideno)-D,L-1 alcanfor/enzacameno</i>	<i>4-Methylbenzylidene camphor</i>	<b>4%</b>
<i>3-Bencilideno alcanfor</i>	<i>3-Benzylidene camphor</i>	<b>2%</b>
<i>Salicilato de 2-etilhexilo/octisalato</i>	<i>Ethylhexyl salicylate</i>	<b>5%</b>
<i>Benzoato de 4-(dimetilamino)-2-etilhexilo/padimato O (USAN: BAN)</i>	<i>Ethylhexyl dimethyl PABA</i>	<b>8%</b>
<i>Ácido 2-Hidroxi-4-metoxibenzofenona-5-sulfónico y su sal de sodio (Sulisobenzona, Sulisobenzona sódica)</i>	<i>Benzophenone-4, benzophen one-5</i>	<b>5% (ácido)</b>
<i>2,2'-Metilen-bis-6-(2H-benzotriazol-2-il)-4-(1,1,3,3-tetrametil-butil)fenol/bisocotrizol</i>	<i>Methylene bis-benzotriazolyl tetra-methylbutylphenol</i>	<b>10%</b>
<i>Sal sódica del ácido 2-2'-bis-(1,4-fenilen) 1H-bencimidazol, 4,6-disulfónico/bisdisulizol disódico</i>	<i>Disodium phenyl dibenzimidazole tetrasulfonate</i>	<b>10% (ácido)</b>

<i>(USAN)</i>		
<i>2,2'-(6-(4-Metoxifenil)-1,3,5-triazina-2,4-diil) bis (5-((2-ethylhexil)oxi)fenol) / Bemotrizino</i>	<i>Bis-ethylhexyloxyphenol methoxyphenyl triazine</i>	<i>10%</i>
<i>Benzalmalonato de dimeticodietilo</i>	<i>Polysilicone-15</i>	<i>10%</i>
<i>Dióxido de titanio</i>	<i>Titanium dioxide</i>	<i>25%</i>
<i>Hexilbenzoato de 2-[4-(dietilamino)-2-hidroxibenzoilo]</i>	<i>Diethylamino hydroxybenzoyl hexyl benzoate</i>	<i>10 % en productos de protección solar</i>

## ANEXO I

## LISTA DE COLORANTES ADMITIDOS EN LOS PRODUCTOS COSMÉTICOS

Número de referencia	Identificación de las sustancias					Condiciones			Texto de las condiciones de uso y advertencias
	Nombre químico	Número de Color Index/Nombre común del ingrediente recogido en el glosario	Número CAS	Número CE	Coloración	Tipo de producto, partes del cuerpo	Concentración máxima en el producto preparado para el uso	Otras condiciones	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
1	Tris(1,2-naftoquinona-1-oximato-O, O')ferrato(1-) de sodio	10006			Verde	Productos que se aclaran			
2	Tris[5,6-dihidro-5-(hidroxiimino)-6-oxonaftaleno-2-sulfonato(2-)-N <sub>5</sub> ,O <sub>6</sub> ]ferrato(3-) de trisodio	10020			Verde	No utilizar en productos aplicados en las mucosas			
3	5,7-Dinitro-8-óxidonaftaleno-2-sulfonato de disodio y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	10316			Amarilla	No utilizar en productos para los ojos			
4	2-[(4-Metil-2-nitrofenil)azo]-3-oxo-N-fenilbutiramida	11680			Amarilla	No utilizar en productos aplicados en las mucosas			
						No utiliza			

5	2-[(4-Cloro-2-nitrofenil)azo]-N-(2-clorofenil)-3-oxobutiramida	11710			Amarilla	en productos aplicados en las mucosas			
6	2-[(4-Metoxi-2-nitrofenil)azo]-3-oxo-N-(o-tolil)butiramida	11725			Naranja	Productos que se aclaran			
7	4-(Fenilazo)resorcinol	11920			Naranja				
8	4-[(4-Etoxifenil)azo]naftol	12010			Roja	No utilizar en productos aplicados en las mucosas			
9	1-[(2-Cloro-4-nitrofenil)azo]-2-naftol y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	12085			Roja		3 %		
10	1-[(4-Metil-2-nitrofenil)azo]-2-naftol	12120			Roja	Productos que se aclaran			
11	3-Hidroxi-N-(o-tolil)-4-[(2,4,5-triclorofenil)azo]naftaleno-2-carboxamida	12370			Roja	Productos que se aclaran			
12	N-(4-Cloro-2-metilfenil)-4-[(4-cloro-2-metilfenil)azo]-3-hidroxi-naftaleno-2-carboxamida	12420			Roja	Productos que se aclaran			
13	4-[(2,5-Diclorofenil)azo]-N-(2,5-dimetoxifenil)-3-hidroxi-naftaleno-2-carboxamida	12480			Marrón	Productos que se aclaran			

14	N-(5-Cloro-2,4-dimetoxifenil)-4-[[5-[(dietilamino)sulfonil]-2-metoxifenil]azo]-3-hidroxi-naftaleno-2-carboxamida	12490			Roja				
15	2,4-Dihidro-5-metil-2-fenil-4-(fenilazo)-3H-pirazol-3-ona	12700			Amarilla	Productos que se aclaran			
16	2-Amino-5-[(4-sulfonato fenil)azo]bencenosulfonato de sodio	13015			Amarilla				
17	4-(2,4-Dihidroxi fenilazo) bencenosulfonato de sodio	14270			Naranja				
18	3-[(2,4-Dimetil-5-sulfonato fenil)azo]-4-hidroxi-naftaleno-1-sulfonato de sodio	14700			Roja				
19	4-Hidroxi-3-[(4-sulfonato naftil)azo]naftaleno sulfonato de sodio	14720		222-657-4	Roja			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 122)	
20	6-[(2,4-Dimetil-6-sulfonato fenil)azo]-5-hidroxi-naftaleno-1-sulfonato de sodio	14815			Roja				
21	4-[(2-Hidroxi-1-naftil)azo]bencenosulfonato de sodio y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	15510			Naranja	No utilizar en productos para los ojos			
22	Bis[2-cloro-5-[(2-hidroxi-1-naftil)azo]-4-sulfonato benzoato] de calcio y sodio	15525			Roja				
23	Bis[4-[(2-hidroxi-1-naftil)azo]-2-metilbencenosulfonato] de bario	15580			Roja				

24	4-[(2-Hidroxi-1-naftil)azo]naftalenosulfonato de sodio	15620			Roja	Productos que se aclaran			
25	2-[(2-Hidroxinaftil)azo]naftalenosulfonato de sodio y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	15630			Roja	3 %			
26	Bis[4-(fenilazo)-3-hidroxi-2-naftoato] de calcio	15800			Roja	No utilizar en productos aplicados en las mucosas			
27	3-Hidroxi-4-[(4-metil-2-sulfonatofenil)azo]-2-naftoato de disodio y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	15850		226-109-5	Roja			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 180)	
28	4-[(5-Cloro-4-metil-2-sulfonatofenil)azo]-3-hidroxi-2-naftoato de disodio y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	15865			Roja				
29	3-Hidroxi-4-[(1-sulfonato-2-naftil)azo]-2-naftoato de calcio	15880			Roja				
30	6-Hidroxi-5-[(3-sulfonatofenil)azo]naftaleno-2-sulfonato de disodio	15980			Naranja				
31	6-Hidroxi-5-[(4-sulfonatofenil)azo]naftaleno-2-sulfonato de disodio y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	15985		220-491-7	Amarilla			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E110)	
32	6-Hidroxi-5-[(2-metoxi-4-sulfonato-metil)azo]naftaleno-2-sulfonato de disodio	16035		247-368-0	Roja			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la	

								Comisión (E129)	
33	3-Hidroxi-4-[(4'-sulfonatonaftil)azo]naftaleno-2,7-disulfonato de trisodio	16185		213-022-2	Roja			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E123)	
34	7-Hidroxi-8-(fenilazo)naftaleno-1,3-disulfonato de disodio	16230			Naranja	No utilizar en productos aplicados en las mucosas			
35	1-(1-Naftilazo)-2-hidroxi-naftaleno-4',6,8-trisulfonato de trisodio y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	16255		220-036-2	Roja			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E124)	
36	7-Hidroxi-8-[(4-sulfonato-1-naftil)azo]naftaleno-1,3,6-trisulfonato de tetrasodio	16290			Roja				
37	5-Amino-4-hidroxi-3-(fenilazo)naftaleno-2,7-disulfonato de disodio y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	17200			Roja				
38	5-Acetilamino-4-hidroxi-3-(fenilazo)naftaleno-2,7-disulfonato de disodio	18050		223-098-9	Roja	No utilizar en productos aplicados en las mucosas		Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E128)	
39	Sal disódica del ácido 3-((4-ciclohexil-2-metilfenil)azo)-4-hidroxi-5-(((4-metilfenil)sulfonil)amino)-2,7-naftalenodisulfónico	18130			Roja	Productos que se aclaran			

40	Bis[2-[(4,5-dihidro-3-metil-5-oxo-1-fenil-1H-pirazol-4-il)azo]benzoato(2-)]cromato(1-) de hidrógeno	18690			Amarilla	Productos que se aclaran		
41	Bis[5-cloro-3-[(4,5-dihidro-3-metil-5-oxo-1-fenil-1H-pirazol-4-il)azo]-2-hidroibencenosulfonato(3-)]cromato(3-) de disodio e hidrógeno	18736			Roja	Productos que se aclaran		
42	4-(3-Hidroxi-5-metil-4-(fenilazo)pirazol-2-il)bencenosulfonato de sodio	18820			Amarilla	Productos que se aclaran		
43	2,5-Dicloro-4-(5-hidroxi-3-metil-4-((sulfofenil)azo)pirazol-1-il)bencenosulfonato de disodio	18965			Amarilla			
44	5-Hidroxi-1-(4-sulfofenil)-4-((4-sulfofenil)azo)pirazol-3-carboxilato de trisodio y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	19140		217-699-5	Amarilla		Crterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 102)	
45	<i>N, N'</i> -(3,3'-Dimetil[1,1'-bifenil]-4,4'-diil)bis[2-[(2,4-diclorofenil)azo]-3-oxobutiramida]	20040			Amarilla	Productos que se aclaran	Concentración máxima de 5 ppm de 3,3'-dimetilbencidina en el colorante	
46	4-Amino-5-hidroxi-3-((4-nitrofenil)azo)-6-(fenilazo)naftaleno-2,7-disulfonato de sodio	20470			Negra	Productos que se aclaran		
47	2,2'-[(3,3'-Dicloro[1,1'-bifenil]-4,4'-diil)bis(azo)]bis[ <i>N</i> -(2,4-dimetilfenil)-3-oxobutiramida]	21100			Amarilla	Productos que se aclaran	Concentración máxima de 5 ppm de 3,3'-dimetilbencidina en el colorante	
48	2,2'-[(3,3'-Dicloro[1,1'-bifenil]-4,4'-diil)bis(azo)]bis[ <i>N</i> -(4-cloro-2,5-dimetoxifenil)-3-oxobutiramida]	21108			Amarilla	Productos que se aclaran	Concentración máxima de 5 ppm de 3,3'-dimetilbencidina	

								a en el colorante	
49	2,2'-[Ciclohexiliden-bis[(2-metil-4,1-fenil)azo]]bis[4-ciclohexilfenol]	21230			Amarilla	No utilizar en productos aplicados en las mucosas			
50	4,6-Dihidroxi-3-[[4-[1-[4-[[1-hidroxi-7-[(fenilsulfonil)oxi]-3-sulfonato-2-naftil]azo]fenil]ciclohexil]fenil]azo]naftaleno-2-sulfonato de disodio	24790			Roja	Productos que se aclaran			
51	1-(4-(Fenilazo)fenilazo)-2-naftol	26100			Roja	No utilizar en productos aplicados en las mucosas	Criterios de pureza: anilina $\leq 0,2$ % 2-naftol $\leq 0,2$ % 4-aminoazobenceno $\leq 0,1$ % 1-(fenilazo)-2-naftol $\leq 3$ % 1-[[2-(fenilazo)fenil]azo]-2-naftalenol $\leq 2$ %		
52	6-Amino-4-hidroxi-3-[[7-sulfonato-4-[(4-sulfonato)fenil]azo]-1-naftil]azo]naftaleno-2,7-disulfonato de tetrasodio	27755			Negra				
53	1-Acetamido-2-hidroxi-3-(4-((4-sulfonato)fenilazo)-7-sulfonato-1-naftilazo))naftaleno-4,6-disulfonato de tetrasodio	28440		219-746-5	Negra		Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E151)		
54	Sal disódica del ácido 2,2'-(1,2-etenodiil)-bis-5-nitrobenzenosulfónico, productos de reacción con ácido 4-[(4-aminofenil)azo]	40215			Naranja	Productos que se aclaran			



	exa-2,5-dien-1-iliden](3-sulfonatobencil)amonio de dihidrógeno							
62	Sal sódica de (bencil)[4-[[4-(benciletilamino)fenil](2,4-disulfonatofenil)metilen]ciclohexa-2,5-dien-1-iliden](etil)amonio de hidrógeno	42080			Azul	Productos que se aclaran		
63	Sal disódica de (etil)[4-[4-(etil(3-sulfonatobencil)amino)-2'-sulfonatobencidriliden]ciclohexa-2,5-dien-1-iliden](3-sulfonatobencil)amonio de dihidrógeno	42090		223-339-8	Azul		Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 133)	
64	Sal sódica de [4-[(2-clorofenil)[4-[etil(3-sulfonatobencil)amino]fenil]metilen]ciclohexa-2,5-dien-1-iliden] (etil) (3-sulfonatobencil)amonio de hidrógeno	42100			Verde	Productos que se aclaran		
65	Sal sódica de [4-[(2-clorofenil)[4-[etil(3-sulfonatobencil)amino]- <i>o</i> -tolil]metilen]-3-metilciclohexa-2,5-dien-1-iliden](etil)(3-sulfonatobencil)amonio de hidrógeno	42170			Verde	Productos que se aclaran		
66	Clorhidrato de (4-(4-aminofenil)(4-iminociclohexa-2,5-dieniliden)metil)-2-metilanolina	42510			Violeta	No utilizar en productos aplicados en las mucosas		
67	Monoclorhidrato de 4-[[4-(4-amino- <i>m</i> -tolil)(4-imino-3-metilciclohexa-2,5-dien-1-iliden)metil]- <i>o</i> -toluidina	42520			Violeta	Productos que se aclaran	5ppm	
68	Sal sódica de [4-[[4-(diethylamino)fenil][4-[etil(3-sulfonatobencil)amino]- <i>o</i> -tolil]metilen]-3-metilciclohexa-2,5-dien-1-iliden](etil)(3-	42735			Azul	No utilizar en productos aplicados		

	sulfonatobencil)amonio de hidrógeno					en las mucosas			
69	Cloruro de [4-[[4-anilino-1-naftil][4-(dimetilamino)fenil]metilen]ciclohexa-2,5-dien-1-iliden]dimetilamonio	44045			Azul	No utilizar en productos aplicados en las mucosas			
70	Sal monosódica de [4-[4-(dimetilamino)- $\alpha$ -(2-hidroxio-3,6-disulfonato-1-naftil)benciliden]ciclohexa-2,5-dien-1-iliden]dimetilamonio de hidrógeno	44090		221-409-2	Verde			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E142)	
71	Sal sódica de 3,6-bis(dietilamino)-9-(2,4-disulfonato)fenil)xantilio de hidrógeno	45100			Roja	Productos que se aclaran			
72	Sal monosódica de 9-(2-carboxilato)fenil)-3-(2-metil-anilino)-6-(2-metil-4-sulfoanilino)xantilio de hidrógeno	45190			Violeta	Productos que se aclaran			
73	Sal monosódica de 9-(2,4-Disulfonato)fenil)-3,6-bis(etilamino)-2,7-dimetilxantilio de hidrógeno	45220			Roja	Productos que se aclaran			
74	2-(3-Oxo-6-óxido) xanten-9-il)benzoato de disodio	45350			Amarilla		6 %		
75	4',5'-Dibromo-3',6'-dihidroxi-epiro[isobenzofurona-1(3H),9'-[9H]xanten]-3-ona y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	45370			Naranja			No más de 1 % de Ácido 2-(6-Hidroxi-3-oxo-3H-xanten-9-yl)benzoico (fluoresceína) y 2 % de Ácido 2-(Bromo-6-hidroxi-3-oxo-3H-xanten-9-il)benzoico (monobromofluoresceína)	

76	2-(2,4,5,7-Tetrabromo-6-óxido-3-oxoxanten-9-il)benzoato de disodio y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	45380			Roja			No más de 1 % de Ácido 2-(6-Hidroxi-3-oxo-3 <i>H</i> -xanten-9-iy1) benzoico (fluor esceína) y 2 % de Ácido 2-(Bromo-6-hidroxi-3-oxo-3 <i>H</i> -xanten-9-il) benzoico (monobromoflu oresceína)	
77	3',6'-Dihidroxi-4',5'-dinitrospiro[isobenzofuran-1(3 <i>H</i> ),9'-[9 <i>H</i> ]xanten]-3-ona	45396			Naranja		1 %, cuando se emplee en productos labiales	Sólo en forma de ácido libre, cuando se emplee en productos labiales	
78	Benzoato de 3,6 dicloro-2-(2,4,5,7-tetrabromo-6-óxido-3-oxoxanten-9-il) de dipotasio	45405			Roja	No utilizar en productos para los ojos		No más de 1 % de Ácido 2-(6-Hidroxi-3-oxo-3 <i>H</i> -xanten-9-iy1) benzoico (fluor esceína) y 2 % de Ácido 2-(Bromo-6-hidroxi-3-oxo-3 <i>H</i> -xanten-9-il) benzoico (monobromoflu oresceína)	
79	Ácido 3,4,5,6-tetracloro-2-(1,4,5,8-tetrabromo-6-hidroxi-3-oxoxanten-9-il)benzoico y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	45410			Roja			No más de 1 % de Ácido 2-(6-Hidroxi-3-oxo-3 <i>H</i> -xanten-9-iy1) benzoico (fluor esceína) y 2 % de Ácido 2-(Bromo-6-hidroxi-3-oxo-3 <i>H</i> -xanten-9-il) benzoico (monobromoflu oresceína)	
80	Benzoato de 2-(2,4,5,7-tetrayodo-6-óxido-3-oxoxanten-9-il) de disodio y sus lacas, sales y pigmentos insolubles de bario, estroncio y circonio	45430		240-474-8	Roja			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 127)	

81	1,3-Isobenzofuranodiona, productos de reacción con metilquinolina y quinolina	47000			Amarilla	No utilizar en productos aplicados en las mucosas			
82	Sales sódicas sulfonadas de 1 <i>H</i> -indeno-1,3(2 <i>H</i> )-diona, 2-(2-quinolinilo)	47005		305-897-5	Amarilla			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 104)	
83	Sal sódica de 9-[(3-metoxifenil)amino]-7-fenil-5-(fenilamino)-4,10-disulfonatobenzo[a]fenazinio de hidrógeno	50325			Violeta	Productos que se aclaran			
84	Nigrosina sulfonada soluble	50420			Negra	No utilizar en productos aplicados en las mucosas			
85	8,18-Dicloro-5,15-dietil-5,15-dihidrodiindolo[3,2-b:3',2'-m]trifenodioxazina	51319			Violeta	Productos que se aclaran			
86	1,2-Dihioxiantraquinona	58000			Roja				
87	8-Hidroxipireno-1,3,6-trisulfonato de trisodio	59040			Verde	No utilizar en productos aplicados en las mucosas			
88	1-Anilino-4-hidroxiantraquinona	60724			Violeta	Productos que se			

						aclaran			
89	1-Hidroxi-4-( <i>p</i> -toluidino)antraquinona	60725				Violeta			
90	3-Sulfonato de 4-[(9,10-dihidro-4-hidroxi-9,10-dioxo-1-antril)amino]tolueno de sodio	60730				Violeta	No utilizar en productos aplicados en las mucosas		
91	1,4-Bis( <i>p</i> -tolilamino)antraquinona	61565				Verde			
92	Bis(5-metilsulfonato) de 2,2'-(9,10-dioxoantraceno-1,4-diildiimino) de disodio	61570				Verde			
93	Bis(2,4,6-trimetilbencenosulfonato) de 3,3'-(9,10-dioxoantraceno-1,4-diildiimino) de sodio	61585				Azul	Productos que se aclaran		
94	2-Sulfonato-1-amino-4-(ciclohexilamino)-9,10-dihidro-9,10-dioxoantraceno de sodio	62045				Azul	Productos que se aclaran		
95	6,15-Dihidroantrazina-5,9,14,18-tetrona	69800				Azul			
96	7,16-Dicloro-6,15-dihidroantrazina-5,9,14,18-tetrona	69825				Azul			
97	Bisbencimidazo[2,1-b:2',1'-i]benzo[lmn][3,8]fenantrolina-8,17-diona	71105				Naranja	No utilizar en productos aplicados en las mucosas		

98	2-(1,3-Dihidro-3-oxo-2 <i>H</i> -indazol-2-iliden)-1,2-dihidro-3 <i>H</i> -indol-3-ona	73000			Azul				
99	Disulfonato de 5,5'-(2-(1,3-dihidro-3-oxo-2 <i>H</i> -indazol-2-iliden)-1,2-dihidro-3 <i>H</i> -indol-3-ona) de disodio	73015		212-728-8	Azul			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 132)	
100	6-Cloro-2-(6-cloro-4-metil-3-oxobenzob]tien-2(3 <i>H</i> -iliden)-4-metilbenzob]tiefen-3(2 <i>H</i> )-ona	73360			Roja				
101	5-Cloro-2-(5-cloro-7-metil-3-oxobenzob]tien-2(3 <i>H</i> -iliden)-7-metilbenzob]tiefen-3(2 <i>H</i> )-ona	73385			Violeta				
102	5,12-Dihidroquino[2,3-b]acridina-7,14-diona	73900			Violeta	Productos que se aclaran			
103	5,12-Dihidro-2,9-dimetilquino[2,3-b]acridina-7,14-diona	73915			Roja	Productos que se aclaran			
104	29 <i>H</i> ,31 <i>H</i> -Ftalocianina	74100			Azul	Productos que se aclaran			
105	[29 <i>H</i> ,31 <i>H</i> -Ftalocianinato(2- <i>N</i> 29, <i>N</i> 30, <i>N</i> 31, <i>N</i> 32] cobre	74160			Azul				
106	[29 <i>H</i> ,31 <i>H</i> -Ftalocianinadisulfonato(4- <i>N</i> 29, <i>N</i> 30, <i>N</i> 31, <i>N</i> 32]cuprato(2-) de disodio	74180			Azul	Productos que se aclaran			
107	Policloro ftalocianina de cobre	74260			Verde	No utilizar en productos para			

						los ojos			
108	Ácido 8,8'-diapo- $\psi$ , $\psi$ - carotenodioico	75100				Amaril la			
109	Bija (Ácido 6,6'-Diapo- $\psi$ , $\psi$ - carotenodioico) (Annato)	75120		215- 735- 4/28 9- 561- 2/23 0- 248- 7	Naranj a			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 160b)	
110	Licopeno	75125		—	Amaril la			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 160d)	
111	CI Food Orange 5	75130		214- 171- 6	Naranj a			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 160a)	
112	$\beta$ , $\tau$ -Caroten-3-ol (rubixantina)	75135			Amaril la				
113	2-Amino-1,7-dihidro-6 <i>H</i> - purin-6-ona; (guanina)	75170			Blanca				
114	Curcuminas	75300		207- 280- 5	Amaril la			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 100)	
115	Carmines	75470		215- 680- 6/21 5- 023- 3/21 5- 724- 4	Roja			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 120)	

116	(2 <i>S-trans</i> )-[18-Carboxi-20-(carboximetil)-13-etil-2,3-dihidro-3,7,12,17-tetrametil-8-vinil-21 <i>H</i> ,23 <i>H</i> -porfina-2-propionato(5-)- <i>N</i> 21, <i>N</i> 22, <i>N</i> 23, <i>N</i> 24]cuprato (3-) de trisodio (Clorofilas)	75810		215-800-7/20 7-536-6/20 8-272-4/28 7-483-3/23 9-830-5/24 6-020-5	Verde			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 140, E 141)	
117	Aluminio	77000		231-072-3	Blanca			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 173)	
118	Hidroxisulfato de aluminio	77002			Blanca				
119	Silicato de aluminio hidratado natural, $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ , con impurezas de carbonatos de calcio, magnesio o hierro, hidróxido férrico, arena de cuarzo, mica, etc	77004			Blanca				
120	Lazurita	77007			Azul				
121	Silicato de aluminio coloreado con óxido férrico	77015			Roja				
122	Sulfato de bario	77120			Blanca				
123	Oxiclورو de bismuto	77163			Blanca				
124	Carbonato cálcico	77220		207-439-9/21 5-279-6	Blanca			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 170)	
125	Sulfato cálcico	77231			Blanca				

126	Negro de carbón	77266		215-609-9	Negra			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 153)	
127	Carbón, hueso Polvo negro fino obtenido quemando huesos de animales en un recipiente cerrado Compuesto principalmente de fosfato de calcio y carbono	77267			Negra				
128	Negro de coque	77268:1			Negra				
129	Óxido de cromo (III)	77288			Verde			Exento de ión cromato	
130	Hidróxido de cromo (III)	77289			Verde			Exento de ión cromato	
131	Espinela azul de cobalto aluminato	77346			Verde				
132	Cobre	77400			Marrón				
133	Oro	77480		231-165-9	Marrón			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 175)	
134	Óxido de hierro	77489			Naranja				
135	Óxido de hierro rojo	77491		215-168-2	Roja			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 172)	
136	Óxido de hierro amarillo	77492	51274-00-1	257-098-5	Amarilla			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la	

								Comisión (E 172)	
137	Óxido de hierro negro	77499		235-442-5	Negra			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 172)	
138	Ferrocianuro férrico amónico (Azul de Prusia)	77510			Azul			Exento de ión cianuro	
139	Carbonato de magnesio	77713			Blanca				
140	Difosfato de amonio y manganeso (3+)	77742			Violeta				
141	Bis(ortofosfato) de trimanganeso	77745			Roja				
142	Plata	77820		231-131-3	Blanca			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 174)	
143	Dióxido de titanio	77891		236-675-5	Blanca			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 171)	
144	Óxido de zinc	77947			Blanca				
145	Riboflavina	Lactoflavin		201-507-1/204-988-6	Amarilla			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 101)	
146	Caramelo	Caramel*		232-435-9	Marrón			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 150a-d)	

147	Extracto de pimentón, capsantina, capsorrubina	Capsanthin/capsorubin		207-364-1/207-425-2	Naranja			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 160c)	
148	Rojo de remolacha (betanina)	Beetroot red	7659-95-2	231-628-5	Roja			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 162)	
149	Antocianos (Cianidina peonodina malvidina delfinidina petunidina pelargonidina)	Anthocyanins	528-58-5 134-01-0 528-53-0 643-84-5 134-04-3	208-438-6 205-125-6 211-403-8 208-437-0 — 205-127-7	Roja			Criterios de pureza establecidos en la Directiva 95/45/CE de la Comisión (E 163)	
150	Estereatos de aluminio, de zinc, de magnesio y de calcio	Aluminium stearate, Zinc stearate, Magnesium stearate Calcium stearate	7047-84-9 557-05-1 557-04-0 216-472-8	230-325-5 209-151-9 209-150-3 216-472-8	Blanca				
151	S, S-Dióxido de 4,4'-(3H-2,1-benzoxatiol-3-iliden)bis[2-bromo-3-metil-6-(1-metiletil)] fenol (azul de bromotimol)	Bromothymol blue	76-59-5	200-971-2	Azul	Productos que se aclaran			
152	S, S-Dióxido de 4,4'-(3H-2,1-benzoxatiol-3-iliden)bis[2,6-dibromo-3-metil]	Bromocresol green	76-60-8	200-972-8	Verde	Productos que se			

						aclaran			
153	4-[(1-Fenil-4,5-dihidro-3-metil-5-oxo-1H-pirazol-4-il)azo]-3-hidroxinaftaleno-1-sulfonato de sodio	Acid red 195	1220-24-5	—	Roja	No utilizar en productos aplicados en las mucosas			

## ANEXO III

## LISTA DE LOS CONSERVANTES ADMITIDOS EN LOS PRODUCTOS COSMÉTICO

Número de referencia	Identificación de las sustancias				Condiciones			Texto de las condiciones de empleo y advertencias
	Nombre químico / DCI	Nombre común del ingrediente recogido en el glosario	Número CAS	Número CE	Tipo de producto, partes del cuerpo	Concentración máxima en el producto preparado para el uso	Otras condiciones	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
1	Ácido benzoico y su sal de sodio	Benzoic acid sodium benzoate	65-85-0 532-32-1	200-618-2 208-534-8	Productos que se aclaran, excepto los productos bucales	2,5 % (ácido)		
					Productos bucales	1,7 % (ácido)		
					Productos que no se aclaran	0,5 % (ácido)		
1a	Sales del ácido benzoico distintas de las incluidas en el número de orden 1 y ésteres del ácido benzoico	Ammonium benzoate, calcium benzoate, potassium benzoate, magnesium benzoate, MEA-benzoate, methyl benzoate, ethyl benzoate, propyl benzoate, butyl benzoate, isobutyl	1863-63-4, 2090-05-3, 582-25-2, 553-70-8, 4337-66-0, 93-93-3, 58-3,	217-468-9, 218-235-4, 209-481-3, 209-045-2,		0,5 % (ácido)		

		benzoate, isopropyl benzoate, phenyl benzoate	93-89-0, 2315-68-6, 136-60-7, 120-50-3, 939-48-0, 93-99-2	224-387-2, 202-259-7, 202-284-3, 219-020-8, 205-252-7, 204-401-3, 213-361-6, 202-293-2				
2	Ácido propiónico y sus sales	Propionic acid, ammonium propionate, calcium propionate, magnesium propionate, potassium propionate, sodium propionate	79-09-4, 1749-6-08-1, 4075-81-4, 557-27-7, 327-62-8, 137-40-6	201-176-3, 241-503-7, 223-795-8, 209-166-0, 206-323-5, 205-290-4		2 % (ácido)		
3	Ácido salicílico y sus sales	Salicylic acid, calcium salicylate, magnesium salicylate, MEA-salicylate, sodium salicylate, potassium salicylate, TEA-salicylate	69-72-7, 824-35-1, 1891-7-89-0, 5986-6-70-5, 54-21-7, 578-36-9, 2174-16-5	200-712-3, 212-525-4, 242-669-3, 261-963-2, 200-198-0, 209-421-6, 218-531-3		0,5 % (ácido)	No utilizar en productos para niños menores de 3 años, excepto en los champús	No utilizar para niños menores de 3 años
4	Ácido 2,4-Dienoico y sus sales	Sorbic acid calcium sorbate,	110-44-1, 7492-	203-768-7,		0,6 % (ácido)		

		sodium sorbate, potassium sorbate	55-9, 7757- 81-5, 2463 4-61- 5	231- 321- 6, 231- 819- 3, 246- 376-1				
5	Formaldehído y <i>p</i> -formaldehído	Formaldehyde, paraformaldehyde	50- 00-0, 3052 5-89- 4	200- 001-8	Productos bucales:	0,1 % (de formaldeh ido libre)	No utilizar en aerosoles	
					Otros productos:	0,2 % (de formaldeh ido libre)		
6	Desplazado o eliminado							
7	Bifenil-2-ol y sus sales	<i>o</i> -Phenylphenol, sodium <i>o</i> - phenylphenate, potassium <i>o</i> - phenylphenate, MEA <i>o</i> - phenylphenate	90- 43-7, 132- 27-4, 1370 7-65- 8, 8414 5-04- 0	201- 993- 5, 205- 055- 6, 237- 243- 9, 282- 227-7		0,2 % (de fenol)		
8	Piritiona de zinc	Zinc pyrithione	1346 3-41- 7	236- 671-3	Productos para el pelo:	1,0 %	Solo productos que se aclaran  No utilizar en productos bucales	
					Otros productos:	0,5 %		
9	Sulfitos y bisulfitos inorgánicos	Sodium sulfite, ammonium bisulfite, ammonium sulfite, potassium sulfite, potassium hydrogen sulfite, sodium bisulfite, sodium metabisulfite, potassium metabisulfite	7757- 83-7, 1019 2-30- 0, 1019 6-04- 0, 1011 7-38- 1, 7773- 03-7, 7631- 90-5, 7681- 57-4, 1673 1-55- 8	231- 821- 4, 233- 469- 7, 233- 484- 9, 233- 321- 1, 231- 870- 1, 231- 548- 0, 231- 673- 0,		0,2 % (de SO <sub>2</sub> libre)		

				240-795-3				
10	Desplazado o eliminado							
11	Clorobutanol	Chlorobutanol	57-15-8	200-317-6		0,5 %	No utilizar en aerosoles	Contiene chlorobutanol
12	Ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico, sus sales y sus ésteres	4-Hydroxybenzoic acid, methylparaben, butylparaben, potassium ethylparaben, potassium paraben, propylparaben, isobutylparaben, sodium methylparaben, sodium ethylparaben, sodium propylparaben, sodium butylparaben, sodium isobutylparaben, ethylparaben, sodium paraben, isopropylparaben, potassium methylparaben, potassium butylparaben, potassium propylparaben, sodium propylparaben, calcium paraben, phenylparaben	99-96-7, 99-76-3, 94-26-8, 3645 7-19-9,167 82-08-4, 94-13-3, 4247-02-3, 5026-62-0, 3528 5-68-8, 3528 5-69-9, 3645 7-20-2, 8493 0-15-4, 120-47-8, 114-63-6, 4191-73-5, 2611-07-2, 3856 6-94-8, 8493 0-17-4, 3528 5-69-9, 6995 9-44-0, 1769 6-62-7	202-804-9, 202-785-7, 202-318-7, 253-048-1, 240-830-2, 202-307-7, 224-208-8, 225-714-1, 252-487-6, 252-488-1, 253-049-7, 284-595-4, 204-399-4, 204-051-1, 224-069-3, 247-464-2, 254-009-1, 284-597-5, 252-488-		0,4 % (de ácido) para un solo éster 0,8 % (de ácido) para las mezclas de ésteres		

				1, 274- 235- 4, 241- 698-9				
13	3-Acetil-6-metil-2 <i>H</i> -pirano-2,4(3 <i>H</i> )-diona / ácido dehidroacético y sus sales	Dehydroacetic acid, sodium dehydroacetate	520-45-6, 4418-26-2, 16807-48-0	208-293-9, 224-580-1		0,6 % (de ácido)	No utilizar en aerosoles	
14	Ácido fórmico y su sal de sodio	Formic acid, sodium formate	64-18-6, 141-53-7	200-579-1, 205-488-0		0,5 % (de ácido)		
15	3,3'-Dibromo-4,4'-hexametilendioxidibenzamidina (dibromohexamidina) y sus sales (incluido el isetionato)	Dibromohexamidina, Isethionate	93856-83-8	299-116-4		0,1 %		
16	Tiomersal	Thimerosal	54-64-8	200-210-4	Productos para los ojos	0,007 % (de Hg)  Cuando se encuentre mezclado con otros compuestos mercuriales autorizados por el presente Reglamento, la concentración máxima en Hg seguirá siendo de 0,007 %		Contiene tiomersal
17	Fenilmercurio y sus sales (incluido el borato)	Phenyl mercuric acetate, phenyl mercuric benzoate	62-38-4, 94-43-9	200-532-5, 202-331-8	Productos para los ojos	0,007 % (de Hg)  Cuando se encuentre mezclado con otros compuestos mercuriales autorizados por el		Contiene componentes fenilmercurios

						presente Reglame- nto, la concentra- ción máxima en Hg seguirá siendo de 0,007 %		
18	Ácido undecilénico y sus sales	Undecylenic acid, potassium undecylenate, sodium undecylenate, calcium undecylenate, TEA- undecylenate, MEA- undecylenate	112- 38-9, 6159- 41-7, 3398- 33-2, 1322- 14-1, 8447 1-25- 0, 5653 2-40- 2	203- 965- 8, 222- 264- 8, 215- 331- 8, 282- 908- 9, 260- 247-7		0,2 % (de ácido)		
19	1,3-Bis(2-etilhexil)hexahidro-5- metil-5-pirimidinamina / hexetidina	Hexetidine	141- 94-6	205- 513-5		0,1 %		
20	5-Bromo-5-nitro-1,3-dioxano	5-Bromo-5-nitro- 1,3-dioxane	3000 7-47- 7	250- 001-7	Productos que se aclaran	0,1 %	Se debe evitar la formación de nitrosaminas	
21	2-Bromo-2-nitro-1,3 propanodiol / bronopol	2-Bromo-2- nitropropane-1,3- diol	52- 51-7	200- 143-0		0,1 %	Se debe evitar la formación de nitrosaminas	
22	Alcohol 2,4-diclorobencílico	Dichlorobenzyl alcohol	1777- 82-8	217- 210-5		0,15 %		
23	1-(4-Clorofenil)-3-(3,4- diclorofenil)urea / triclocarbán	Triclocarban	101- 20-2	202- 924-1		0,2 %	Criterios de pureza:  3,3',4,4'- Tetracloronitro benceno <1ppm  3,3',4,4'- Tetracloroni- troxibenceno <1ppm	
24	Clorocresol	<i>p</i> -Chloro- <i>m</i> -cresol	59- 50-7	200- 431-6	No utilizar en los productos aplicados	0,2 %		

					en las mucosas		
25	5-Cloro-2-(2,4-diclorofenoxi)fenol / triclosán	Triclosan	3380-34-5	222-182-2		0,3 %	
26	Cloroxilenol	Chloroxylenol	88-04-0	201-793-8		0,5 %	
27	N, N'-Metilen-bis[N'-[3-(hidroximetil)-2,5-dioximidazolidin-4-il]urea]	Imidazolidinyl urea	3923-6-46-9	254-372-6		0,6 %	
28	Diclorhidrato de $\alpha,\omega$ -bis[[[(aminoiminometil)amino]iminometil]amino] poli(metileno)	Polyaminopropyl biguanide	7017-0-61-5, 2875-7-47-3, 1330-29-32-0			0,3 %	
29	2-Fenoxietanol	Phenoxyethanol	122-99-6	204-589-7		1,0 %	
30	Metenamina	Methenamine	100-97-0	202-905-8		0,15 %	
31	Cloruro de 3-cloroalil metenamina	Quaternium-15	4080-31-3	223-805-0		0,2 %	
32	1-(4-Clorofenoxi)-1-(1H-imidazol-1-il)-3,3-dimetil-2-butanona / climbazol	Climbazole	3808-3-17-9	253-775-4		0,5 %	
33	1,3-Bis(hidroximetil)-5,5-dimetilimidazolidina-2,4-diona	DMDM Hydantoin	6440-58-0	229-222-8		0,6 %	
34	Alcohol bencílico	Benzyl alcohol	100-51-6	202-859-9		1,0 %	
35	1-Hidroxi-4-metil-6 (2,4,4-trimetil-pentil)2-piridón y su sal de monoetanol amina	1-Hydroxy-4-methyl-6-(2,4,4-trimethylpentyl) 2-pyridon, piroctone olamine	5065-0-76-5, 6889-0-66-4	272-574-2	Productos que se aclaran:	1,0 %	
					Otros productos:	0,5 %	
36	Desplazado o eliminado						

37	2,2'-Metilen-bis(6-bromo-4-clorofenol)	Bromochlorophene	1543 5-29- 7	239- 446-8		0,1 %		
38	4-Isopropil-3-cresol	<i>o</i> -Cymen-5-ol	3228- 02-2	221- 761-7		0,1 %		
39	Mezcla de 5-Cloro-2-metil-isotiazol-3(2 <i>H</i> )-ona y 2-Metilisotiazol-3(2 <i>H</i> )-ona con cloruro de magnesio y nitrato de magnesio	Methylchloroisothi- azolinone methylisothiazolin one	2617 2-55- 4, 2682- 20-4, 5596 5-84- 9	247- 500- 7, 220- 239-6		0,0015 % (de una mezcla en la proporción 3:1 de 5-cloro-2-metil-3,4-isotiazolona y 2-metil-3,4-isotiazolona)		
40	2-Bencil-4-clorofenol / clorofeno	Chlorophene	120- 32-1	204- 385-8		0,2 %		
41	2-Cloroacetamida	Chloroacetamide	79- 07-2	201- 174-2		0,3 %		Contiene chloroacetamida
42	<i>N</i> , <i>N'</i> -Bis(4-clorofenil)-3,12-diimino-2,4,11,13-tetraazatetradecanodii midamida (clorhexidina) y sus sales de diacetato, digluconato y diclorhidrato	Chlorhexidine, chlorhexidine diacetate, chlorhexidine digluconate, chlorhexidine dihydrochloride	55- 56-1, 56- 95-1, 1847 2-51- 0, 3697- 42-5	200- 238- 7, 200- 302- 4, 242- 354- 0, 223- 026-6		0,3 % (de clorhexidina)		
43	1-Fenoxipropan-2-ol	Phenoxyisopropanol	770- 35-4	212- 222-7	Solo para productos que se aclaran	1,0 %		
44	Bromuro y cloruro de alquil (C <sub>12</sub> -C <sub>22</sub> ) trimetil amonio	Behentrimonium chloride, cetrimonium bromide, cetrimonium chloride, laurrimonium bromide, laurrimonium chloride, stearrimonium bromide, stearrimonium chloride	1730 1-53- 0, 57- 09-0, 112- 02-7, 1119- 94-4, 112- 00-5, 1120- 02-1, 112- 03-8	241- 327- 0, 200- 311- 3, 203- 928- 6, 214- 290- 3, 203- 927- 0,		0,1 %		

				214-294-5, 203-929-1				
45	4,4-Dimetil-1,3-oxazolidina	Dimethyl oxazolidine	5120 0-87-4	257-048-2		0,1 %	pH > 6	
46	<i>N</i> -(Hidroximetil)- <i>N</i> -(1,3-dihidroximetil-2,5-dioxo-4-imidazolidinil) <i>N'</i> (hidroximetil) urea	Diazolidinyl urea	7849 1-02-8	278-928-2		0,5 %		
47	4,4'-(1,6-Hexanodilbis(oxi))bis-bencenocarboxamidina / hexamidina y sus sales (incluido el diisetionato, el di- <i>p</i> -ben y el <i>p</i> -ben	Hexamine, hexamine diisethionate, hexamine paraben	3811-75-4, 659-40-5, 9384 1-83-9	211-533-5, 299-055-3		0,1 %		
48	Glutaraldehído (1,5-pentanodial) / glutaral	Glutaral	111-30-8	203-856-5		0,1 %	No utilizar en aerosoles (sprays)	Contiene glutaral
49	7a-Etildihidro-1 <i>H</i> ,3 <i>H</i> ,5 <i>H</i> -oxazolo[3,4- <i>c</i> ]oxazol	7-Ethylbicyclooxazolidine	7747-35-5	231-810-4		0,3 %	No utilizar en productos bucales ni aplicados en las mucosas	
50	3-( <i>p</i> -clorofenoxi)-propan-1,2 diol / clorfenesina	Chlorphenesin	104-29-0	203-192-6		0,3 %		
51	Hidroximetilaminacetato de sodio (hidroximetilglicinato de sodio)	Sodium hydroxymethylglycinate	7016 1-44-3	274-357-8		0,5 %		
52	Cloruro de plata depositado sobre dióxido de titanio	Silver chloride	7783-90-6	232-033-3		0,004 % (de AgCl)	20 % AgCl (p/p) sobre TiO <sub>2</sub> No utilizar en productos para niños menores de 3 años ni en productos bucales, labiales o para los ojos	
53	Cloruro de <i>N,N</i> -Dimetil- <i>N</i> -[2-[2-[4-(1,1,3,3-tetrametilbutil)fenoxi]etoxi]etil] bencenometaminio (cloruro de bencetonio)	Benzethonium chloride	121-54-0	204-479-9	a)Producto s que se aclaran	0,1 %		

					b Producto ) s que no se aclaran salvo los productos bucales			
54	Cloruro, bromuro y sacarinato de benzalconio	Benzalkonium chloride, benzalkonium bromide, benzalkonium saccharinate	8001-54-5, 6344 9-41-2, 9108 0-29-4, 6898 9-01-5, 6842 4-85-1, 6839 1-01-5, 6178 9-71-7, 8540 9-22-9	264-151-6, 293-522-5, 273-545-7, 270-325-2, 269-919-4, 263-080-8, 287-089-1		0,1 % (de cloruro de benzalconio)		Evitar el contacto con los ojos
55	(Fenilmetoxi)-metanol	Benzylhemiformal	1454 8-60-8	238-588-8	Productos que se aclaran	0,15 %		
56	Butilcarbamato de 3-yodo-2-propinilo	Iodopropynyl butylcarbamate	5540 6-53-6	259-627-5	a)Producto s que se aclaran b Producto ) s que no se aclaran c) Desodorantes y antitranspirantes	a)0,02 % b)0,01 % c 0,0075 ) %	No utilizar en productos bucales ni labiales a)No utilizar en productos para niños menores de 3 años, excepto en productos de baño, gel de ducha y champú b)No utilizar en lociones y cremas corporales b) No utilizar y c)en productos para niños menores de 3 años	a)No utilizar para niños menores de 3 años

57	2-Metil-2 <i>H</i> -isotiazol-3-ona	Methylisothiazolinone	2682-20-4	220-239-6		0,01 %		
----	-------------------------------------	-----------------------	-----------	-----------	--	--------	--	--



## Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: [www.riit.com.mx](http://www.riit.com.mx)

### Efecto ecotoxicológico del paratión metílico en *Moina macrocopa* bajo diferentes densidades algales

#### Ecotoxicological effect of methyl parathion on *Moina macrocopa* under different algal densities

Mauricio-Gutiérrez, A.<sup>a</sup>, Mangas-Ramírez, E.<sup>b</sup>, Valdez-Ruíz, S.<sup>b</sup>, Cortés-Reyes, K.<sup>b</sup>; Mora-Ravelo, S.G.<sup>c</sup>, Amaro-Leal, L.J.<sup>a</sup>, Romero-Arenas, O.<sup>d\*</sup>

<sup>a</sup> SECIHTI-Posgrado en Manejo Sostenible de Agroecosistemas; Instituto de Ciencias; Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; C.P. 72960, Puebla, México. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7525-9522>, <https://orcid.org/0009-0001-0253-5987>, <https://orcid.org/0000-0003-0076-3609>.

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias Biológicas; Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; C.P. 72570, Puebla, México. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8400-5914>, <https://orcid.org/0009-0008-1967-137X>, <https://orcid.org/0009-0008-9536-1285>.

<sup>c</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias; Universidad Autónoma de Tamaulipas; C.P. 87149, Tamaulipas, México. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0015-4811>.

<sup>d</sup> Centro de Agroecología; Instituto de Ciencias; Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; C.P. 72960, Puebla, México. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0076-3609>\*. [amg2510@hotmail.com](mailto:amg2510@hotmail.com); [ernesto.mangas@correo.buap.mx](mailto:ernesto.mangas@correo.buap.mx); [sebastian.valdez@alumno.buap.mx](mailto:sebastian.valdez@alumno.buap.mx); [karla.cortes@alumno.buap.mx](mailto:karla.cortes@alumno.buap.mx); [sgmora@docentes.uat.edu.mx](mailto:sgmora@docentes.uat.edu.mx); [luisjosuebiol@gmail.com](mailto:luisjosuebiol@gmail.com); [biol.ora@hotmail.com](mailto:biol.ora@hotmail.com)\*

**Innovación tecnológica:** Bioindicadores de ecotoxicología.

**Área de aplicación industrial:** Tecnología del medio ambiente.

Recibido: 19 enero 2026

Aceptado: 20 mayo 2026

#### Abstract

Organophosphate pesticides, such as methyl parathion, represent one of the main sources of pollution in freshwater ecosystems, directly affecting the structure and dynamics of zooplankton communities. The toxicity of these compounds can vary depending on their concentration and environmental factors such as food availability. In this context, the objective of this study was to evaluate the acute and chronic effects of methyl parathion on survival and life-history variables of *Moina macrocopa* under different levels of algal food. Acute bioassays were performed to determine the median lethal concentration (LC<sub>50</sub>) at 24 h, and chronic bioassays were conducted using life tables. Two densities of *Chlorella vulgaris* (A= 0.5 × 10<sup>6</sup> and B= 1.5 × 10<sup>6</sup> cells mL<sup>-1</sup>) and four concentrations of methyl parathion were used. The following life-table variables were analyzed: age-specific survival (l<sub>x</sub>), age-specific reproduction (m<sub>x</sub>), life expectancy (e<sub>x</sub>), gross and

net reproductive rates ( $R_0$ ), generation time ( $T$ ), and the intrinsic rate of population increase ( $r$ ). The  $LC_{50}$  of *M. macrocopa* was  $3.2 \times 10^{-3}$  mg L<sup>-1</sup> ( $\log_{10} C = -2.49$ ) of methyl parathion. The life history variables were significantly affected by methyl parathion concentration ( $p < 0.001$ ). Algal density significantly influenced average lifespan, life expectancy, gross reproductive rate, generation time, and population growth rate. The interaction between food level and toxicant concentration only affected generation time and daily growth rate ( $p < 0.001$ ). The greatest effects on the studied variables were observed at low toxicant concentrations (0.002 mg L<sup>-1</sup>;  $\log_{10} C = -2.70$ ) and lower algal density. The increase in algal food density did not mitigate the compound's toxicity, suggesting a direct action of the pesticide on the organisms. These results confirm the high sensitivity of *M. macrocopa* as a bioindicator organism in ecotoxicological studies.

**Keywords:** Aquatic ecotoxicology,  $LC_{50}$ , Life tables, Methyl parathion, Zooplankton.

### Resumen

Los plaguicidas organofosforados, como el paratión metílico, representan una de las principales fuentes de contaminación en los ecosistemas acuáticos continentales, afectando de manera directa la estructura y dinámica de las comunidades zooplanctónicas. La toxicidad de estos compuestos puede variar en función de su concentración y de factores ambientales como la disponibilidad de alimento. En este contexto, el objetivo de este estudio es evaluar los efectos agudos y crónicos del paratión metílico sobre la supervivencia y las variables de historia de vida de *Moina macrocopa* bajo diferentes niveles de alimento algal. Se realizaron bioensayos agudos para determinar la concentración letal media ( $CL_{50}$ ) a 24 h y ensayos crónicos mediante tablas de vida. Se emplearon dos densidades de *Chlorella vulgaris* ( $A = 0.5 \times 10^6$  y  $B = 1.5 \times 10^6$  células mL<sup>-1</sup>) y cuatro concentraciones de paratión metílico. Se analizaron las variables edad específica de supervivencia ( $l_x$ ) como: reproducción ( $m_x$ ), esperanza de vida ( $e_x$ ), tasa reproductiva bruta y neta ( $R_0$ ), tiempo generacional ( $T$ ) y tasa intrínseca de incremento poblacional ( $r$ ). La  $CL_{50}$  de *M. macrocopa* fue de  $3.2 \times 10^{-3}$  mg L<sup>-1</sup> ( $\log_{10} C = -2.49$ ). Las variables de historia de vida se vieron significativamente afectadas por la concentración de paratión metílico ( $p < 0.001$ ). La densidad algal influyó de manera significativa en el promedio de vida, esperanza de vida, tasa reproductiva bruta, tiempo generacional y tasa de crecimiento poblacional. La interacción entre el nivel de alimento y la concentración paratión metílico sólo afectó significativamente al tiempo generacional y a la tasa de crecimiento por día ( $p < 0.001$ ). Los valores más altos de las variables estudiadas se observaron a concentraciones bajas de paratión metílico (0.002 mg L<sup>-1</sup>;  $\log_{10} C = -2.70$ ) y a menor densidad algal. El paratión metílico ejerce un efecto tóxico significativo sobre *M. macrocopa*, alterando de manera importante sus variables de historia de vida. El incremento en el nivel del alimento algal no mitigó la toxicidad del compuesto, lo que sugiere una acción directa del plaguicida sobre los organismos. Estos resultados confirman la alta sensibilidad de *M. macrocopa* como organismo bioindicador en estudios ecotoxicológicos.

**Palabras clave:** Ecotoxicología acuática,  $CL_{50}$ , Paratión metílico, Tablas de vida, Zooplancton.

## I. Introducción

El zooplancton constituye un componente esencial de los ecosistemas acuáticos y representa el segundo nivel trófico en la cadena alimenticia, al actuar como intermediario en la transferencia de energía entre los productores primarios y los consumidores superiores (Goździejewska et al., 2024), respondiendo de forma sensible a perturbaciones ambientales. En los ecosistemas de agua dulce, el zooplancton se encuentra integrado principalmente por tres grandes grupos taxonómicos: cladóceros, copépodos y rotíferos, los cuales presentan una diversidad relativamente menor en comparación con los ambientes marinos, debido a las características fisicoquímicas y estructurales de estos sistemas acuáticos (Margalef, 1983; González, 1998). Dentro de estos grupos, los cladóceros destacan por su elevada contribución a la biomasa zooplanctónica y por su relevancia ecológica, con más de 110 especies reportadas para México (Sarma et al., 2000; Nandini & Sarma, 2001). Entre ellos, *M. macrocopa* es una especie ampliamente distribuida y utilizada como organismo modelo en estudios de ecotoxicología, debido a su rápido ciclo de vida (10 a 14 días), elevada tasa reproductiva (15 a 18 crías diarias durante sus periodos pico) y alta sensibilidad a contaminantes químicos, altamente vulnerable a la presencia de Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Zinc (Zn), así como a pesticidas como clorpirifos o permetrina (Marcelino et al., 2025).

Entre los contaminantes de origen agrícola con mayor impacto en los ecosistemas acuáticos se encuentra el paratión metílico (tiofosfato de O, O-dimetilo y de O-4-nitrofenilo), un insecticida organofosforado catalogado como extremadamente peligroso por organismos internacionales, la OMS (Organización Mundial de la Salud) lo

coloca en su categoría extremadamente peligroso. El paratión metílico altera la función normal del sistema nervioso al inhibir la acetilcolinesterasa en vertebrados (Patel et al., 2021). Este compuesto ha demostrado efectos adversos sobre la estructura y dinámica de las comunidades zooplanctónicas, particularmente en los cladóceros, al alterar parámetros poblacionales como la supervivencia, fecundidad y longevidad (Hernández-Zamora et al., 2023).

En México, el uso de plaguicidas en el sector agrícola ha sido identificado como una de las principales fuentes de contaminación de cuerpos de agua superficiales, debido al arrastre de residuos químicos por escorrentía y lavado de suelos agrícolas hacia ríos, lagunas y embalses (Robles, 1998; Rojas, 1991). A pesar de los esfuerzos regulatorios impulsados en México por instituciones como la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) para restringir y controlar el uso de plaguicidas de alta peligrosidad (<https://www.gob.mx>), el incremento sostenido de la agricultura intensiva ha favorecido la persistencia de estos compuestos en ecosistemas de agua dulce y en organismos no objetivo, generando importantes riesgos ecológicos (Arias-Castro et al., 2025).

Los bioensayos ecotoxicológicos en el laboratorio son una herramienta esencial, ya que con un determinado organismo y el uso de testigos se puede predecir el efecto de las sustancias químicas tóxicas (Iannacone *et al.* 2003). Los riesgos ecológicos por lo general son juzgados basándose en el efecto sobre los organismos, las poblaciones o la comunidad, utilizando respuestas como la concentración letal media (CL<sub>50</sub>); sustancia

de la que puede esperarse que produzca la muerte, durante la exposición o en un plazo definido después de ésta, del 50% de los animales expuestos a dicha sustancia durante un periodo determinado (Iannacone & Alvaríño 2002).

Las comunidades zooplanctónicas, particularmente los cladóceros y rotíferos, son altamente sensibles a las variaciones en las concentraciones de sustancias tóxicas, lo que ha propiciado su uso extensivo en bioensayos ecotoxicológicos para la evaluación de la calidad del agua (Sarma et al., 1998; Sarma & Nandini, 2001). Estudios previos han documentado efectos letales y subletales del paratión metílico en organismos zooplanctónicos; por ejemplo, se ha reportado una  $CL_{50}$  de  $9 \text{ mg L}^{-1}$  para el rotífero *Brachionus calyciflorus* tras 24 horas de exposición, así como la influencia de la disponibilidad de alimento algal en la toxicidad del pesticida (Sarma et al., 1998; Sarma & Fernández-Araiza, 1999). Investigaciones más recientes evidencian que la diversidad funcional del zooplankton está estrechamente correlacionada con la salud de los ecosistemas de agua dulce y permite evaluar respuestas tempranas frente a múltiples estresores ambientales, incluidos contaminantes emergentes y eutrofización (Goździewska et al., 2024).

En este contexto, *M. macrocopa* adquiere relevancia no solo como indicador biológico de toxicidad, sino también como una herramienta toxicológica para la detección y evaluación de la contaminación por paratión metílico en cuerpos de agua dulce (Marcelino et al., 2025). La medición de variables derivadas de la tabla de vida permite identificar efectos subletales tempranos que no siempre son evidentes mediante análisis fisicoquímicos convencionales. Por ello, el objetivo del presente estudio es evaluar el efecto del paratión metílico sobre las variables de la

tabla de vida de *M. macrocopa* bajo diferentes concentraciones de alimento algal, con la finalidad de aportar evidencia científica que contribuya a la evaluación ecotoxicológica y al monitoreo de la calidad del agua en sistemas acuáticos impactados por actividades agrícolas.

## II. Metodología

### Organismo de prueba

El cladócero *M. macrocopa* Goulden (1968) fue aislado de la presa de Valsequillo, en el estado de Puebla, México. Posteriormente, se establecieron cultivos de laboratorio bajo condiciones controladas libres de contaminantes, siguiendo protocolos estandarizados para cladóceros utilizados en estudios ecotoxicológicos (Sarma, 1998; US EPA, 2002a). Los organismos se mantuvieron en agua dura reconstituida con una dureza total aproximada de 80–90  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ , preparada conforme a las especificaciones recomendadas de Weber (1991), la cual se utilizó para el mantenimiento de los cultivos, así como para el desarrollo de los experimentos.

Como fuente de alimento se empleó el alga verde *Chlorella vulgaris*, cultivada de forma masiva en un acuario de vidrio de 20 L. El cultivo algal se realizó mediante la inoculación en recipientes transparentes de 2 L con medio Bold (Borowitzka & Borowitzka, 1988), bajo condiciones de aireación continua y fotoperiodo constante. El medio de cultivo se renovó cada dos días, manteniendo una densidad algal final de  $1.0 \times 10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$  en los cultivos rutinarios.

### Cultivo y aclimatación de *Moina macrocopa*

El cultivo de *M. macrocopa* se mantuvo en recipientes de vidrio bajo condiciones ambientales controladas de temperatura ( $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ), pH ( $7.2 \pm 0.4$ ) y fotoperiodo

continuo con iluminación fluorescente difusa, condiciones que favorecen un crecimiento poblacional estable y reproducible (Sarma, 2026). Los organismos fueron alimentados diariamente con *C. vulgaris*, previamente cultivada en medio Bold (Borowitzka & Borowitzka, 1988). Al inicio de los experimentos, los organismos fueron aclimatados durante un periodo mínimo de 10 días a las condiciones experimentales, incluyendo el medio de cultivo, la temperatura y el régimen alimenticio. Durante este periodo, el medio se renovó cada dos días para evitar la acumulación de desechos metabólicos y asegurar condiciones fisicoquímicas estables. Únicamente se utilizaron neonatos menores de 24 h de edad, obtenidos de hembras partenogenéticas sanas, para garantizar la homogeneidad biológica y minimizar la variabilidad experimental, conforme a las recomendaciones de la OCDE TG202 (OECD, 1984) y la US EPA (US EPA, 2002a).

### **Sustancia tóxica y prueba de toxicidad aguda**

Como agente tóxico se utilizó paratión metílico  $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{P}(\text{S})\text{OC}_6\text{H}_4\text{NO}_2$  (Merck Life Science) con pureza analítica PESTANAL® (>99 %). La selección del rango de concentraciones se basó en valores reportados en la literatura para organismos zooplanctónicos, particularmente rotíferos y cladóceros tras 24 h de exposición (Fernández-Casalderrey et al., 1992; Sarma et al., 1998). Para la determinación de la  $\text{CL}_{50}$  en *M. macrocopa*, se evaluaron concentraciones nominales del insecticida en el intervalo de 0.005–0.01  $\text{mg L}^{-1}$  ( $\log_{10} [\text{C} (\text{mg L}^{-1})] = -2.30$  a  $-2.00$ ), además de un control sin presencia paratión metílico. Las pruebas se realizaron por triplicado utilizando 18 vasos experimentales de 100 mL de capacidad, cada uno con una combinación específica de medio EPA–

paratión metílico. En cada vaso se introdujeron 30 neonatos de *M. macrocopa* (<24 h de edad). Posterior a 24 h de exposición, se registró el número de organismos vivos y muertos. Se consideró como mortalidad a aquellos individuos incapaces de nadar después de una agitación suave del medio de acuerdo con los criterios establecidos en la guía OCDE TG202 (OECD, 1984).

La estimación de la concentración letal media ( $\text{CL}_{50}$ ) se realizó mediante un análisis Kepler–Meller, ajustando un modelo de regresión binomial con función de enlace probit, en el cual, la proporción de mortalidad se relacionó con el logaritmo decimal de la concentración del insecticida (Finney, 1971). A partir de este modelo se obtuvo la  $\text{CL}_{50}$  a 24 h, así como su error estándar e intervalos de confianza al 95%, los cuales se emplearon como referencia para la selección de las concentraciones subletales utilizadas en el ensayo crónico y análisis de tabla de vida.

### **Ensayo crónico y análisis de tabla de vida**

Con base en los resultados de la prueba de toxicidad aguda, se seleccionaron cuatro concentraciones subletales de paratión metílico (0.002, 0.003, 0.004 y 0.005  $\text{mg L}^{-1}$ , equivalentes a  $\log_{10} [\text{C} (\text{mg L}^{-1})] = -2.70, -2.52, -2.40$  y  $-2.30$ , respectivamente), además de un grupo control sin exposición al tóxico, así como dos niveles de alimento ( $A = 0.5 \times 10^6$  y  $B = 1.5 \times 10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$  de *C. vulgaris*). El diseño experimental consistió en un arreglo factorial completamente al azar, con pruebas por triplicado, utilizando un total de 30 recipientes experimentales transparentes.

En cada vaso se colocaron 50 mL de medio EPA con la combinación correspondiente de concentración de paratión metílico y densidad de alimento algal. Posteriormente,

se introdujeron 10 neonatos <24 h de edad de *M. macrocopa* (Nandini & Sarma, 2019). A partir del inicio del experimento y de manera diaria, se registró la supervivencia de los organismos y el número de neonatos producidos por cohorte. Los individuos adultos sobrevivientes fueron transferidos diariamente a recipientes nuevos con las mismas condiciones experimentales, con el fin de evitar la acumulación de metabolitos y garantizar la estabilidad fisicoquímica del medio. El ensayo se dio por concluido cuando todos los individuos de cada tratamiento habían muerto.

### **Cálculo de variables demográficas de la tabla de vida**

A partir de los datos de supervivencia y reproducción se construyeron las tablas de vida demográficas, calculándose la supervivencia específica por edad ( $l_x$ ), definida como la proporción de individuos sobrevivientes a la edad  $x$ , y la fecundidad específica por edad ( $m_x$ ), expresada como el número promedio de crías producidas por individuo a dicha edad. Con estos parámetros se estimaron las siguientes variables poblacionales:

\*Tasa reproductiva bruta (GR), calculada como la suma de los valores de fecundidad específica por edad:  $GR = \sum m_x$ .

\*Tasa reproductiva neta ( $R_0$ ), estimada como:  $R_0 = \sum (l_x \cdot m_x)$ , la cual representa el número promedio de descendientes producidos por un individuo a lo largo de su vida.

\*Tiempo generacional (T), calculado mediante la expresión:  $T = \sum (x \cdot l_x \cdot m_x) / \sum (l_x \cdot m_x)$ ; donde  $x$  corresponde a la edad en días, representando el intervalo promedio entre el nacimiento de los progenitores y el de su descendencia.

\*Esperanza de vida ( $e_x$ ), definida como el número promedio de días que se espera que un individuo viva a partir de una edad específica, estimada a partir de la suma de

las probabilidades de supervivencia remanentes dividida entre  $l_x$ .

\*Tasa intrínseca de incremento poblacional ( $r$ ), estimada inicialmente de forma aproximada mediante la relación:  $r \approx \ln(R_0) / T$ ; donde el valor de  $r$  se refinó mediante un procedimiento iterativo resolviendo la ecuación de Euler-Lotka:  $\sum (e^{-rx} \cdot l_x \cdot m_x) = 1$ , hasta obtener un valor estable que describiera el crecimiento poblacional bajo cada condición experimental.

Todos los cálculos de las variables demográficas siguieron los criterios clásicos propuestos por Krebs (1985) y Sarma & Nandini (2001).

### **Análisis estadístico**

Los valores de las variables de la tabla de vida de *M. macrocopa* se sometieron a un análisis de varianza de dos vías (ANOVA) para evaluar el efecto de la concentración de paratión metílico, el nivel del alimento algal y su interacción. El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete SPSS Statistics versión 27.0 para Windows. Los resultados se interpretaron de acuerdo con los siguientes niveles de significancia:  $p < 0.01$  (\*\*),  $p < 0.001$  (\*) y ns = no significativo ( $p > 0.05$ ).

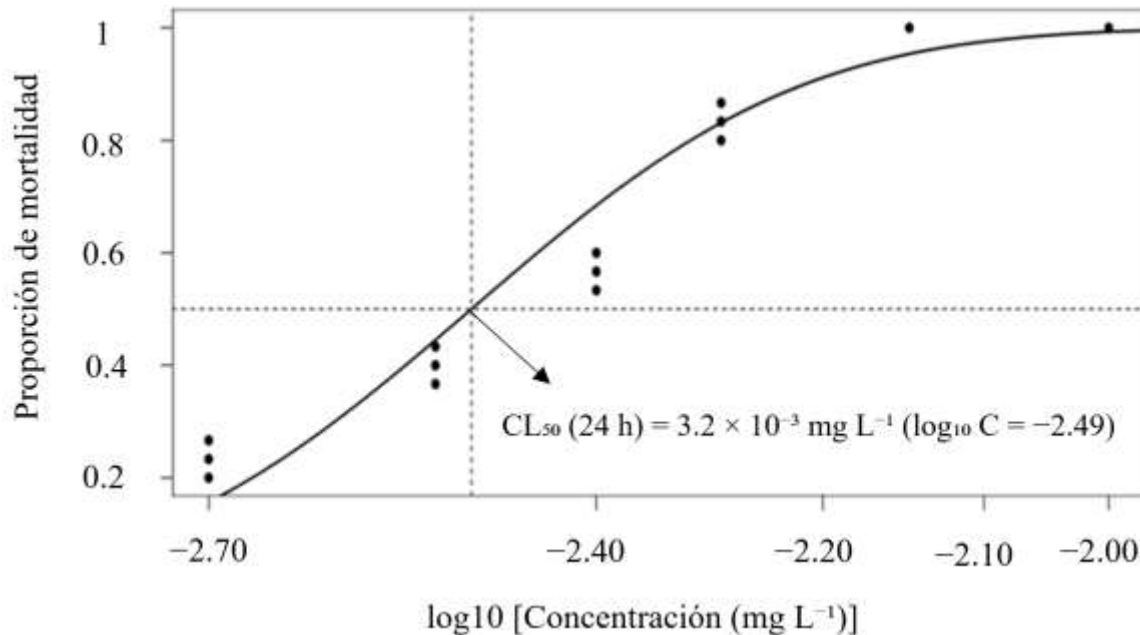
## **III. Resultados y discusión**

### **Toxicidad aguda y estimación de la $CL_{50}$**

La mortalidad de *M. macrocopa* expuesta durante 24 h a paratión metílico mostró una respuesta dosis-dependiente clara. El análisis Probit (método de Kepler-Meller) permitió estimar una concentración letal media ( $CL_{50}$ ) de  $3.20 \times 10^{-3} \text{ mg L}^{-1}$  ( $\log_{10} C = -2.49$ ), con un intervalo de confianza al 95% de  $3.81 \times 10^{-4}$  a  $1.50 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$  ( $\log_{10} [C (\text{mg L}^{-1})] = -3.42$  a  $-1.82$ ) (Figura 1), en ausencia de alimento. La curva dosis-respuesta evidenció un incremento progresivo de la mortalidad a partir de la concentración

mínima evaluada ( $0.002 \text{ mg L}^{-1}$ ;  $\log_{10} = -2.70$ ), aumentando conforme se incrementa la concentración, hasta alcanzar mortalidad total en concentraciones superiores al rango subletal evaluado. La curva dosis–respuesta evidenció un incremento progresivo de la

mortalidad a partir de la concentración mínima evaluada ( $0.002 \text{ mg L}^{-1}$ ;  $\log_{10} C = -2.70$ ), incrementándose conforme aumenta la concentración, hasta alcanzar mortalidad total en niveles superiores al rango subletal analizado.



**Figura 1.** Curva dosis–respuesta (24 h) de *M. macrocopa* expuesta a paratión metílico.

La curva indica una respuesta dosis-dependiente consistente con un modelo sigmoideo típico de compuestos organofosforados evaluados en crustáceos zooplanctónicos ( $p < 0.001$ ). La estimación de  $CL_{50}$  es congruente con observaciones de toxicidad de paratión y otros insecticidas organofosforados en zooplankton y microinvertebrados acuáticos (Van Dijk et al., 2013; Suzuki et al., 2024), donde valores agudos también caen en rangos de órdenes de magnitud similares dependiendo de la especie (rotíferos o crustáceos).

### Ensayo crónico y efectos sobre la historia de vida

Las variables de historia de vida de *M. macrocopa* alimentadas con  $A = 0.5 \times 10^6$  y  $B = 1.5 \times 10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$  de *C. vulgaris*

fueron significativamente afectadas tanto por la concentración de paratión metílico como por la densidad algal (Tabla 1). El análisis de varianza de dos vías mostró que el nivel de alimento tuvo un efecto altamente significativo ( $p < 0.001$ ) sobre el promedio de vida, la esperanza de vida ( $e_x$ ), la tasa reproductiva bruta, el tiempo generacional ( $T$ ) y la tasa intrínseca de crecimiento poblacional ( $r$ ). Para la tasa reproductiva neta ( $R_0$ ), el efecto fue significativo ( $p < 0.01$ ). Por su parte, el paratión metílico afectó de manera significativa todas las variables evaluadas ( $p < 0.001$ ). La interacción entre la concentración paratión metílico y el nivel de alimento resultó significativa únicamente para el tiempo generacional ( $T$ ) y la tasa de crecimiento poblacional ( $r$ ) ( $p < 0.001$ ).

**Tabla 1.** Resultados del análisis de varianza de dos vías (ANOVA) de la tabla de vida de *M. macrocopa* en relación con el nivel del alimento algal y niveles de paratión metílico.

Variables	gl	SC	CM	F
<b>Esperanza de vida</b>				
Nivel de alimento (A)	1	57.602	57.60	34.76***
Paratión metílico (B)	4	210.054	52.51	31.69***
Interacción A x B	4	15.584	3.90	2.35 <sup>ns</sup>
Error	20	33.141	1.66	
<b>Tasa reproductiva bruta</b>				
Nivel de alimento (A)	1	3822.180	3822.18	14.84***
Paratión metílico (B)	4	19936.883	4984.22	19.35***
Interacción A x B	4	3105.539	776.38	3.01 <sup>ns</sup>
Error	20	5152.098	257.60	
<b>Tasa reproductiva neta</b>				
Nivel de alimento (A)	1	352.035	352.04	13.54**
Paratión metílico (B)	4	2579.099	644.77	24.81***
Interacción A x B	4	201.822	50.46	1.94 <sup>ns</sup>
Error	20	519.833	25.99	
<b>Tiempo generacional</b>				
Nivel de alimento (A)	1	93.029	93.03	167.55***
Paratión metílico (B)	4	313.734	78.43	141.26***
Interacción A x B	4	84.605	21.15	38.10***
Error	20	11.104	0.56	
<b>Tasa de crecimiento</b>				
Nivel de alimento (A)	1	0.131	0.13	20.58***
Paratión metílico (B)	4	0.841	0.21	32.89***
Interacción A x B	4	0.208	0.05	8.14***
Error	20	0.128	0.01	

\*\* =  $p < 0.01$ ; \*\*\* =  $p < 0.001$ ; ns = no significativo ( $p > 0.05$ ). gl= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; CM= cuadrado medio; F= estadístico F.

El promedio de esperanza de vida ( $e_x$ ) más alto ( $8.65 \pm 0.83$  días) se registró a una densidad algal de  $A = 0.5 \times 10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$  y una concentración de  $0.002 \text{ mg L}^{-1}$  de paratión metílico, mientras que el valor más bajo ( $1.32 \pm 0.13$  días) se observó en  $B = 1.5 \times 10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$  y  $0.005 \text{ mg L}^{-1}$  paratión metílico (Tabla 2).

En estudios recientes relacionados con paratión metílico se observó que a mayores concentraciones de alimento se reduce el efecto toxico en rotíferos pero se desconoce en cladóceros, lo cual es interesante dado

que estudios previos en rotíferos señalaron un efecto modulador del alimento sobre la toxicidad de paratión metílico cuando este se proporcionaba en rangos más altos ( $3-6 \times 10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$ ), mitigando parcialmente los efectos tóxicos y favoreciendo la supervivencia y reproducción en *C. vulgaris* (Ghosh et al., 2023; Pilotto et al., 2025). Sin embargo, Sarma & Fernández-Araiza (1999) encontraron que las concentraciones de paratión metílico cercanas a la  $CL_{50}$ , no hay ninguna reducción de la toxicidad, como se observó en el presente ensayo.

**Tabla 2.** Tabla de vida de *M. macrocopa* en relación con la densidad de alimento y niveles de paratión metílico.

Paratión metílico [mg L <sup>-1</sup> ]	N	Variables de tabla de vida					
		A	e <sub>x</sub>	GR	R <sub>0</sub>	T	r
0.00 (Control)	A		9.63 ± 0.71 <sup>a</sup>	70.34 ± 16.72 <sup>a</sup>	24.31 ± 4.23 <sup>a</sup>	9.15 ± 0.88 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.03 <sup>a</sup>
	B		8.6 ± 1.10 <sup>a</sup>	60.84 ± 18.52 <sup>a,b</sup>	22.36 ± 5.40 <sup>a</sup>	8.15 ± 0.75 <sup>a</sup>	0.45 ± 0.02 <sup>a</sup>
0.002	A		8.65 ± 0.83 <sup>a</sup>	63.26 ± 5.83 <sup>a,b</sup>	23.0 ± 4.30 <sup>a</sup>	8.86 ± 0.34 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.02 <sup>a</sup>
	B		4.53 ± 0.82 <sup>c</sup>	45.70 ± 6.50 <sup>b</sup>	14.15 ± 0.84 <sup>b</sup>	6.97 ± 0.38 <sup>b</sup>	0.41 ± 0.02 <sup>a</sup>
0.003	A		5.71 ± 0.34 <sup>b</sup>	57.89 ± 5.41 <sup>b</sup>	12.98 ± 0.87 <sup>c</sup>	9.04 ± 0.23 <sup>a</sup>	0.33 ± 0.02 <sup>b</sup>
	B		1.69 ± 0.1 <sup>e</sup>	-	-	-	-
0.004	A		4.79 ± 1.23 <sup>b,c</sup>	22.29 ± 11.43 <sup>c</sup>	6.14 ± 4.37 <sup>d</sup>	5.62 ± 0.43 <sup>c</sup>	0.25 ± 0.14 <sup>c</sup>
	B		1.39 ± 0.12 <sup>f</sup>	-	-	-	-
0.005	A		2.32 ± 0.18 <sup>d</sup>	-	-	-	-
	B		1.32 ± 0.13 <sup>f</sup>	-	-	-	-

NA= Nivel alimenticio; e<sub>x</sub> = Esperanza de vida (días); GR = Tasa reproductiva bruta; R<sub>0</sub> = Tasa reproductiva neta; T = tiempo generacional (días); r = tasa de crecimiento poblacional. Los valores representan media ± error estándar. Las letras diferentes en la columna indican diferencias significativas entre la concentración de alimento y paratión metílico acorde a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). A y B. Dos niveles de alimento algal (A=  $0.5 \times 10^6$  y B=  $1.5 \times 10^6$  células mL<sup>-1</sup> de *C. vulgaris*).

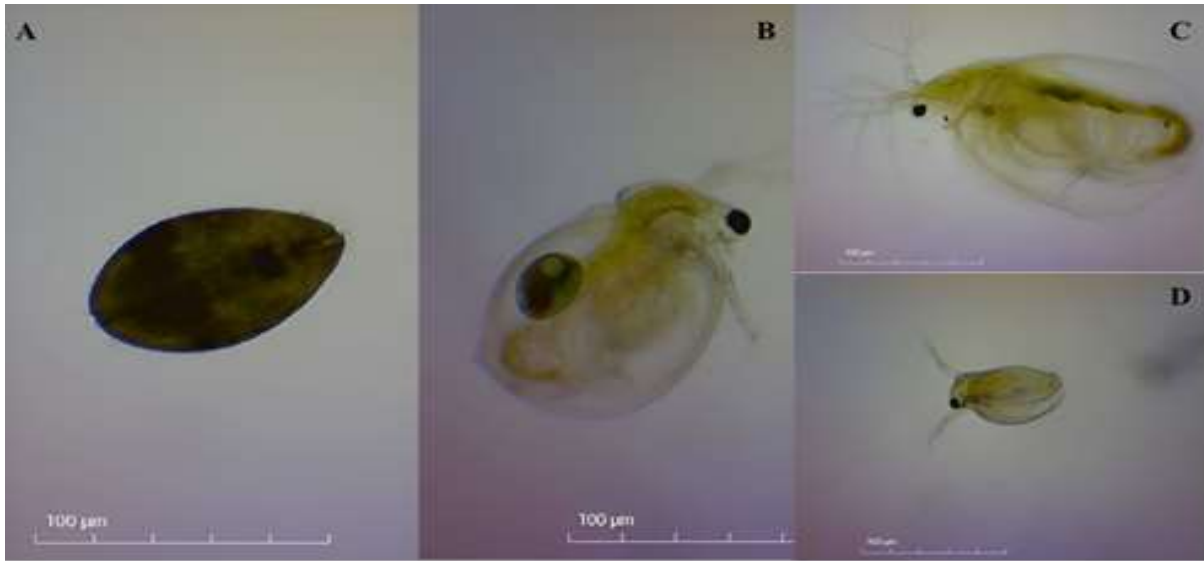
La tasa reproductiva bruta (GR) alcanzó su valor máximo ( $63.26 \pm 5.83$  huevos hembra<sup>-1</sup>) a  $0.5 \times 10^6$  células mL<sup>-1</sup> y concentraciones de paratión metílico a partir de 0.003 mg L<sup>-1</sup>. Los valores más altos de la tasa reproductiva neta (R<sub>0</sub>) oscilaron entre  $23 \pm 4.30$  y  $6.14 \pm 4.37$  huevos hembra<sup>-1</sup> bajo la misma densidad algal. El tiempo generacional (T) más corto ( $5.62 \pm 1.43$  días) se observó a  $0.5 \times 10^6$  células mL<sup>-1</sup> y la concentración más alta paratión metílico. La tasa de crecimiento poblacional (r) fue máxima ( $0.43 \pm 0.02$  día<sup>-1</sup>) a 0.002 mg L<sup>-1</sup> y disminuyó conforme aumentó la concentración del paratión metílico.

Se ha reportado que al aumentar la concentración de alimento algal ( $1-3 \times 10^6$  células mL<sup>-1</sup> de *C. vulgaris*), disminuye el efecto tóxico del DDT para *Brachionus patulus* (rotífero) (Sarma, 1998; Sarma & Fernández-Araiza, 1999). Mangas-Ramírez et al. (2000 y 2001) reportaron la importancia de la concentración del alimento en la reducción de la toxicidad de cloruro de amonio en *M. macrocopa* y *Ceriodaphnia dubia*. En el presente estudio se observó que las concentraciones de alimento no reducen el efecto tóxico del paratión metílico en *M.*

*macrocopa*. Es posible que el paratión metílico sea absorbido vía dérmica y de manera rápida, por lo que el tóxico actúa de manera directa sobre la especie al no existir una interacción entre el alimento y las concentraciones estudiadas (Cameán & Repetto, 2006). Resultados similares ha reportado Sarma y Nandini (2001) y Cao et al. (2022).

Los resultados aquí presentados se alinean con el enfoque actual en ecotoxicología de considerar respuestas de historia de vida y subletales para evaluar riesgos ambientales de contaminantes orgánicos, ya que efectos agudos (CL<sub>50</sub>) no siempre representan completamente el impacto potencial sobre poblaciones a largo plazo (Schultz et al., 2024).

En el contexto del ensayo crónico y efectos sobre la historia de vida permite visualizar los cambios morfológicos asociados con la toxicidad subletal (Figura 2). Las imágenes muestran organismos del grupo control y del grupo expuesto al insecticida, evidenciando cambios morfológicos asociados con estrés fisiológico.



**Figura 2.** Microfotografías de *Moina macrocopa*: (A y B) Individuo control con morfología típica; (C–D) Individuo expuesto a paratión metálico mostrando alteraciones internas.

El panel (A) corresponde a un organismo no expuesto al paratión metálico, alimentado con algas. El individuo muestra una morfología típica y bien conservada: cuerpo ovalado, turgente, con coloración interna homogénea y sin signos evidentes de estrés fisiológico. La integridad del caparazón y la ausencia de deformaciones sugieren condiciones ambientales favorables y un estado fisiológico normal. El panel (B) representa un individuo control en estado reproductivo, donde se observa claramente la cámara incubadora con huevos/embriones bien definidos. La transparencia del cuerpo, la organización interna normal y la adecuada turgencia corporal son consistentes con altos valores de supervivencia y parámetros reproductivos observados en los tratamientos sin paratión metálico. En contraste, el panel (C) corresponde a un organismo expuesto a paratión metálico en concentración subletal de  $0.002 \text{ mg L}^{-1}$ . Se aprecian cambios morfológicos evidentes, como alteración en la coloración interna (tonos amarillentos más intensos), posible reducción de la turgencia corporal y menor definición de estructuras internas. Estos rasgos son indicativos de estrés fisiológico crónico y concuerdan con la disminución de la esperanza de vida y de

las tasas reproductivas observadas en los análisis demográficos (Tabla 2). Por último, podemos observar el panel (D), que muestra un individuo de menor tamaño corporal y con menor actividad antenal aparente, rasgos compatibles con exposición prolongada al insecticida. La reducción del tamaño corporal observada sugiere un compromiso energético y fisiológico en *M. macrocopa*, el cual se refleja en la disminución del tiempo de vida, el alargamiento del tiempo generacional y la reducción de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional ( $r$ ) registrados en los tratamientos expuestos a paratión metálico. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Haddapitiye (2003) quien documentó de manera explícita los efectos del paratión metálico en *M. macrocopa* mediante estudios demográficos basados en tablas de vida, evidenciando reducciones significativas en la supervivencia, la reproducción y la tasa de crecimiento poblacional tras la exposición al contaminante. De manera similar, Mangas-Ramírez et al. (2004) señalaron que tanto el cadmio como el paratión metálico provocan alteraciones importantes en los parámetros demográficos y de crecimiento poblacional de *M. macrocopa*, particularmente en

concentraciones cercanas a la letal media. No obstante, en tratamientos con concentraciones subletales y dependiendo del nivel de alimento disponible, algunos organismos mostraron cierto grado de recuperación fisiológica. Asimismo, Chuah et al. (2007) reportaron que los organismos control presentaron valores normales de supervivencia y reproducción, con una esperanza de vida promedio entre 10 y 11 días bajo condiciones favorables de alimentación, mientras que la exposición a contaminantes redujo considerablemente estos parámetros biológicos.

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con lo reportado en la literatura sobre la alta toxicidad del paratión metílico en organismos cladoceros. Por ejemplo, Cáceres et al. (2019) reportaron valores de  $CL_{50}$  para *Daphnia carinata* en un rango de 2.29–2.57  $\mu\text{g L}^{-1}$ , equivalente aproximadamente a 0.00229–0.00257  $\text{mg L}^{-1}$ , lo que resulta comparable con los valores obtenidos en el presente estudio. Esta similitud sugiere una respuesta toxicológica consistente entre distintos modelos de cladóceros expuestos a insecticidas organofosforados. La toxicidad observada se atribuye principalmente a la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa, lo cual provoca la acumulación de acetilcolina en el sistema nervioso y conduce a la disfunción neuromuscular y la mortalidad. Asimismo, se ha documentado que la sensibilidad a estos compuestos puede variar entre especies debido a diferencias en mecanismos fisiológicos y metabólicos, lo que resalta la importancia de utilizar organismos modelo adecuados (Borase et al., 2021). En conjunto, estos resultados refuerzan la validez de los ensayos realizados y evidencian el impacto potencial de estos compuestos en organismos acuáticos, incluso a concentraciones relativamente bajas, lo que refuerza la necesidad de integrar enfoques de toxicidad

aguda y crónica para la evaluación de riesgos ambientales contemporáneos y comprender plenamente el impacto ecológico de estos compuestos en los cuerpos de agua dulce (Chen et al., 2023).

#### IV. Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que *M. macrocopa* es un organismo altamente sensible a la exposición al insecticida organofosforado paratión metílico, tanto en ensayos agudos como crónicos, confirmando su idoneidad como bioindicador en evaluaciones ecotoxicológicas de ecosistemas de agua dulce.

La baja concentración letal media ( $CL_{50}$ ) a las 24 h de  $3.20 \times 10^{-3} \text{ mg L}^{-1}$  ( $\log_{10} C = -2.49$ ) confirma el elevado potencial tóxico de este insecticida organofosforado sobre organismos zooplanctónicos de agua dulce, resaltando la importancia de considerar sus efectos ecotoxicológicos en la evaluación del riesgo ambiental.

En los ensayos crónicos, incluso a concentraciones subletales bajas, se observaron efectos adversos significativos sobre las variables de historia de vida de *M. macrocopa*, incluyendo disminuciones en la supervivencia, la fecundidad y la tasa intrínseca de crecimiento poblacional, así como alteraciones en la longevidad y el desempeño reproductivo. Estos hallazgos evidencian el impacto fisiológico y demográfico del paratión metílico sobre organismos no objetivo y aportan información relevante porque ponen en riesgo la estructura y el equilibrio ecológico, conllevando al fragmento de hábitats asociado al uso de plaguicidas organofosforados. En conjunto, los resultados refuerzan la necesidad de adoptar estrategias regulatorias y de manejo ambiental que consideren los efectos

subletales de estos compuestos sobre organismos acuáticos de agua dulce.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113134>

## V. Referencias

- Arias-Castro E., Castrejón-Godínez M. L., Mussali-Galante P., Tovar-Sánchez, E., & Rodríguez, A. (2025). Pesticides degradation through microorganisms immobilized on agro-industrial waste: a promising approach for their elimination from aquatic environments. *Processes*, 13(4), 1073.
- Borase H. P., Muley A. B., Patil S. V., & Singhal R. S. (2021). Enzymatic response of *Moina macrocopa* to different sized zinc oxide particles: an aquatic metal toxicology study. *Environmental research*, 194, 110609.
- Borowitzka, M. A., & Borowitzka, L. J. (1988). *Micro-algal biotechnology*. Cambridge University Press. 315 p.
- Cáceres T., Venkateswarlu K., & Megharaj M. (2019). Acute toxicity of the insecticide methyl parathion and its hydrolytic product *p*-nitrophenol to the native Australian cladoceran *Daphnia carinata*. *Ecotoxicology*, 28, 680-685. <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02064-8>
- Cameán, A. M., & Repetto, M. (2006). *Toxicología alimentaria* (pp. 705-705). Ediciones Díaz de Santos.
- Cao, S., Liu, Z., Zhou, B., Jiang, Y., Xu, M., & Wang, Y. (2022). Post-ecological effect and risk assessment of using modified clay in harmful algal bloom mitigation: An attempt based on the responses of zooplankton *Brachionus plicatilis* and bivalve *Mytilus edulis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 230, 113134.
- Chen, T., Chen Chen, H., Wang, A., Yao, W., Xu, Z., Wang, B., & Wu, Y. (2023). Methyl parathion exposure induces development toxicity and cardiotoxicity in zebrafish embryos. *Toxics*, 11 (1): 84. <https://doi.org/10.3390/toxics11010084>
- Chuah T. S., Loh J. Y., & Hii Y. S. (2007). Acute and chronic effects of the insecticide-endosulfan on freshwater cladoceran, *Moina macrocopa* Straus. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 79(5), 557-561.
- Fernández-Casalderrey, A., Ferrando, M. D., & Andreu-Moliner, E. (1992). Acute toxicity of pesticides to rotifers. (*Brachionus calyciflorus*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 48, 14-17. <https://doi.org/10.1007/BF00197477>
- Finney, D. J. (1971). *Probit analysis* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Ghosh, T. S., Rana, S., Pal, P., & Mallick, B. (2023). Herbicidal impacts on freshwater zooplankton. *International Journal of Advanced Research Trends in Science*, 2, 36-41. <https://doi.org/10.70035/ijarts.2023.2136-41>
- Gobierno de México. *Gobierno de México*. Gobierno de México, <https://www.gob.mx>. Consultado el 18 mayo 2026.
- González, Y. A. (1998). *El plancton de las aguas continentales*. Secretaría General de la OEA, Washington, D.C. USA. Monografía. No. 33. Pp.130

- Goulden, C. E. (1968). The systematics and evolution of the Moinidae. *Transactions of the American Philosophical Society*, 58, 1–101. <https://doi.org/10.2307/1006102>
- Goździejewska, A. M., Cymes, I., & Glińska-Lewczuk, K. (2024). Zooplankton functional diversity as a bioindicator of freshwater ecosystem health across land use gradient. *Scientific Reports*, 14, 18456. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69577-z>
- Haddapitiye, M. T. R. S. (2003). Recovery patterns of *Moina macrocopa* exposed previously to different concentrations of cadmium and methyl parathion: Life-table demography and population growth studies [Doctoral dissertation, University of Peradeniya]. <https://sucra.repo.nii.ac.jp/record/2000554/>
- Hernández-Zamora, M., Rodríguez-Miguel, A., Martínez-Jerónimo, L., & Martínez-Jerónimo, F. (2023). Combined toxicity of glyphosate (Faena®) and copper to the American cladoceran *Daphnia exilis*—A two-generation analysis. *Water*, 15(11), 2018.
- Iannacone J. A., & Alvarino, L. (2002). Efecto del detergente doméstico alquil aril sulfonato de sodio lineal (LAS) sobre la mortalidad de tres caracoles dulceacuícolas en el Perú. *Ecologia Aplicada*, 1(2), 81–87. <https://doi.org/10.21704/rea.v1i1-2.234>
- Iannacone J. A., Salazar, C. N., & Alvarino, L. (2003). Variabilidad del ensayo ecotoxicológico con *Chironomus calligraphus* goeldi (Diptera: Chironomidae) para evaluar cadmio, mercurio y plomo. *Ecologia Aplicada*, 2(1), 103–110.
- Krebs, C. J. (1985). *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance* (3rd ed.). Harper & Row.
- Mangas-Ramírez E., Sarma, S.S.S., & Nandini S. (2004). Recovery patterns of *Moina macrocopa* exposed previously to different concentrations of cadmium and methyl parathion: life-table demography and population growth studies. *Hydrobiologia*, 526(1), 255-265.
- Mangas-Ramirez, E., Sarma, S. S. S. & Nandini, S. (2001). Acute and chronic toxicity of ammonium chloride to the cladoceran *Daphnia pulex* in relation to algal food density. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 67(6), 834-40. <https://doi.org/10.1007/s001280198>.
- Mangas-Ramirez, E., Sarma, S. S. S., & Nandini S. (2000). Effect of ammonium chloride and algal food density (*Chlorella vulgaris*) on the life table demography of the cladoceran *Moina macrocopa*. p 134-35. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara. 147 p.
- Marcelino, C. N., Brandão, L. F., Correia, C. D. M., Ferreira, A. C., Petsch, D. K., & Portinho, J. L. (2025). Quantification and analysis of emerging threats studies on freshwater zooplankton (Copepoda, Cladocera and Rotifera) in Brazil from 2014 to 2023. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 37, e30. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X1525>

- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona, España 1010 pp
- Nandini, S., & Sarma, S. S. S. (2019). Reproductive strategies of *Moina* (Cladocera) in relation to food type and concentration. *Hydrobiology*, 847, 1599-1612.
- Nandini, S., & Sarma, S. S. S. (2022). Competition between *Moina macrocopa* and *Ceriodaphnia dubia* a life table demography study. *Hydrobiology*, 87(1), 85-95. [https://doi.org/10.1002/1522-2632\(200201\)87:1<85::AID-IROH85>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/1522-2632(200201)87:1<85::AID-IROH85>3.0.CO;2-D)
- OECD. (1984). *Test No. 202: Daphnia sp. Acute immobilisation test*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Patel, R. K., Singh, P., Pandey, R., Mishra, S., Soni, S. K., & Patel, B. (2021). Impact of methyl parathion organophosphate pesticides residues on human health and environment as toxicological outcome.
- Pilotto, F., Golovko, O., & Hultberg, M. (2025). Water quality and pesticide contamination in agricultural streams: assessing white-rot fungi and biochar treatments as remediation strategies. *Journal of Environmental Management*, 394, 127282. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127282>
- Robles, V. E. (1998). Contaminación química del agua, Memorias. Hacia una renovación ambiental en México. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca.
- Rojas, F. (1991). Breviario de términos y conceptos sobre ecología y protección ambiental. 2ª Edición. México. 324 pp
- Sarma S. S., & Nandini, S. (2001). Lifetable demography and population growth of *Brachionus variabilis* Hempel, 1896 in relation to *Chlorella vulgaris* densities. *Hydrobiology*, 446 (447), 75-83. <https://doi.org/10.1023/A:1017577206815>
- Sarma, S. S. S, Nandini S., & Fernández-Araiza, M. A. (1998). Effect of methyl parathion-treated prey (*Brachionus calyciflorus*) on the population growth of the predator *Asplanchna sieboldi* (Rotifera). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61(1), 135-142.
- Sarma, S. S. S., & Nandini, S. (2026). Rotifers as environmental indicators: perspectives based on sampling strategies. *Inland Waters*, 1-48. <https://doi.org/10.1080/20442041.2025.2606343>
- Sarma, S. S. S., Gama-Flores, J. L., & Fernández-Araiza, M. A. (1999). Combined Effects of *Chlorella* Density and Methyl Parathion Concentration on the Population Growth of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 62(6), 115-121.
- Schultz, A., Owens, J., Demidenko, E., & Roy Chowdhury, P. (2024). Differential Toxicity of Arsenic in *Daphnia pulex* Under Phosphorus and Food Limitation. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 43(8), 1807–1819. <https://doi.org/10.1002/etc.5901>

Suzuki, H., Makino, W., Takahashi, S., & Urabe, J. (2024). Assessment of toxic effects of imidacloprid on freshwater zooplankton: An experimental test for 27 species. *Science of the Total Environment*, 927, 172378. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172378>

US EPA. (2002a). *Methods for measuring the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms*. United States Environmental Protection Agency.

Van Dijk, T. C., Van Staalduinen, M. A., & Van der Sluijs, J. P. (2013). Macro-invertebrate decline in surface water polluted with imidacloprid. *PloS one*, 8(5), e62374. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062374>

Weber, C. I. (1991). *Methods for measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms*. Receiving waters to freshwater and marine organisms. Washington, DC: Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 197 p.



## Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: [www.riit.com.mx](http://www.riit.com.mx)

### Sistema de compostaje Johnson-Su como estrategia de gestión sustentable de residuos orgánicos en zonas forestales

### Johnson-Su composting system as a sustainable organic waste management strategy in forested ecosystems

Nájera-Luna, J.A.<sup>1\*</sup>, Esquivel-Delgado, T.V.<sup>1</sup>, Díaz-Ramírez, B.<sup>1</sup>, Méndez-González, J.<sup>2</sup>, Meza-López, P.<sup>1</sup>, Rascón-Solano, J.<sup>3</sup>, Luna-Robles, E.O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de El Salto (TecNM-ITES). Calle Tecnológico No. 101. Colonia La Forestal, C.P. 34942. El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3989-3323>\*, <https://orcid.org/0009-0006-7510-0331>, <https://orcid.org/0009-0006-3768-5746>, <https://orcid.org/0000-0003-4963-0874>, <https://orcid.org/0000-0001-5133-0403>

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento Forestal. Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315 Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6971-5018>.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Km 2.5 Carretera Delicias-Rosales, Campus Delicias, CP. 33000. Delicias, Chihuahua, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2541-4176>.

[juan.nl@salto.tecnm.mx](mailto:juan.nl@salto.tecnm.mx)\*; [violetaesquivel759@gmail.com](mailto:violetaesquivel759@gmail.com); [beatriz.dr@salto.tecnm.mx](mailto:beatriz.dr@salto.tecnm.mx); [jmendezg@hotmail.com](mailto:jmendezg@hotmail.com); [pettermezza@itelsalto.edu.mx](mailto:pettermezza@itelsalto.edu.mx); [jsolano@uach.mx](mailto:jsolano@uach.mx); [eranroka@hotmail.com](mailto:eranroka@hotmail.com)

**Innovación Tecnológica:** Estrategia para la gestión sustentable de residuos orgánicos.

**Aplicación empresarial:** Sistemas de compostaje pasivo.

Recibido: 13 enero 2026

Aceptado: 09 junio 2026

#### Abstract

The increasing accumulation of organic solid waste represents an environmental and social threat on a global scale due to its contribution to greenhouse gas emissions, pollution, and the loss of recoverable resources. This study evaluated four composting bioreactor configurations based on the Johnson-Su system, installed at the Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, to process domestic and agroforestry organic residues generated in the region. Temperature, moisture, and pH were monitored for six months. At the end of the process, the resulting materials were chemically characterized, and the applicable parameters were compared with the values established in the NMX-AA-180-SCFI-2018 standard. The results showed high organic matter and nutrient contents; however, differences among configurations were also identified in variables associated with salinity, sodicity and nitrogen conservation. The bioreactor R3 showed the most balanced chemical profile among the evaluated configurations. Overall, these bioreactors may contribute to the

regional valorization of organic waste, provided that the resulting materials are applied as organic amendments at controlled rates and under appropriate technical criteria.

**Keywords:** Agroforestry residue valorization, passive aeration, nutrient recovery, salinity, sodicity.

## Resumen

La creciente acumulación de residuos sólidos orgánicos representa una amenaza ambiental y social a escala global debido a su contribución como emisores de gases de efecto invernadero, contaminación y pérdida de recursos aprovechables. El presente estudio evaluó exploratoriamente cuatro configuraciones de biorreactores de compostaje basadas en el sistema Johnson-Su, instaladas en el Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, para procesar residuos orgánicos domésticos y agroforestales generados en la región. Se monitorearon la temperatura, la humedad y el pH durante seis meses. Al final del proceso, los materiales obtenidos se caracterizaron químicamente y los parámetros aplicables se compararon con los valores establecidos en la NMX-AA-180-SCFI-2018. Los resultados mostraron contenidos elevados de materia orgánica y nutrientes; sin embargo, también se identificaron diferencias entre configuraciones en variables asociadas con salinidad, sodicidad y conservación del nitrógeno. El biorreactor R3 presentó el perfil químico más equilibrado entre las modalidades evaluadas. En conjunto, estos biorreactores pueden contribuir al aprovechamiento regional de residuos orgánicos, siempre que los materiales obtenidos se utilicen como enmiendas orgánicas en dosis controladas y bajo criterios técnicos de aplicación.

**Palabras clave:** Aprovechamiento de residuos agroforestales, aireación pasiva, recuperación de nutrientes, salinidad, sodicidad.

## 1. Introducción

En los últimos años la creciente acumulación de residuos sólidos a nivel global se considera una amenaza crítica para la integridad de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades [1], por lo que esta situación lejos de disminuir se ha estado intensificando de forma alarmante, ya que de acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [2], se prevé que la generación de residuos sólidos aumente de 2,100 millones de toneladas en el año 2023 a 3,800 en el año 2050.

Dentro de esta problemática, los residuos orgánicos representan cerca de la mitad de los desechos y cuando son gestionados de manera inadecuada contribuyen a la emisión de gases

de efecto invernadero, malos olores, contaminación de suelo y agua [3]; por lo que es necesario implementar estrategias sostenibles que permitan reducirlos en cantidad y al mismo tiempo, aprovecharlos de manera eficiente [4].

Existen diversas técnicas que permitan reducir, transformar y valorizar los residuos orgánicos en enmiendas para el suelo y convertir este problema ambiental en una oportunidad sostenible [5].

Dentro de esas técnicas, el compostaje surge como una alternativa sostenible para el manejo y aprovechamiento de los residuos orgánicos, dado que este proceso reduce significativamente su volumen y evita la

generación de metano asociado a la descomposición anaeróbica [6].

En este contexto, han surgido múltiples sistemas de compostaje y procedimientos de biodegradación diseñados para acelerar la transformación de los desechos orgánicos y obtener un producto final de alta calidad [7].

Uno de estos sistemas es el compostaje Johnson-Su, su diseño innovador opera sin volteos periódicos porque mantiene conductos de aireación pasiva, lo cual contribuye a evitar malos olores y conservar condiciones aeróbicas favorables para la actividad de los microorganismos involucrados en la descomposición [8].

La descomposición controlada de la materia orgánica produce un material que puede contribuir a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, incrementar su capacidad de retención de humedad, favorecer la estabilidad estructural y aportar nutrientes para las plantas [9].

Además, este tipo de compostaje se integra dentro de un modelo de economía circular, el cual busca cerrar ciclos biogeoquímicos mediante la incorporación de los residuos al sistema productivo, promoviendo el aprovechamiento eficiente de los recursos con una disminución del impacto ambiental [10].

En la región forestal de El Salto, Durango, se generan residuos orgánicos provenientes de las actividades industriales, agropecuarias y domésticas cuyo destino final generalmente es el relleno sanitario o la incineración [11]; sin embargo, una proporción de estos residuos pueden canalizarse a procesos de compostaje para disminuir su disposición final y recuperar nutrientes.

El objetivo del estudio fue evaluar el desempeño de cuatro configuraciones de biorreactores de compostaje tipo Johnson-Su

para el aprovechamiento de residuos orgánicos domésticos y agroforestales generados en la región de El Salto, Durango, mediante el monitoreo de temperatura, humedad y pH durante seis meses, así como la caracterización química del material obtenido y la comparación de los parámetros aplicables con los valores establecidos en la NMX-AA-180-SCFI-2018.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1. Área de estudio**

El trabajo se realizó en el vivero del Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), localizado en la calle Tecnológico No. 101, Colonia La Forestal, C.P. 34942, El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, en el sistema montañoso denominado Sierra Madre Occidental, cuya vegetación principal está compuesta por bosques de coníferas, presenta un clima predominantemente templado subhúmedo, con lluvias concentradas en verano. La precipitación media anual es cercana a 1 200 mm, principalmente entre junio y septiembre. Debido a su ubicación en la Sierra Madre Occidental y a su elevada altitud, la región presenta inviernos fríos, heladas frecuentes y nevadas ocasionales [12].

### **2.2. Diseño y construcción de los biorreactores**

Se instalaron cuatro biorreactores verticales de compostaje Johnson-Su contruidos de malla alambrada electrosoldada de 6x6 pulgadas, calibre 4, para crear la jaula o contenedor. El interior se forró con tela malla sombra al 95% y se sujetó con alambre recocido para mantener la estabilidad de la estructura. Cada estructura tuvo 100 cm de diámetro y 150 cm de alto con una capacidad aproximada de un metro cúbico. En su construcción se usaron materiales reciclados, recuperados o reacondicionados cuando fue posible conforme a los principios de la economía circular (Figura 1).

El primer biorreactor (R1) consideró la configuración de referencia porque reprodujo el diseño convencional descrito por Johnson y DeSimio [13]: una estructura montada sobre una tarima de madera sobre la cual va apoyada en una base de triplay con seis orificios de 4 pulgadas donde se insertan seis tubos de PVC de 2.0 metros de longitud, uno central y cinco distribuidos concéntricamente a  $72^\circ$ . Después del llenado, los tubos se retiran para formar conductos internos de aireación pasiva. Para reducir la pérdida de humedad periférica, el biorreactor (R2) incorporó una modificación, donde solo se agregó una capa de cartón de 2 cm en el interior de la malla. Por lo demás, mantuvo el diseño y la operatividad pasiva del R1.

El biorreactor R3 incluyó la capa de cartón del R2 y presentó dos modificaciones clave: 1) se

instaló en contacto directo con el suelo, eliminando la tarima y la base de triplay, y 2) el sistema de aireación se simplificó a un solo tubo de PVC de 4 pulgadas en el centro. La operación se mantuvo pasiva.

El biorreactor R4 mantuvo la capa de cartón y el contacto directo con el suelo, pero no incluyó conductos internos de aireación. En su lugar, se aplicó un protocolo de volteo manual progresivamente menos frecuente: de tres a cuatro volteos durante la primera semana a un volteo a partir de la sexta semana. Por esta razón, R4 se interpretó como una variante comparativa con aireación mecánica y no como un biorreactor Johnson-Su convencional (Tabla 1). El monitoreo se realizó de junio a diciembre de 2025.

**Tabla 1.** Configuraciones comparativas de los biorreactores evaluados.

Configuración	Referencia Johnson-Su	Tarima y base	Cartón interior	Conductos de aireación	Contacto con suelo	Manejo
R1	Sí	Sí	No	Seis	No	Pasivo
R2	No	Sí	Sí	Seis	No	Pasivo
R3	No	No	Sí	Uno central	Sí	Pasivo
R4	No	No	Sí	Ninguno	Sí	Volteo manual



**Figura 1.** Elaboración de biorreactores.

### 2.3. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos

Para conocer el comportamiento térmico del proceso de compostaje por biorreactor, se monitoreó la temperatura; mientras que la humedad y el pH se midieron como control del proceso, las mediciones de estas variables se realizaron utilizando un medidor digital portátil de suelo con doble sonda (YIERYI, modelo SGS07, Shenzhen, China) que previamente fue contrastado con métodos de laboratorio mediante equipos calibrados y que se utilizó como medio comparativo entre los biorreactores evaluados. Las lecturas de temperatura, humedad y pH se obtuvieron cada tercer día en cuatro orientaciones (norte, sur, este y oeste) y tres alturas (30, 60 y 90 cm), para un máximo de doce lecturas por biorreactor en cada fecha (Figura 2). Esta frecuencia se seleccionó para caracterizar la tendencia general del proceso durante seis meses y reducir la perturbación física ocasionada por la inserción repetida del instrumento. Debido a que no se realizaron mediciones en distintos horarios del día, los resultados describen tendencias temporales generales y no variaciones diurnas.



Figura 2. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos.

### 2.4. Composición de la mezcla orgánica

El material orgánico utilizado se recolectó dentro del ITES y en la región de El Salto, Durango. La mezcla se integró con materiales

verdes considerados fuentes predominantes de nitrógeno y materiales marrones asociados con un mayor aporte de carbono. Los materiales verdes incluyeron estiércol de caballo, residuos de frutas y verduras y pasto recién cortado; los materiales marrones incluyeron aserrín degradado, hojarasca y podas secas. La relación C:N se estimó teóricamente a partir de valores de referencia reportados para materiales similares para ajustarla en una proporción entre 20:1 y 40:1 en función al peso y volumen de los materiales [14]. La humedad se mantuvo entre 60 y 70 % mediante la adición controlada de agua cuando fue necesario. De tal forma que por cada 100 kg de mezcla fresca se incorporaron aproximadamente 30 kg de estiércol de caballo, 13 kg de residuos de frutas y verduras, 13 kg de pasto recién cortado, 8 kg de aserrín degradado, 26 kg de hojarasca seca y 10 kg de podas secas trituradas.

### 2.5. Muestreo y análisis químico final

Después de seis meses de compostaje, se recolectó una muestra de material por cada biorreactor a partir de cinco submuestras de diferentes posiciones y profundidades que se mezclaron aplicando un cuarteo y separando una muestra final de aproximadamente 1 kg que se guardó en una bolsa hermética etiquetada para su envío al Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Planta de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Los parámetros analizados se compararon únicamente con los criterios aplicables de la NMX-AA-180-SCFI-2018 [15]. Los resultados corresponden a una muestra compuesta representativa por cada biorreactor; por lo tanto, se presentan descriptivamente y no incluyen desviación estándar al no contar con réplicas de cada biorreactor.

## 2.6. Análisis de datos

Con la información registrada de la temperatura, se organizó en una base de datos en Microsoft Excel para elaborar la gráfica de desempeño térmico del proceso de compostaje y determinar la variación de la actividad microbiana durante el periodo de monitoreo.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Comportamiento de la temperatura

Durante las primeras semanas de operación, los biorreactores presentaron un incremento rápido de la temperatura y superaron los 50 °C. Este comportamiento es consistente con una fase termófila asociada con una mayor actividad microbiana y con la degradación de compuestos fácilmente biodegradables [16, 17] (Figura 3).



**Figura 3.** Evolución temporal de la temperatura interna de los biorreactores.

En esta etapa, R4 (variante con volteo semanal) y R2 (configuración pasiva con cartón interior) mostraron los picos térmicos más altos. Las diferencias observadas podrían relacionarse con la aireación, la retención de humedad, el contacto con el suelo y el manejo aplicado. En contraste R1, a pesar de contar con un sistema de aireación pasiva más elaborado (seis tubos de PVC y base perforada), presentó un pico térmico ligeramente menor, lo que puede relacionarse con una aireación más homogénea y menos disruptiva, que evitó sobreoxigenaciones

puntuales y al mismo tiempo permitió una degradación más gradual. R3, con un solo conducto central y contacto directo con el suelo, mostró un ascenso más moderado. Estos patrones sugieren que la configuración estructural puede modificar la evolución térmica, aunque no permiten establecer relaciones causales concluyentes.

Después del pico inicial, las temperaturas descendieron y convergieron gradualmente hacia un intervalo aproximado de 15 a 25 °C, compatible con una etapa mesófila prolongada. R4 y R2 mantuvieron valores ligeramente superiores durante parte del seguimiento, lo que sugiere que el volteo mecánico y la entrada central de aire permitieron sostener la actividad microbiana por más tiempo.

En contraste, R3 y especialmente R1 mostraron temperaturas algo más bajas y estables durante parte del periodo de seguimiento. Esta respuesta podría asociarse con diferencias en el contacto con el suelo, la conservación de humedad y la aireación pasiva.

Hacia el final del monitoreo, los cuatro biorreactores presentaron una tendencia descendente y convergente, con temperaturas próximas a las condiciones ambientales. Este comportamiento es consistente con una etapa de estabilización o maduración, en la cual disminuye la disponibilidad de sustratos fácilmente degradables y predomina la transformación gradual de compuestos más recalcitrantes [17].

Aunque R4 mantuvo temperaturas ligeramente mayores durante parte del proceso, este patrón no se asoció de manera uniforme con concentraciones superiores de nutrientes. R1 presentó los mayores valores de materia orgánica y potasio total; R2 registró el contenido más alto de nitrógeno; y R4 mostró el mayor valor de fósforo. En consecuencia,

no se observó una fertilidad global superior atribuible a una sola configuración de los biorreactores. Los resultados sugieren perfiles químicos diferenciados que deben interpretarse de acuerdo con las propiedades del material y las necesidades del suelo [16].

### 3.2. Caracterización química final de los materiales compostados

Los resultados de laboratorio de las cuatro configuraciones de biorreactores Johnson-Su (R1, R2, R3, y R4) se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Propiedades químicas generales de los materiales compostados.

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3	R4
Materia orgánica		52	48	49	51
Nitrógeno total	%	1.20	2.80	2.10	0.98
Fósforo		3.60	3.71	3.01	3.81
Potasio		3.54	2.14	2.15	1.10
pH	-	8.13	7.99	7.74	8.45
Conductividad eléctrica	dS m <sup>-1</sup>	2.84	2.57	2.31	2.78
RAS	-	12.32	14.91	4.90	3.17
Micronutrientes disponibles en los materiales compostados					
Fe		350	190	180	240
Zn	ppm	80	10	50	10
Cu		150	90	70	10
Mn		160	70	120	160
Sales solubles determinadas en los materiales compostados					
Ca <sup>2+</sup>		1.01	0.99	0.78	1.08
Mg <sup>2+</sup>		2.06	1.40	1.48	1.15
Na <sup>+</sup>		15.26	16.30	5.22	3.35
K <sup>+</sup>	meq L <sup>-1</sup>	30.97	20.13	19.51	22.33
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		0.00	0.00	0.00	0.00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		1.08	0.72	1.26	0.90
Cl <sup>-</sup>		7.92	13.20	13.20	17.60
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		40.30	24.90	12.54	9.41

Los materiales obtenidos presentaron concentraciones elevadas de materia orgánica y nutrientes, lo que sugiere un potencial aprovechamiento agronómico. En particular, el contenido de materia orgánica varió entre 48 y 52 %, indicando una proporción considerable de compuestos orgánicos. Sin embargo, su aplicación debe definirse técnicamente, considerando de manera conjunta los indicadores de estabilidad y madurez, así como los posibles riesgos asociados con desbalances nutrimentales, sales solubles o sodio, antes de establecer el uso final del material [16].

El nitrógeno presentó variación entre configuraciones: R2 y R3 registraron los valores más altos (2.80 y 2.10 %), mientras que R1 y R4 mostraron concentraciones de 1.20 y 0.98 %. Estas diferencias podrían asociarse con la composición inicial de los materiales, la aireación y las pérdidas de nitrógeno durante el proceso [18].

Los valores observados sugieren que R2 y R3 tienen un mayor aporte potencial de nitrógeno; no obstante, su aplicación directa debe evitarse hasta definir dosis compatibles con el suelo y el cultivo.

El fósforo total fue elevado y relativamente homogéneo en los cuatro biorreactores (3.01 a 3.81 %), lo que confirma que este nutriente no es limitante. Sin embargo, la literatura advierte que concentraciones altas de fósforo en compostas pueden conducir a acumulación excesiva en el suelo y aumentar el riesgo de pérdidas por escorrentía, especialmente cuando se aplican de manera repetida [19].

El potasio, tanto total como soluble, presentó valores particularmente altos, destacando R1 por su elevada concentración y aunque es uno de los elementos más móviles y fácilmente liberables durante la descomposición de residuos orgánicos, su acumulación en biorreactores es esperable [20]. Si bien esto representa una ventaja para cultivos con alta demanda potásica, también contribuye de manera importante al incremento de la conductividad eléctrica del material.

Los micronutrientes disponibles (Fe, Zn, Cu y Mn) alcanzaron concentraciones muy elevadas en todos los biorreactores, particularmente en R1, donde Zn, Cu y Mn superaron ampliamente los rangos típicos de suelos agrícolas. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado en compostas concentradas, debido a la capacidad de la materia orgánica para retener metales [21].

Aunque las concentraciones registradas no permiten inferir por sí solas un riesgo inmediato, su aplicación debe realizarse de manera controlada. El uso reiterado o en dosis excesivas podría favorecer la acumulación progresiva de algunos elementos traza en el suelo, generar desequilibrios nutrimentales o afectar la disponibilidad de otros nutrientes debido a interacciones antagónicas entre iones. Por ello, estos materiales deben emplearse como enmiendas orgánicas dosificadas y mezcladas con el suelo, considerando previamente las características fisicoquímicas de la composta, los requerimientos del cultivo y el análisis de

fertilidad del suelo receptor, en lugar de utilizarse directamente como sustratos únicos de cultivo [22]. En este estudio, el término enmienda orgánica concentrada se refiere a un material con contenidos elevados de materia orgánica, nutrientes y sales solubles que no debe utilizarse como sustrato único de cultivo. Su uso requiere mezclarse con suelo, composta madura u otros sustratos, o aplicarse en dosis controladas y fraccionadas.

El pH de los biorreactores fue consistentemente alcalino (7.74 a 8.45), lo que indica una alta saturación de bases y un estado avanzado de descomposición de compuestos orgánicos ácidos. Valores de pH elevados en compostas suelen asociarse con la presencia de amonio, carbonatos y cationes básicos liberados durante la mineralización [16].

La conductividad eléctrica osciló entre 2.31 y 2.84 dS m<sup>-1</sup>, lo que indica una concentración apreciable de sales solubles. Aunque la interpretación depende del método analítico y de la proporción aplicada al suelo, estos valores justifican un uso controlado, especialmente en cultivos sensibles a la salinidad. En consecuencia, los materiales deben utilizarse como enmiendas orgánicas dosificadas o incorporarse a mezclas de sustratos, en lugar de emplearse directamente como único medio de cultivo. Gondek et al. [23], señalan valores de CE elevada en compostas a partir de 5 dS m<sup>-1</sup>.

Un aspecto muy importante que se identificó en los biorreactores evaluados fue la sodicidad, particularmente en R1 y R2, cuyos valores de RAS (12.32 y 14.91, respectivamente) indican un riesgo elevado debido a la alta concentración de sodio intercambiable que puede afectar negativamente la estructura del suelo, reducir la agregación y disminuir la conductividad hidráulica cuando estos materiales se aplican de forma continua [24].

En contraste, R3 y R4 presentaron valores de RAS bajos a moderados, lo que sugiere una mayor estabilidad química y menor riesgo de degradación estructural del suelo. Este resultado indica que no todos los biorreactores presentan el mismo nivel de riesgo y que su calidad depende fuertemente del manejo y de los insumos utilizados.

En conjunto, los resultados confirman que los productos obtenidos de los biorreactores evaluados no deben considerarse como sustratos finales, sino insumos orgánicos concentrados, cuyo principal valor radica en su capacidad para enriquecer otros sistemas edáficos. Existe coincidencia en que la aplicación de compostas concentradas debe realizarse mediante mezclas, diluciones o aplicaciones fraccionadas, a fin de maximizar beneficios y minimizar riesgos ambientales [25].

Las modalidades de biorreactores R3 y R4 presentan una alta fertilidad potencial, reflejada en su elevado contenido de materia orgánica, macronutrientes y micronutrientes que les confiere un comportamiento químico más equilibrado; sin embargo, los biorreactores R1 y R2, muestran limitaciones químicas importantes, particularmente asociadas a salinidad, alcalinidad y sodicidad, por lo que requieren de un manejo más cuidadoso antes de su aplicación.

#### **Relación del compostaje con la NMX-AA-180-SCFI-2018**

Los resultados del análisis de laboratorio de las muestras de composta de los biorreactores R1, R2, R3 y R4 evidencian en términos generales que el producto obtenido presenta características compatibles con los criterios de calidad establecidos en la NMX-AA-180-SCFI-2018 para composta, particularmente en lo referente a pH, conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica. Sin embargo,

se identificaron diferencias relevantes entre muestras que influyen en su potencial de uso.

El contenido de materia orgánica (MO) fue elevado en todas las muestras (48 a 52 %), superando ampliamente el valor mínimo del 20% establecido por la norma. Estos valores indican un adecuado grado de estabilización de la fracción orgánica y un alto potencial como mejorador de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

En cuanto al pH, los valores obtenidos (7.74 a 8.45) se ubicaron dentro del intervalo permisible (6.7 a 8.5). Este comportamiento es característico de compostas con predominio de residuos orgánicos lignocelulósicos y procesos avanzados de humificación, donde la mineralización de compuestos orgánicos ácidos y la acumulación de cationes básicos tienden a estabilizar el pH hacia valores neutros o ligeramente alcalinos [26]. No obstante, el valor observado en R4 (pH 8.45) se encuentra en el límite superior del rango normativo, lo que podría condicionar la disponibilidad de algunos micronutrientes en suelos alcalinos.

La conductividad eléctrica (CE) de los materiales osciló entre 2.31 y 2.84 dS m<sup>-1</sup>. Estos valores son inferiores al límite establecido por la NMX-AA-180-SCFI-2018 para composta; sin embargo, su aplicación debe definirse con cautela, especialmente en cultivos sensibles a sales. La conductividad eléctrica es un indicador de la concentración de sales solubles en el compost y constituye un criterio importante para evaluar su calidad y posible efecto sobre los cultivos.

Respecto al nitrógeno total, se observaron diferencias marcadas entre muestras. R1, R2 y R3 presentaron concentraciones entre 1.20 y 2.80 %, cumpliendo con el valor mínimo de 1% recomendado por la NMX-AA-180-SCFI-2018 y evidenciando un buen potencial como fuente de nitrógeno orgánico de liberación

gradual. En contraste, la muestra R4 registró un valor de 0.98%, ligeramente inferior al umbral normativo, lo que sugiere un proceso de compostaje menos eficiente en términos de conservación de nitrógeno, posiblemente asociado a pérdidas por volatilización de amoníaco debido a los volteos mecánicos que se realizaron en este biorreactor.

Un aspecto crítico identificado fue el contenido de sodio y la Relación de Adsorción de Sodio (RAS). Las muestras R1 y R2 presentaron valores elevados de  $\text{Na}^+$  ( $\geq 15$  meq  $\text{L}^{-1}$ ) y RAS superiores a 12, lo que representa un riesgo potencial de sodicidad al ser aplicadas de forma continua o en altas dosis. Aunque la NMX-AA-180-SCFI-2018 no establece límites estrictos para sodio o RAS, diversos autores señalan que compostas con alta sodicidad pueden afectar la estabilidad estructural del suelo, reducir la infiltración y limitar la absorción nutrimental por las plantas [24]. En contraste, R3 y R4 mostraron valores de RAS bajos ( $< 5$ ), indicando una mejor compatibilidad con suelos agrícolas.

Los macronutrientes fósforo y potasio presentaron concentraciones elevadas en todas las muestras, lo que incrementa su valor como enmienda fertilizante. Asimismo, los micronutrientes (Fe, Zn, Cu y Mn) se encontraron en concentraciones elevadas, particularmente en R1. Aunque estos elementos pueden contribuir a corregir deficiencias nutricionales del suelo, aplicaciones continuas o en dosis excesivas pueden favorecer su acumulación progresiva y alterar la disponibilidad de otros nutrientes, especialmente en condiciones de pH alcalino y alto contenido de materia orgánica [21]. Diversos estudios sobre compostas han señalado la importancia de monitorear la concentración de micronutrientes y metales traza para garantizar un uso agronómico seguro y sostenible [16, 27].

En conjunto, los resultados indican que R3 representa la muestra con mejor equilibrio químico, cumpliendo con los criterios normativos y mostrando menor riesgo agronómico. R1 y R2 cumplen con la NMX-AA-180-SCFI-2018, pero requieren manejo cuidadoso debido a su sodicidad elevada, mientras que R4 necesita ajustes en el proceso para incrementar su contenido de nitrógeno y consolidar su importancia como composta de calidad.

#### 4. Conclusiones

Las cuatro configuraciones evaluadas permitieron transformar residuos orgánicos domésticos y agroforestales en materiales con contenidos elevados de materia orgánica y nutrientes. Las diferencias observadas entre modalidades sugieren que la configuración y el manejo de los biorreactores pueden asociarse con variaciones en el comportamiento térmico y en las propiedades químicas finales. Los valores de materia orgánica, pH y conductividad eléctrica se ubicaron dentro de los intervalos aplicables considerados en la NMX-AA-180-SCFI-2018; sin embargo, los valores elevados de sodio y RAS observados en R1 y R2 indican la necesidad de aplicar estos materiales en dosis controladas. Entre las configuraciones analizadas, R3 presentó el perfil químico más equilibrado. Estos resultados muestran que el sistema puede contribuir al aprovechamiento regional de residuos orgánicos, siempre que su operación y la aplicación del material se realicen con criterios técnicos.

#### 5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el financiamiento al proyecto con clave 21548-25P: "Evaluación combinada de los sistemas de compostaje y cultivo: biorreactor Johnson-Su y Hügelkultur como estrategia de apoyo para la producción de alimentos de autoconsumo y reducción de residuos

orgánicos en zonas templadas” del cual se originó este escrito. De igual forma, de manera especial a los revisores anónimos del manuscrito que aportaron valiosas sugerencias a este trabajo.

## 6. Referencias

1. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (07 de junio de 2024). *Problemática de los residuos y los malos hábitos*. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/problematika-de-la-basura-y-malos-habitos?idiom=es>.
2. United Nations Environment Programme (2024). *Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an age of waste-Turning rubbish into a resource*. Nairobi. <https://wedocs.unep.org/rest/api/core/bits/treams/daa56f4d-2479-4e10-88c6-4d65da463299/content>
3. Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Publications.
4. Manea, E. E., Bumbac, C., Dinu, L. R., Bumbac, M., & Nicolescu, C. M. (2024). Composting as a sustainable solution for organic solid waste management: Current practices and potential improvements. *Sustainability*, *16*(15), 6329. <https://doi.org/10.3390/su16156329>
5. Vargas Pineda, O. I., Trujillo González, J. M., & Torres Mora, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Orinoquia*, *23*(2):123-129. <https://doi.org/10.22579/20112629.575>
6. U.S. Environmental Protection Agency. (01 December 2025). *Composting*. <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/composting>
7. Oviedo Ocaña, E. R., Marmolejo Rebellon, L. F. & Torres Lozada, P. (2017). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Lecciones desde Colombia. *Ingeniería, investigación y tecnología*, *18*(1):31-42. <https://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v18n1/1405-7743-iit-18-01-00031.pdf>
8. Connolly, E. E. (2024). *The New Earth Project: Youth-powered climate solutions through food waste reduction*. CART. Retrieved from <https://www.fws.gov/project/nature-based-solutions-new-earth-project-pilot>.
9. Delgado Arroyo, M. D. M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., & Martín Sánchez, J. V. (2019). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, *35*(4), 965-977. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.15>
10. Ellen MacArthur Foundation. (30 November 2015). *Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>
11. Medrano-Guerrero, J. E., Meza-López, P., Hernández, F. J., & Nájera-Luna, J. A. (2022). Cuantificación y caracterización de los residuos del proceso de aserrío en una fábrica de tarimas en El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, e3599,

- <https://doi.org/10.33064/iycuaa2022863599>
12. INEGI (Instituto Nacional de Geografía y Estadística). (2022). *Aspectos geográficos de Durango. Compendio 2022*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/nueva\\_estruc/889463913276.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/nueva_estruc/889463913276.pdf)
13. Johnson, D., & DeSimio, P. (2017). *Best management practices: Johnson-Su composting bioreactors*. New Mexico State University College of Agriculture, Consumer, & Environmental Sciences. <https://regenerationinternational.org/wp-content/uploads/2017/09/Johnson-Su-Bioreactor.pdf>
14. Amlinger, F., Peyr, S., Hildebrandt, U., Müskén, J., Cuhls, C., & Clemens, J. (2009). *The State of the Art of Composting—A guide to good practice*. Austrian Ministry for Agriculture and Forestry. Environment and Water Management.
15. SE (Secretaría de Economía). (2018). *Que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales* (NMX-AA-180-SCFI-2018). Diario Oficial de la Federación. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/NMX-AA-180-SCFI-2018.pdf>
16. Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource technology*, 100(22), 5444-5453.
- <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
17. Iglesias Jiménez, I., Barral Silva, M. T., & Marhuenda Egea, F. C. (2008). 11 indicadores de la estabilidad y madurez del compost. En J. Moreno Casco y R. Moral herrero (Eds.). *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa.
18. Sharma, B., Vaish, B., Monika, Singh, U. K., Singh, P., & Singh, R. P. (2019). Recycling of organic wastes in agriculture: an environmental perspective. *International journal of environmental research*, 13(2), 409-429. <https://doi.org/10.1007/s41742-019-00175-y>
19. Fernández-Marcos, M. L. (2011). Contaminación por fósforo procedente de la fertilización orgánica de suelos agrícolas. En: M. E. López Mosquera, M. J. Sainz Osés (coordinadoras). *Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola*. Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Santiago de Compostela, (25-31).
20. Rynk, R., Van de Kamp, M., Willson, G. B., Singley, M. E., Richard, T. L., Kolega, J. J., Gouin, F. R., Laliberty, L., Kay, D., Murphy, D. W., Hoitink, H. A., & Brinton, W. F. (1992). *On-farm composting handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES) 54. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension. College of Agriculture and Life Sciences (CALs). Cornell University.
21. Alloway, B. J. (Ed.). (2012). *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. Springer Science & Business Media.
22. Michaud, A. M., Cambier, P., Sappin-Didier, V., Deltreil, V., Mercier, V.,

- Rampon, J.-N., Trochard, R., Leclerc, B., Morel, C., Waterlot, C., & Houot, S. (2020). Mass balance and long-term soil accumulation of trace elements in arable crop systems amended with urban composts or cattle manure during 17 years. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 5367–5386. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07166-8>
23. Gondek, M., Weindorf, D. C., Thiel, C., & Kleinheinz, G. (2020). Soluble salts in compost and their effects on soil and plants: A review. *Compost Science & Utilization*, 28(2), 59–75. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2020.1772906>
24. Qadir, M., Oster, J. D., Schubert, S., Noble, A. D., & Sahrawat, K. L. (2007). Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. *Advances in agronomy*, 96, 197-247. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)96006-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)96006-X)
25. Arcos Torres, J. F., Arcos Logroño, J. P., & Osorio Rivera, M. Á. (2022). *El suelo y los abonos en la nutrición vegetal*. (Primera Edición). Editorial I2D Investigación, Innovación y Desarrollo.
26. Hargreaves, J. C., Adl, M. S., & Warman, P. R. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, ecosystems & environment*, 123(1-3), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.004>
27. Quiroz Ramírez, J. V. (2025). Valoración de la calidad del suelo: Una herramienta para la gestión ambiental del suelo en Luyando. *Tecnohumanismo*, 4(4), 1–436. <https://tecnohumanismo.online/index.php/tecnohumanismo/article/view/382>



## Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: [www.riit.com.mx](http://www.riit.com.mx)

### Librería Integrable en LabVIEW y Firmware para Control de Tarjeta de Adquisición de Datos

#### Library for Integration in LabVIEW and Firmware for Data Acquisition Card Control

Martínez-Ramírez, A., Fosado-Quiroz, R.E.\*, Hernández-Nava, N., Ávila-Rodríguez, R.

Unidad Académica Multidisciplinaria Región Altiplano, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8292-0377>, <https://orcid.org/0000-0002-5344-7274>\*, <https://orcid.org/0000-0002-4965-1045>, <https://orcid.org/0000-0003-3595-7518>.

[alejandro.martinez@uaslp.mx](mailto:alejandro.martinez@uaslp.mx); [rosa.fosado@uaslp.mx](mailto:rosa.fosado@uaslp.mx)\*; [nereyda.hernandez@uaslp.mx](mailto:nereyda.hernandez@uaslp.mx); [raquel.avila@uaslp.mx](mailto:raquel.avila@uaslp.mx)

**Innovación tecnológica:** Librería y firmware para instrumentación y automatización.

**Área de aplicación industrial:** Instrumentación y automatización.

Recibido: 13 enero 2026

Aceptado: 04 junio 2026

#### Abstract

Data acquisition cards are digital electronic systems that, when controlled by a computer or digital system, capture or measure digital and analog signals from the physical environment. The objective of this project was to design and implement a virtual instrumentation library, compatible with LabVIEW, and firmware to control a data acquisition card based on the PIC18F4550 microcontroller and manage its resources, such as its digital and analog ports and its asynchronous serial communication port, without requiring the microcontroller to be reprogrammed each time it is used for different tasks. Firmware was designed and implemented to allow commands to be entered via the USB port of a DAQPIC18F4550 card based on the PIC18F4550 microcontroller, enabling control of its digital and analog ports and its asynchronous serial port. A LabVIEW library was designed and implemented as a user library, containing function blocks to control the five digital input/output ports of the DAQPIC18F4550 board, a function block for data acquisition via its analog ports, and a function block for asynchronous serial communication. The developed library and firmware enable the DAQPIC18F4550 board to perform basic low-speed data acquisition functions, with up to five digital ports and 30 input/output pins, up to 13 analog input channels, and a bidirectional asynchronous serial communication port that allows remote control and data acquisition by connecting a Bluetooth or radio-frequency communication module. The DAQPIC18F4550 has more digital and analog pins than development boards like the Arduino

UNO and can operate wirelessly, which is an advantage compared to data acquisition boards like the NI USB-6008. Virtual test instruments were created in LabVIEW to verify the functionality of the library and firmware using the DAQPIC18F4550 board. Virtual instruments were run that combined control, data acquisition, and remote communication tasks using low sampling rates, on the order of 400 samples/s.

**Keywords:** firmware, LabVIEW, library, microcontroller, virtual instrumentation.

## Resumen

Las tarjetas de adquisición de datos son sistemas electrónicos digitales que, controlados desde un ordenador o sistema digital, logran capturar o medir señales digitales y analógicas del entorno físico. El objetivo de este proyecto fue diseñar e implementar una biblioteca de instrumentación virtual integrable en LabVIEW y el firmware para controlar una tarjeta de adquisición de datos basada en el microcontrolador PIC18F4550 y gestionar sus recursos, como sus puertos digitales y analógicos, y gestionar el puerto de comunicaciones seriales asíncronas, sin necesidad de reprogramar el microcontrolador de la tarjeta cada vez que se utiliza para realizar tareas diferentes. Se diseñó e implementó un firmware que permite introducir comandos a través del puerto USB de una tarjeta DAQPIC18F4550 basado en el microcontrolador PIC18F4550 para controlar sus puertos digitales, analógicos y su puerto serial asíncrono. Se diseñó e implementó una biblioteca en LabVIEW como biblioteca de usuario, con bloques de funciones para controlar los cinco puertos digitales de entrada y salida de la tarjeta DAQPIC18F4550, un bloque de funciones para adquisición a través de sus puertos analógicos y un bloque de funciones para la comunicación serial asíncrona. La biblioteca y el firmware desarrollados permiten que la tarjeta DAQPIC18F4550 realice funciones básicas de adquisición de datos de baja velocidad, teniendo hasta un máximo de cinco puertos digitales con 30 terminales de entrada/salida, hasta 13 canales para entradas analógicas, un puerto de comunicaciones seriales bidireccionales asíncronas que permite realizar control y adquisición remota de datos conectando a este un módulo de comunicación Bluetooth o un módulo de comunicación por radiofrecuencia. La DAQPIC18F4550 posee más terminales digitales y analógicas que tarjetas de desarrollo como Arduino UNO, y puede operar de forma inalámbrica, lo que es una ventaja en comparación con tarjetas de adquisición de datos como la NI USB-6008. Se crearon instrumentos virtuales de prueba en LabVIEW para verificar la funcionalidad de la biblioteca y el firmware utilizando la tarjeta DAQPIC18F4550. Se ejecutaron instrumentos virtuales que combinaron tareas de control, adquisición de datos y comunicación remota utilizando bajas tasas de muestreo, en el orden de las 400 muestras/s.

**Palabras clave:** firmware, instrumentación virtual, librería, LabVIEW, microcontrolador.

## 1. Introducción

Las tarjetas de adquisición de datos (DAQ, por sus siglas en inglés) son sistemas

electrónicos que controladas desde una computadora o sistema digital gestionan operaciones de captura o medición de datos de señales digitales o analógicas procedentes

del mundo físico, y también pueden generar señales analógicas y digitales para ejecutar acciones de control. Estas tarjetas permiten medir y registrar valores de voltaje y de corriente y también generarlos cuando se acompañan de un componente acondicionador de señales, que mediante transductores convierte variables físicas a voltajes o corrientes.

Los principales componentes de las DAQ son: puertos de entradas digitales, puertos de entradas analógicas, puertos de salidas digitales, puertos de salidas analógicas, puertos de comunicaciones y temporizadores.

Entre las aplicaciones más comunes de las tarjetas de adquisición de datos se encuentran: monitoreo y registro de datos en sistemas que requieren de supervisión continua [1], control de procesos en la automatización de sistemas industriales [2], medición de variables en la investigación, desarrollo y experimentación con materiales [3], control y medición en bancos de pruebas de procesos de ingeniería y otras disciplinas midiendo el desempeño de mecanismos, dispositivos y variables de sistemas [4].

En la actualidad existen diversas tarjetas de desarrollo para sistemas embebidos, mismas que han sido utilizadas para implementar DAQ. Azua-Barrón, et al. emplean la tarjeta Arduino para la implementación de un sistema de adquisición de datos de bajo costo [5]. López-Vargas et al. diseñaron un registrador de datos de bajo costo, que puede medir parámetros eléctricos y meteorológicos, almacenando los datos en tarjetas de memoria [6]. El sistema se implementó con software y hardware de código abierto, basado en Arduino UNO. El registrador de datos permite realizar monitoreo en áreas sin instalaciones de telecomunicaciones. En [7] reportan un sistema de adquisición de datos con interface programada en Python y que puede utilizar

diferentes tarjetas de adquisición de datos.

Ojeda-Misses y Jarquín-Jiménez presentan una plataforma para circuitos eléctricos con propósitos educativos basada en Arduino y el software Matlab-Simulink [8]. En el artículo publicado por Kamat et al., desarrollan un sistema IoT para adquisición de datos para mantenimiento preventivo, realizando monitoreo de temperatura y humedad, empleando una tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+ [9].

Ambrož presenta y evalúa un prototipo funcional para un sistema de adquisición de datos usando una placa de desarrollo Raspberry Pi Model B, programada en C/C++, para medir la dinámica de vehículos impulsados por humanos [10].

Los microcontroladores PIC18F4550 de la empresa MICROCHIP y otros de la misma empresa, han sido ampliamente utilizados para tareas de instrumentación debido a los recursos que disponen, ya que cuentan con cinco puertos digitales de propósito general, trece terminales de entradas analógicas, puertos de comunicaciones serie de los tipos USART, SPI, I<sup>2</sup>C, USB y cuenta con temporizadores [11]. En la literatura científica encontramos trabajos en los que se utiliza este microcontrolador para implementar tareas de adquisición de datos.

Terzioğlu et al. describen el diseño e implementación de una DAQ empleando el microcontrolador PIC18F4550, con el cual utiliza 10 canales analógicos diferentes. Los datos leídos de la DAQ se transfieren usando el puerto USB a un programa de interfaz de computadora elaborado en C# y son grabados en una base de datos en el programa Microsoft Access [12]. La interfaz diseñada, los valores de las señales leídas y sus gráficos se muestran en una pantalla.

Hercog y Gergič desarrollaron una DAQ

basada en el microcontrolador PIC18F27J53, la cual es programada con un firmware que por medio de un comando que recibe desde una computadora, le permite acceder a los recursos del microcontrolador. Diseñaron una librería integrable con LabVIEW para generar los comandos que especifican tareas de adquisición de datos que ha de realizar el microcontrolador. Estos comandos se comunican a la tarjeta mediante comunicación USB HID [13].

Kale et al. utilizan un microcontrolador PIC16F877A para implementar un módulo de adquisición de datos de estructura simple, conectado a un equipo de cómputo por su puerto serie, y diseñaron un instrumento virtual en LabVIEW que se encarga de gestionar la adquisición de datos y la representación gráfica respectiva [14].

Sarma et al. presentan un sistema de adquisición de datos de bajo costo que utiliza una placa Arduino UNO y programación en Python para procesar los datos adquiridos e implementar una interfaz gráfica [15].

En el trabajo de Atmane et al. presentan una cocina solar autónoma que funciona con energía fotovoltaica (PV) renovable. El equipo propuesto incluye paneles PV, convertidores de energía DC/DC, resistencias térmicas y un bloque digital para control, supervisión y adquisición de datos meteorológicos, térmicos y eléctricos con el microcontrolador PIC18F4550. Utiliza una interfase gráfica de usuario implementada en LabVIEW [16].

Hamil et al. presentan el diseño de un sistema de adquisición de datos y control de temperatura en tiempo real utilizando LabVIEW [17]. Se comunica con la PC

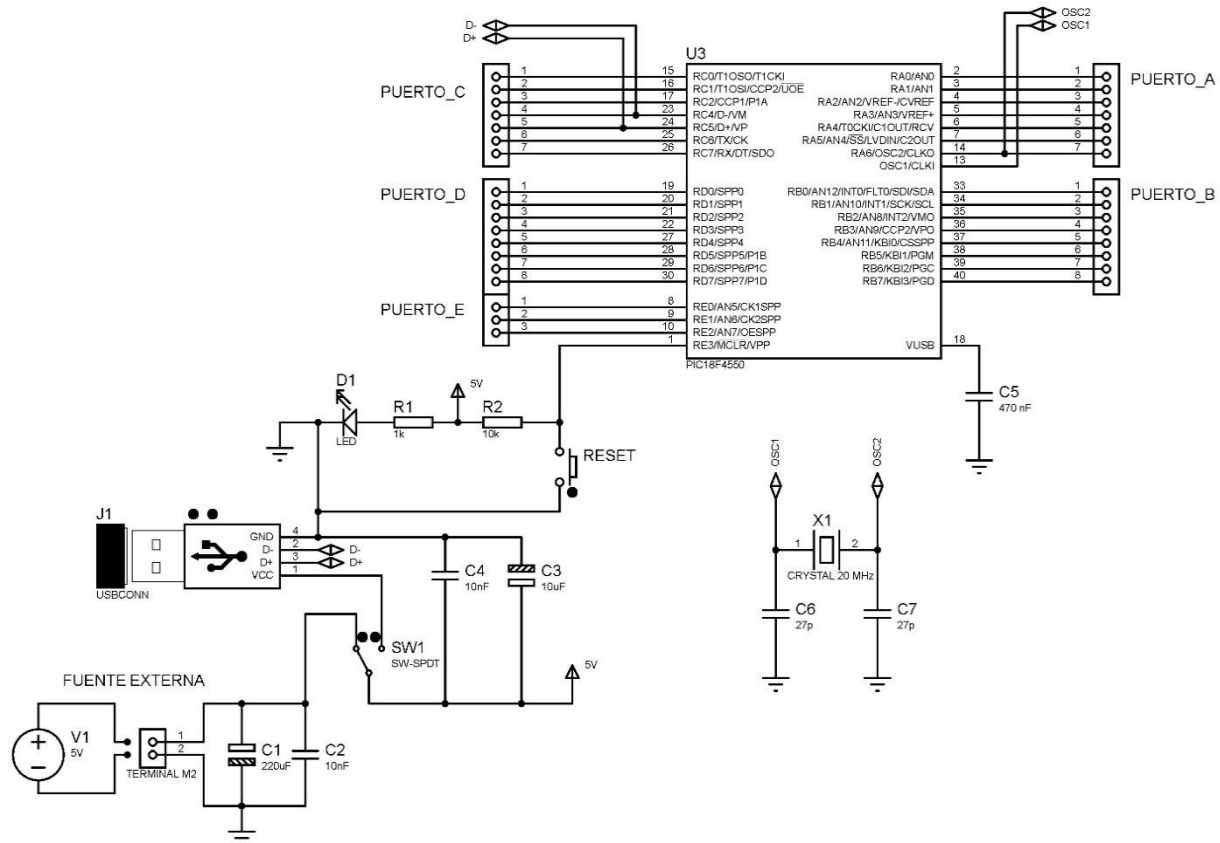
utilizando el puerto USB para controlar la temperatura con un sistema portátil y de bajo costo. El prototipo del sistema utiliza un microcontrolador PIC18F4550.

Los sistemas de adquisición de datos mencionados fueron diseñados para realizar tareas específicas, para lo cual se requiere la programación a detalle tanto del instrumento virtual como del microcontrolador de la tarjeta de adquisición de datos. El objetivo de este proyecto fue diseñar e implementar una biblioteca de instrumentación virtual integrable en LabVIEW y el firmware para controlar una tarjeta de adquisición de datos basada en el microcontrolador PIC18F4550 y gestionar sus recursos, como sus puertos digitales y analógicos, y también gestionar el puerto de comunicaciones seriales asincrónicas, sin necesidad de reprogramar el microcontrolador de la tarjeta cada vez que se utiliza para realizar tareas diferentes. La librería debe servir para realizar de forma simple tareas básicas de adquisición de datos y está dirigida a usuarios con conocimiento básico tanto de instrumentación virtual con LabVIEW como de diseño de sistemas embebidos para adquisición de datos.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1. Diseño de la tarjeta de adquisición DAQPIC18F4550**

En este apartado se detalla el proceso de diseño de la tarjeta de adquisición de datos DAQPIC18F4550, la cual está basada en el microcontrolador PIC18F4550, que es capaz de mantener comunicación por medio de un puerto USB en la clase CDC y puede recibir voltaje de alimentación desde una fuente externa o directamente del puerto USB. El Diagrama esquemático de la tarjeta se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Diagrama esquemático de la tarjeta de adquisición de datos DAQPIC18F4550.

En la primera versión (v1.0) de la tarjeta, se dispone de cinco puertos digitales de entradas y/o salidas de propósito general, de un convertidor analógico a digital de trece canales y de un puerto para comunicaciones USART usando el protocolo RS232 con niveles de voltaje TTL de 5V.

La tarjeta cuenta con un microcontrolador PIC18F4550 con un firmware nativo desarrollado en este trabajo, el cual permite el control de los recursos de la tarjeta mediante comandos que le pueden ser proporcionados por una computadora por medio de su puerto USB.

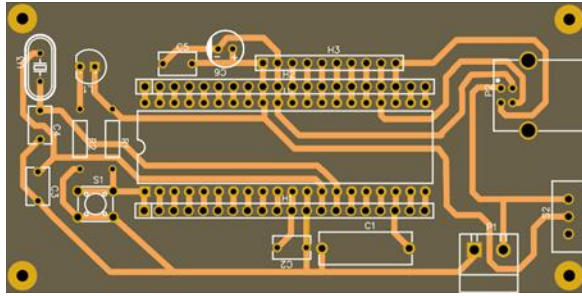
El firmware de la tarjeta puede también ser configurado para que esta reciba los comandos por su puerto serie, y funcionar inalámbricamente conectando módulos de comunicación RF o Bluetooth a su puerto

serie.

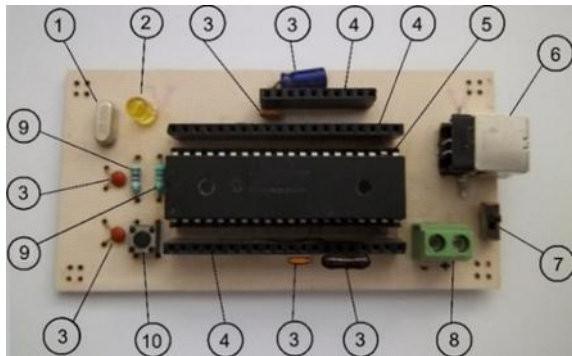
## 2.2. Diseño PCB

El diseño de la tarjeta de circuito impreso (PCB, por sus siglas en inglés), se realizó con el software Easy EDA versión V6.5.51, usando una placa de PCB con largo = 10 cm y ancho = 5 cm. En la Figura 2 se muestra el circuito impreso de la placa. La Figura 3 muestra una imagen de la DAQPIC18F4550 con los componentes enumerados.

La Tabla 1 muestra la lista de componentes que integran la placa de circuito impreso de la tarjeta DAQPIC18F4550.



**Figura 2.** Circuito impreso de la tarjeta DAQPIC18F4550.



**Figura 3.** Integración de componentes de la DAQPIC18F4550.

**Tabla 1.** Componentes de la tarjeta DAQPIC18F4550.

No.	Componente
1	Cristal oscilador de cuarzo de 20 MHz
2	Diodo LED indicador de sistema activo
3	Capacitores, dos de 27 pf, dos de 10 nF, uno de 470 nF y uno de 10 $\mu$ F
4	Regletas hembra de una línea, una de 20 terminales y una de 10 terminales
5	Microcontrolador sobre base de 40 pines
6	Conector USB Tipo B hembra
7	Mini switch un polo 2 tiros
8	Terminales para alimentación externa de 5V
9	Resistencias, de 1k $\Omega$ y de 10 k $\Omega$
10	Botón de presión para restablecer el sistema

Para comunicar la computadora con la tarjeta y gestionar sus funciones, se diseñó y se implantó en el microcontrolador un firmware en el cual se programaron las instrucciones para utilizar los recursos disponibles. El firmware se programó en lenguaje C, y consiste de un programa principal que recibe tres comandos:

Comando 1: Se recibe y se carga en la

variable `Id_Operation`. Efectúa la identificación del recurso del microcontrolador que se desea utilizar, los cuales están clasificados en esta versión del firmware de acuerdo al valor recibido, como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Comando 1 para el uso de los recursos.

Id_Operación	Recurso a utilizar del microcontrolador
0	Configura los puertos digitales como salidas en estado alto.
1	Se utilizará un puerto digital.
2	Se utilizará el puerto analógico.
3	Se utilizará un puerto USART.

Comando 2: Se recibe y se carga en la variable `PUERTO`. Efectúa la identificación del puerto del microcontrolador que se utilizará, clasificado de acuerdo al valor recibido como se indica en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Comando 2 para selección del puerto.

PUERTO	Puerto a utilizar
0	PUERTOA
1	PUERTOB
2	PUERTOC
3	PUERTOD
4	PUERTOE

Comando 3: Se recibe y se carga en la variable `OPERACION`. Efectúa la identificación de la operación del puerto o recurso del microcontrolador, ya sea de entrada o salida, clasificado como se indica en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Comando 3 de selección del modo de operación.

OPERACION	Modo de operación del puerto o recurso
0	Salidas
1	Entradas

Si un recurso es seleccionado en el modo de salidas, se procede a capturar un comando más, que se cargará en la variable `DATO`.

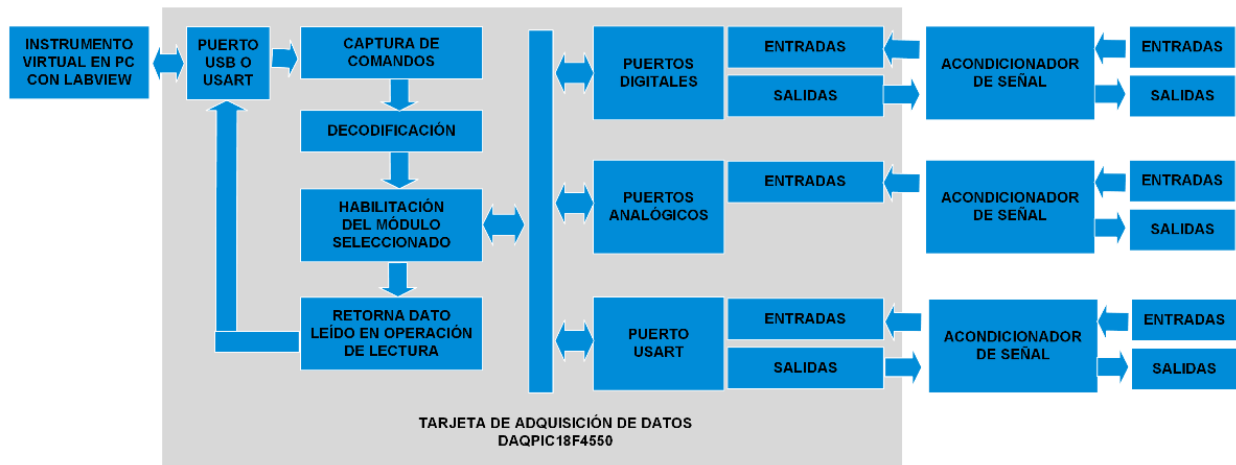
Comando 4: Se recibe y se carga en la variable `DATO`. Contiene el valor que ha de

sacarse a través del recurso seleccionado por los tres comandos previos.

Los comandos se entregan a la tarjeta a través del puerto USB. En este trabajo se dispuso que el conjunto de comandos de configuración provenga desde LabVIEW para entregarse a la tarjeta de adquisición DAQPIC18F4550 y gestionar su funcionamiento.

## 2.4. Modos de operación de la DAQPIC18F4550

El diagrama de bloques de la Figura 4 muestra a bloques la función del firmware. Una vez que el conector USB de la tarjeta se conecta a una computadora, la tarjeta estará en modo de encuesta al puerto USB, y cuando se reciben los comandos de configuración, se codifican los datos para indicar los recursos a emplear del microcontrolador, posterior a ello se habilita el recurso seleccionado, que puede ser un puerto digital, un puerto análogo o un puerto de comunicación USART.



**Figura 4.** Diagrama de bloques de la operación del firmware de la DAQPIC18F4550.

En el caso de operaciones de lectura, el resultado de esta operación se devuelve al puerto USB para entregarlo a la aplicación en LabVIEW que lo solicitó, y estará disponible para desplegarlo o procesarlo en LabVIEW. Una vez completada la operación, el puerto permanece en esa configuración, pero ya no captura los datos hasta recibir un nuevo comando de lectura.

## 2.5. Diseño de librería de control de la DAQPIC18F4550 integrable en LabVIEW

Para el desarrollo de esta investigación y desarrollo se utilizó la versión de LabVIEW 2009 bajo licencia institucional. Los instrumentos virtuales y las librerías

desarrolladas funcionan para esta versión de LabVIEW y posteriores con el único requerimiento de contar con la librería VISA.

LabVIEW cuenta con instrucciones y bloques de programación para establecer comunicación con diversos tipos de dispositivos, sus librerías están organizadas de acuerdo a las funciones que realizan, tales como programación, medición, entradas y salidas, comunicación de datos, adquisición de datos y muchas otras. Pero no se cuenta con una librería o bloque genérico que permita en forma directa manipular puertos y recursos de los microcontroladores PIC, lo que es un área de oportunidad y por ello en este trabajo se diseñó una librería en

LabVIEW para el desarrollo de aplicaciones de propósito general usando la DAQPIC18F4550. Se ha programado usando lenguaje gráfico propio del software LabVIEW y se integró en la ruta Tools Palette>User Libraries> DAQPIC18F4550, como se muestra en la Figura 5. La librería se

ha denominado DAQPIC18F4550, y en ella se han guardado un conjunto de subinstrumentos virtuales (subIV), que sirven para configurar puertos analógicos, puertos digitales y puerto serie USART. Las secciones siguientes describen cada subIV de la librería.



Figura 5. Librería integrable en LabVIEW para controlar la DAQPIC18F4550.

## 2.6. Bloque de configuración de comunicación.

La tarjeta de adquisición de datos DAQPIC18F4550 se conecta en un puerto USB como clase de dispositivo de comunicaciones (USB-CDC), y cuando la computadora la reconoce, crea un puerto serie virtual de comunicaciones COM. La librería que se diseñó en este trabajo utiliza el protocolo de comunicación VISA-Serial (Serial Virtual Instrument Software Architecture) para comunicarse con el puerto serial virtual creado. Los drivers instalados en la computadora convierten los datos de la comunicación serial al protocolo USB con el cual se comunican con el microcontrolador de la tarjeta DAQPIC18F4550. El bloque de configuración integra los parámetros de operación del microcontrolador de la DAQPIC18F4550 y el tipo de comunicación precargados, el usuario solo deberá insertar este bloque y añadir un control para seleccionar el puerto COM deseado. La Figura 6 muestra el ícono, el panel frontal y el diagrama de bloques de esta función.

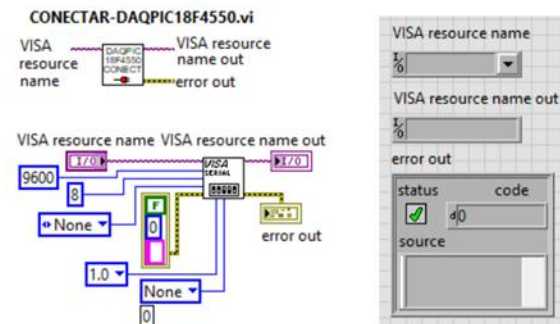


Figura 6. SubIV CONECTAR-DAQPIC18F4550. Ícono, Diagrama de bloques y panel frontal del subIV.

## 2.7. Puertos digitales

Este subIV lee los datos residuales existentes en el buffer y lo limpia. Después escribe una palabra de configuración que indica al microcontrolador que realizará una operación de tipo digital, se envía un dato con el cual selecciona el puerto a utilizar y se configura dicho puerto como digital. Envía otro comando, el cual indica si el puerto será de entrada o de salida. Si es de entrada, el puerto capturará un dato y luego lo transmitirá hacia la computadora y el dato será leído por el subIV.

La Figura 7 muestra el subIV de la función denominada PUERTOS DIG y su panel frontal, que controla los puertos digitales. La

Figura 8 muestra el diagrama de bloques configurado para lectura de datos.



Figura 7. Ícono y panel frontal del subIV PUERTOS DIG.

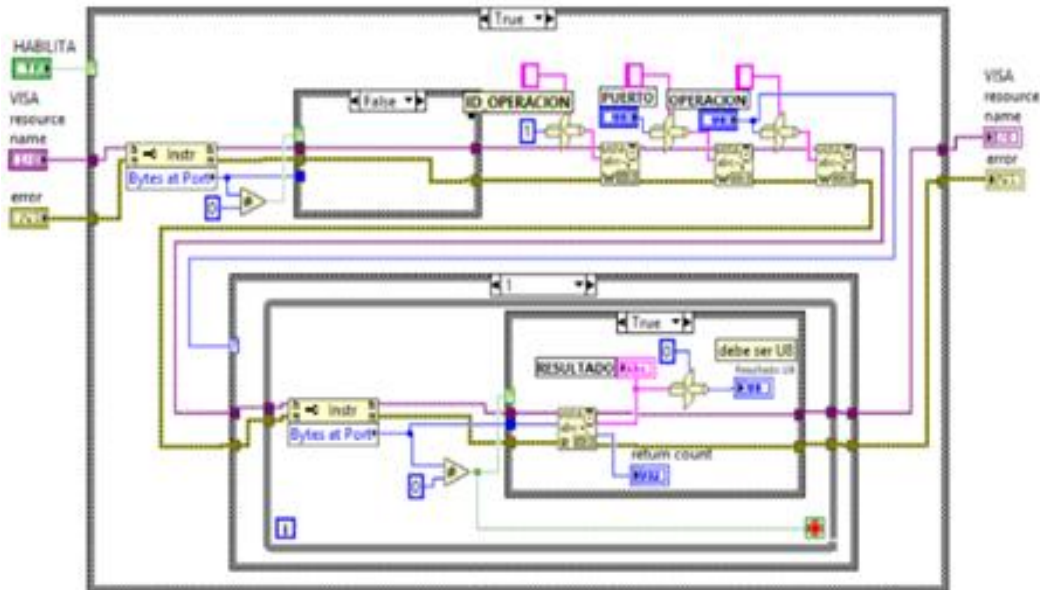


Figura 8. Diagrama a bloques del subIV PUERTOS DIGI. Configuración para lectura.

La Figura 9 muestra el diagrama de bloques con la configuración para escritura de datos. El subIV tiene una entrada de habilitamiento,

la cual permite al subIV realizar su función o inhabilitarlo.

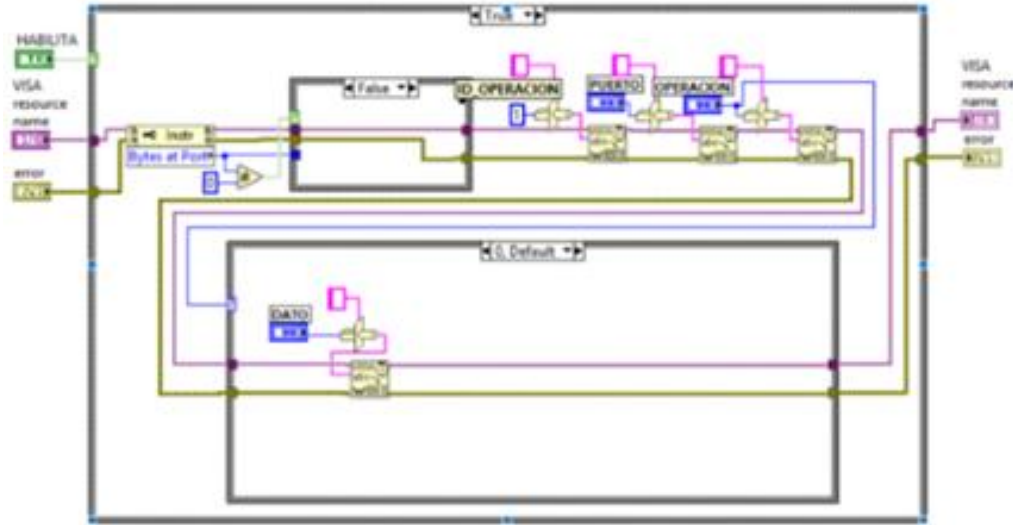


Figura 9. Diagrama a bloques del subIV PUERTOS DIGI. Configuración para escritura.

### 2.8. Puertos analógicos

Esta función de la librería DAQPIC18F4550 es un subIV que primeramente lee los datos residuales existentes en el buffer y limpia el mismo, para escribir una palabra de configuración que indica la operación a realizar en el puerto, es decir, envía un dato que se recibe en el microcontrolador e indica que trabajará como entrada de señal analoga, después se envía un dato con el cual se selecciona el puerto a utilizar y se configura como analógico; se envía otro dato el cual indica uno de 13 canales disponibles a utilizar, posterior a ello se envía otro dato, que indica el voltaje o señal de referencia a emplear.

La Figura 10 muestra el ícono y el panel frontal del subIV denominado PUERTOS ANALOG. La Figura 11 muestra el diagrama de bloques de la programación del subIV.

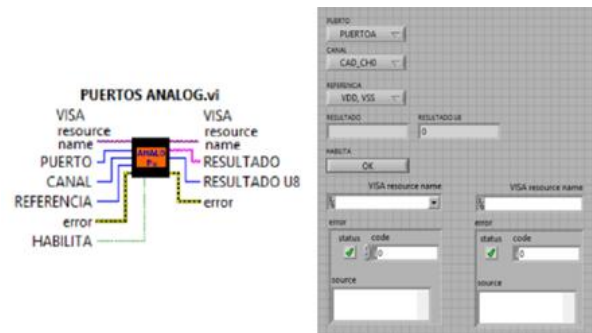


Figura 10. Ícono y panel frontal del SubIV PUERTOS ANALOG.

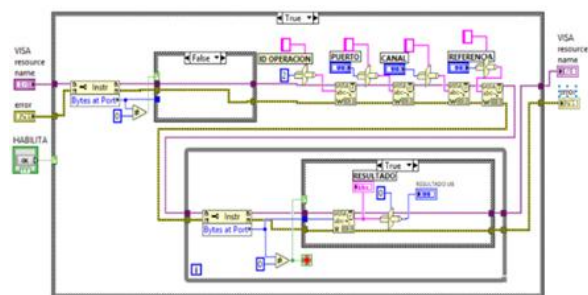


Figura 11. Diagrama de bloques del subIV PUERTOS ANALOG. Funcionamiento cuando el subIV se encuentra habilitado.

Para realizar desde LabVIEW la captura de un dato analógico se procede en dos partes. La primera parte comienza con el vaciado del buffer de entrada mediante la lectura del total de sus datos, que son ignorados una vez que han sido leídos. Esto se hace para no capturar datos residuales no deseados del buffer.

En seguida se hace el envío a la DAQPIC18F4550 de los cuatro comandos de configuración del puerto: ID\_OPERACIÓN, PUERTO, CANAL y REFERENCIA.

La segunda parte consiste en la recepción de los datos que la DAQPIC18F4550 envía a LabVIEW. Para ello se encuesta el número de datos presentes el buffer y a continuación se leen todos. El resultado será presentado en formato de entero sin signo de 8 bits y también como carácter.

## 2.9. Puerto USART

De manera similar a los anteriores, este subIV lee los datos existentes en puerto y lo limpia, escribe una palabra de configuración que indicará al microcontrolador que trabajará con el puerto USART, después se envía un comando que selecciona el puerto a utilizar y se envía otro comando que indica si el puerto USART será usado como entrada o salida, si es salida escribe un dato y de ser entrada lee un dato.

La Figura 12 muestra el subIV PUERTOS USART y su panel frontal. El diagrama de bloques del subIV es similar al del subIV PUERTOS DIGI, la diferencia reside en que para los puertos digitales la constante ID\_OPERACION tiene un valor igual a uno y para el puerto serie tiene un valor de tres.

## 2.10. Bloque DESCONECTAR

En la Figura 13 se muestra el bloque de la función DESCONECTAR DAQPIC18F4550 utilizada para cerrar la comunicación con la tarjeta de adquisición de datos. Usando esta función se cierra el canal de comunicación través del puerto serie virtual con el que se haya establecido comunicación.

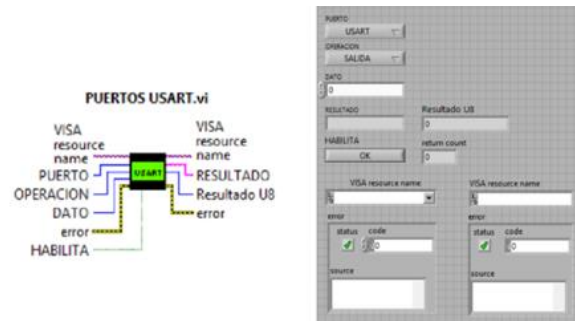


Figura 12. Ícono y panel frontal del SubIV PUERTOS USART.

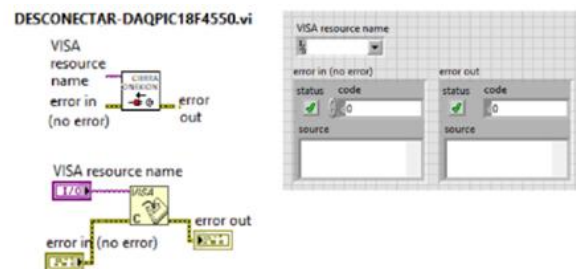


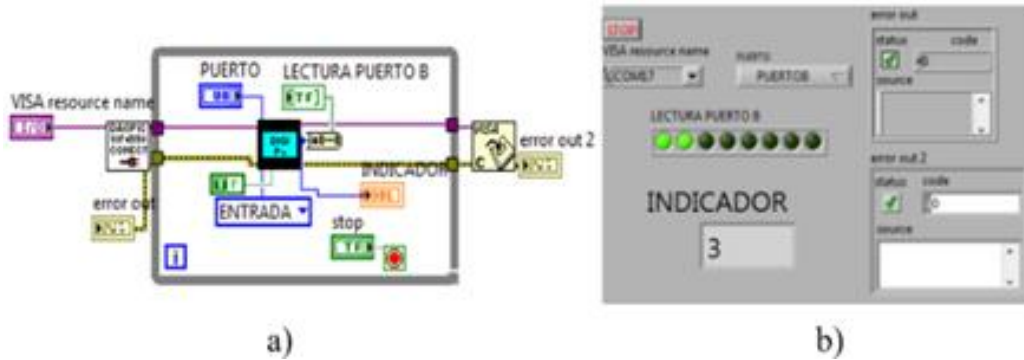
Figura 13. Ícono, bloques y panel frontal del subIV DESCONECTAR-DAQPIC18F4550.

## 3. Resultados

Se diseñaron instrumentos virtuales en LabVIEW para desempeñar tareas de adquisición de datos y probar la funcionalidad de la librería DAQPIC18F4550 integrada en LabVIEW y del firmware propuesto para la tarjeta de adquisición de datos DAQPIC18F4550.

### 3.1. Prueba de los puertos digitales

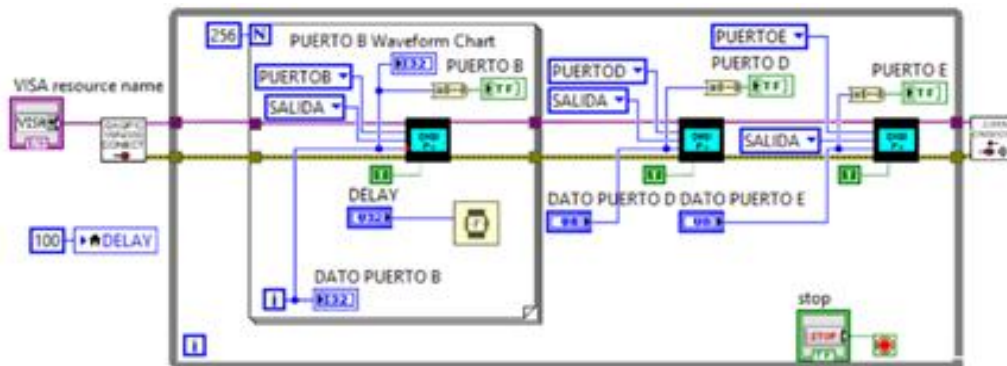
Para probar la funcionalidad de los puertos digitales se realizaron dos instrumentos virtuales. En la Figura 14 a) se muestra el diagrama de bloques y en la Figura 14 b) el panel frontal, del instrumento virtual que lee un dato procedente del PUERTO B de la tarjeta DAQPIC18F4550 y lo muestra mediante un par de indicadores, uno de los cuales es un arreglo de ocho diodos LED virtuales y el otro es un indicador numérico.



**Figura 14.** Prueba de lectura del PUERTO B como puerto digital. a) Diagrama de bloques. b) Panel frontal.

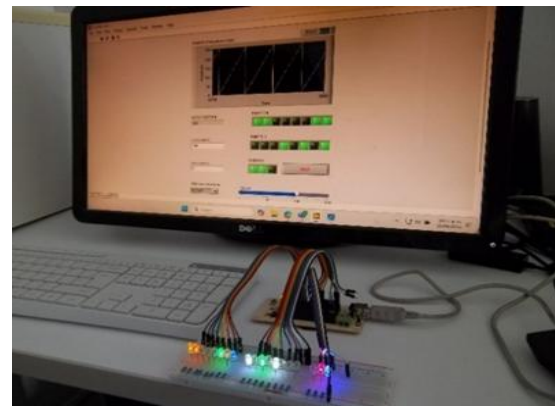
La Figura 15 muestra el diagrama de bloques de un instrumento virtual que utiliza los puertos digitales PUERTOB, PUERTOD y

PUERTOE, de la tarjeta DAQPIC18F4550, como puertos de salida.



**Figura 15.** Diagrama de bloques que configura PUERTOB, PUERTOD y PUERTOE como puertos digitales de salida.

En la Figura 16 se muestra el panel frontal de ese instrumento virtual, el cual, se comunica con la DAQPIC18F4550 y por el PUERTOB saca un conteo de 0 a 255 que se repite; por el PUERTOD saca un valor que el usuario proporciona con un control numérico a través del panel frontal, y de manera similar se proporciona un dato de tres bits que se exhibe por el PUERTOE, de tres bits.



**Figura 16.** Instrumento virtual para probar simultáneamente tres puertos de salida digitales.

### 3.2. Prueba de los puertos analógicos.

Para probar los puertos analógicos se realizaron dos pruebas. La primera con el instrumento virtual mostrado en la Figura 17,

utilizando el PUERTO B de la DAQPIC18F4550 como puerto digital de salida y el canal 0 del PUERTO A, como entrada analógica. El instrumento virtual generó una secuencia de valores de 0 a 255 que se entregó a la DAQPIC18F4550 para desplegarse por su PUERTO B.

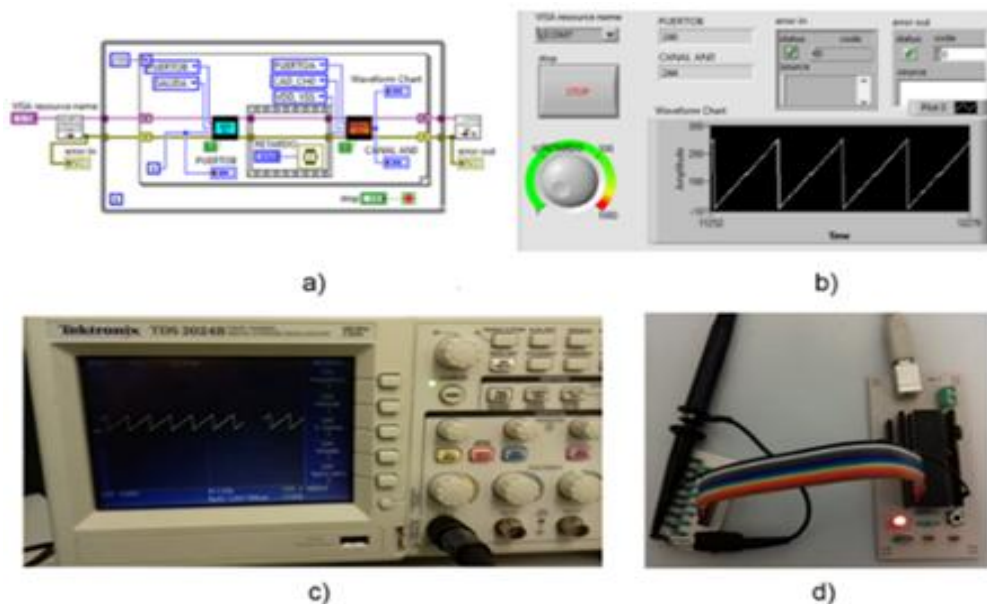
En las terminales del PUERTO B se conectó un módulo convertidor digital a analógico en escalera R-2R de 8 bits, cuya salida se conectó a su vez a la entrada del canal AN0 del PUERTO A de la DAQPIC18F4550. El convertidor produjo a su salida una señal analógica de voltaje, que medida con el osciloscopio mostró una señal con forma de onda de rampa escalonada ascendente, con valores en el rango de 0V a 5V, con una resolución de 19.6mV/escalón. El instrumento virtual leyó la entrada analógica y graficó en el panel frontal la señal de voltaje recibida con forma de onda de rampa lineal escalonada ascendente, con valores enteros en el rango de 0 a 255.

En la Figura 17 a) se muestra el diagrama de bloques del instrumento virtual empleado

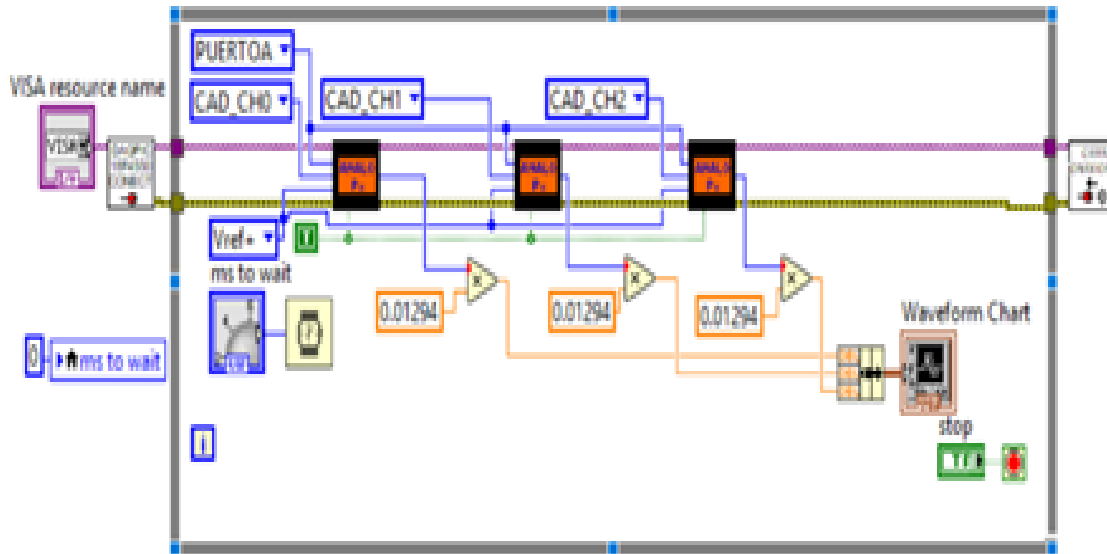
para la prueba. En la Figura 17 b) muestra el panel frontal, con la señal leída por el canal AN0 del PUERTO A de la tarjeta DAQPIC18F4550. En la Figura 17 c) se muestra en el osciloscopio, la señal de salida del convertidor de digital a analógico, colocado a la salida del PUERTO B. En la Figura 17d) se muestra el módulo convertidor de digital a analógico tipo escalera R-2R conectado a la salida del PUERTO B, y que se utiliza para producir la señal en rampa escalonada ascendente que se entrega al osciloscopio y que se reingresa a través del canal AN0.

La segunda prueba de la función PUERTOS ANALOG, se realizó capturando las señales Ax, Ay y Az producidas por un acelerómetro ADXL335 de tres ejes analógico, cuyas salidas se conectaron a las terminales de los canales AN0, AN1 y AN2 del PUERTO A analógico.

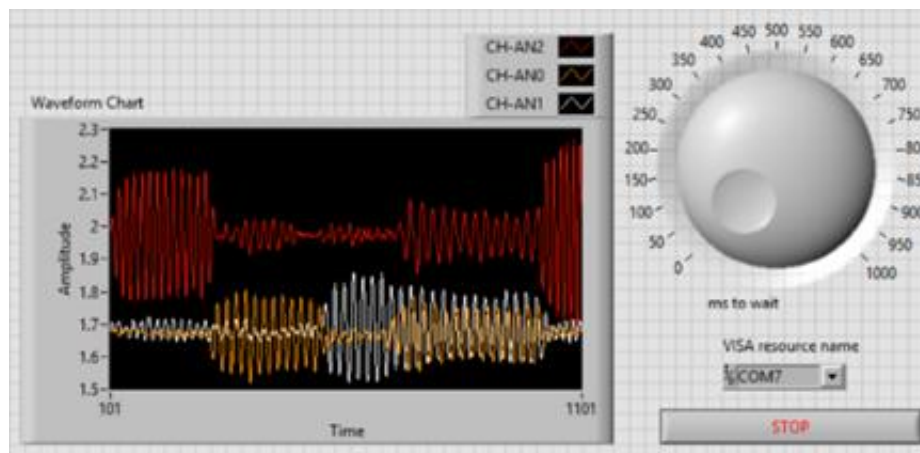
El diagrama de bloques del instrumento virtual utilizado para esta prueba se muestra en la Figura 18 y el panel frontal se muestra en la Figura 19.



**Figura 17.** Prueba de adquisición por puerto analógico. a) Diagrama de bloques del instrumento virtual. b) Panel frontal. c) Señal producida por el convertidor digital a analógico en escalera. d) Convertidor R-2R conectado al PUERTO B digital.



**Figura 18.** Diagrama de bloques de un instrumento virtual para lectura de las señales producidas por un acelerómetro ADXL335.



**Figura 19.** Panel frontal del instrumento virtual para lectura de las tres señales producidas por un acelerómetro ADXL335.

### 3.3. Pruebas del puerto USART

Se realizaron dos pruebas para comprobar el funcionamiento de la función PUERTO USART. En la primera prueba se emplearon un par de tarjetas DAQPIC18F4550 que se comunicaron entre ellas por medio de módulos de radiofrecuencia HC-12 conectados al puerto USART de cada una.

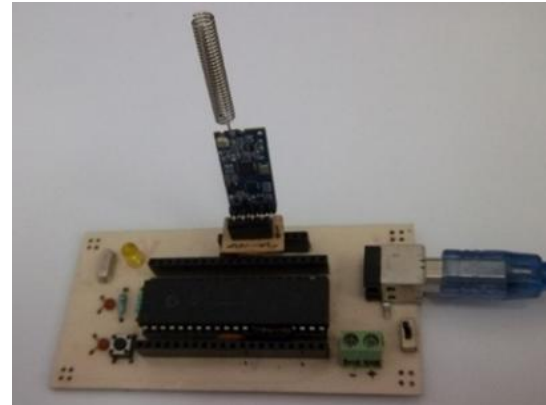
La Figura 20 muestra una tarjeta DAQPIC18F4550 con módulo de comunicación HC-12 y antena de radiofrecuencia.

Una tarjeta DAQPIC18F4550 funcionó como emisora y transmitió una secuencia numérica del 0 a 9 empleando el módulo transmisor de radiofrecuencia conectado a su puerto USART. La secuencia transmitida se captó en el módulo receptor de la segunda tarjeta y la señal fue retransmitida de regreso hacia la primera tarjeta.

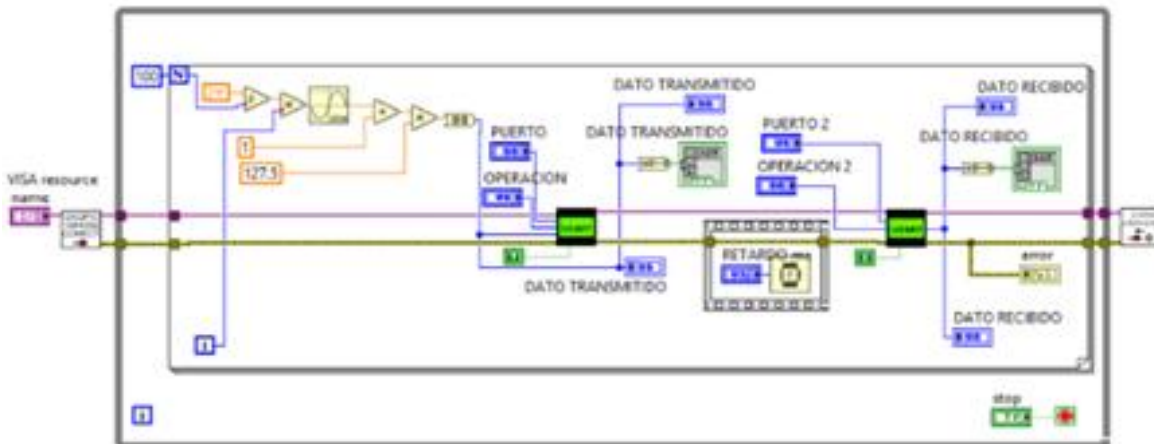
En la Figura 21 se muestra el diagrama de bloques del instrumento virtual que se utilizó para manejar la DAQPIC18F4550, que

transmitió la señal de radio y recibió la señal retransmitida.

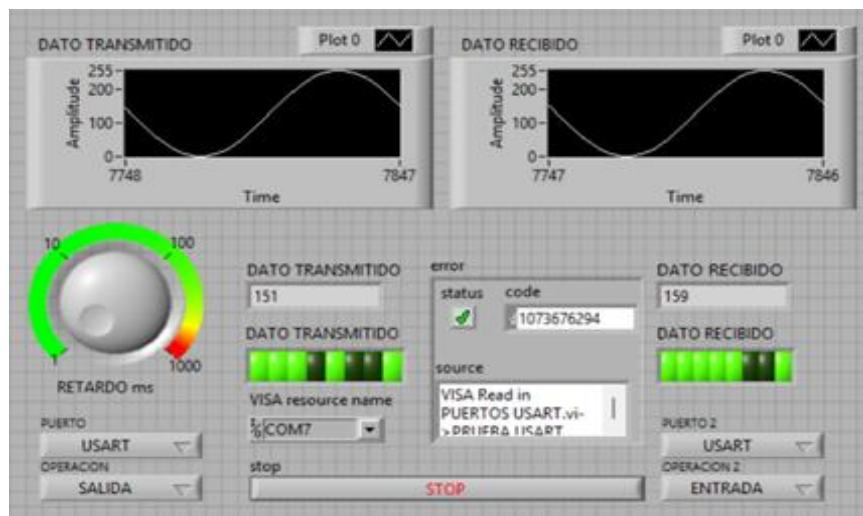
En la Figura 22 se muestra el panel frontal del instrumento virtual para la prueba de envío y recepción con la función PUERTO USART.



**Figura 20.** Tarjeta DAQPIC18F4550 con módulo de comunicación HC-12 y antena de radiofrecuencia, para prueba de puerto USART.



**Figura 21.** Diagrama de bloques del instrumento virtual para la prueba de transmisión con la función PUERTO USART enviando y recibiendo de regreso una secuencia numérica.



**Figura 22.** Panel frontal del instrumento virtual para la prueba de transmisión y recepción con la función PUERTO USART.

La segunda prueba de la función PUERTO USART consistió en generar una secuencia periódica de  $N$  valores de una señal senoidal de valores enteros sin signo, de amplitud 127.5 y offset de 127.5. Como argumentos se emplearon  $N$  valores en intervalo de 0 a  $2\pi$  distribuidos uniformemente.

Los valores enteros de la secuencia senoidal periódica se entregaron a la DAQPIC18F4550 para ser transmitidos mediante su puerto USART, en el cual se conectó un módulo de comunicaciones Bluetooth HC-05 que se enlazó con una aplicación diseñada para esta prueba. La aplicación residente en un teléfono móvil, recibió los valores que fueron transmitidos de la señal senoidal entera, los graficó en su interface de usuario y los publicó en una base de datos en un servidor en internet, donde pueden ser consultados y graficados de forma remota por una aplicación similar.

Los valores de la señal senoidal generada por el instrumento virtual de prueba también fueron entregados al PUERTO B, configurado como puerto de salida y en el cual se colocó un módulo convertidor de digital a analógico en escalera, de 8 bits, cuya terminal de salida generó voltajes analógicos en el rango de 0V a 5V.

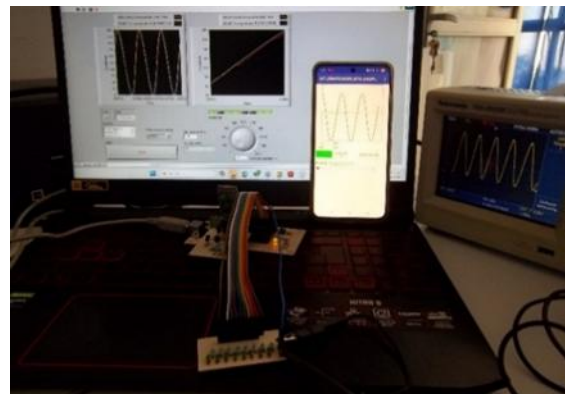
La terminal de salida del convertidor se conectó a la terminal analógica de entrada AN0 de la DAQPIC8F4550 y la señal de voltaje generada fue capturada por el instrumento virtual y graficada junto con la señal original generada. La terminal de salida del convertidor también fue entregada a un osciloscopio digital mostrando una onda senoidal escalonada que oscila entre 0V y 5V.

La Figura 23 muestra la graficación en el teléfono móvil de la señal transmitida desde la tarjeta DAQPIC18F4550 mediante comunicación Bluetooth, así como la señal analógica generada, mostrándola tanto en el

osciloscopio como en panel frontal del instrumento virtual que controla este sistema.

### 3.4 La frecuencia de muestreo

La librería y el firmware proveen a la tarjeta con recursos digitales, analógicos y de comunicación que le permiten ejecutar tareas de instrumentación virtual básicas para control o monitoreo en sistemas de variables de dinámica lenta. Constituyen un sistema tipo maestro – esclavo, en donde el instrumento virtual en LabVIEW se comporta como el maestro y la tarjeta como el esclavo. El maestro, por medio de una función de la librería, envía una instrucción o tarea mediante un grupo reducido de comandos y el esclavo responde ejecutando la tarea de actuación o de adquisición.



**Figura 23.** Prueba de transmisión – recepción con la función PUERTO USART.

Los tiempos de ejecución dependen del tipo de tarea que realiza el microcontrolador. El instrumento virtual de la Figura 24 se utilizó para medir el tiempo de ejecución de los tipos de tarea que realiza la tarjeta. La figura 25 muestra el diagrama de bloques. El instrumento virtual tiene una función de escritura digital del valor 255 o el valor 0, alternadamente, en el puerto B. La segunda función es de lectura digital en el puerto digital D. El tercer bloque es una función de lectura del canal analógico AN0, y el cuarto bloque es una función de escritura sobre el puerto USART, en el cual coloca el valor 235.

Todos los bloques de función se encuentran contenidos en un lazo While. En cada interacción se captura el tiempo del sistema medido en segundos y se resta del tiempo obtenido en la iteración anterior, midiendo así el tiempo que transcurre entre iteraciones consecutivas, que es el tiempo en el que se ejecutan las funciones dentro del ciclo While, al que llamaremos  $T_{fn}$ . En cada iteración se calcula también el promedio de las últimas 10 iteraciones,  $T_{fn\_promedio}$ . También se midió el tiempo de ejecución usando un osciloscopio digital.



Figura 24. Instrumento virtual de prueba para medir  $T_{fn}$  y  $T_{fn\_promedio}$ .

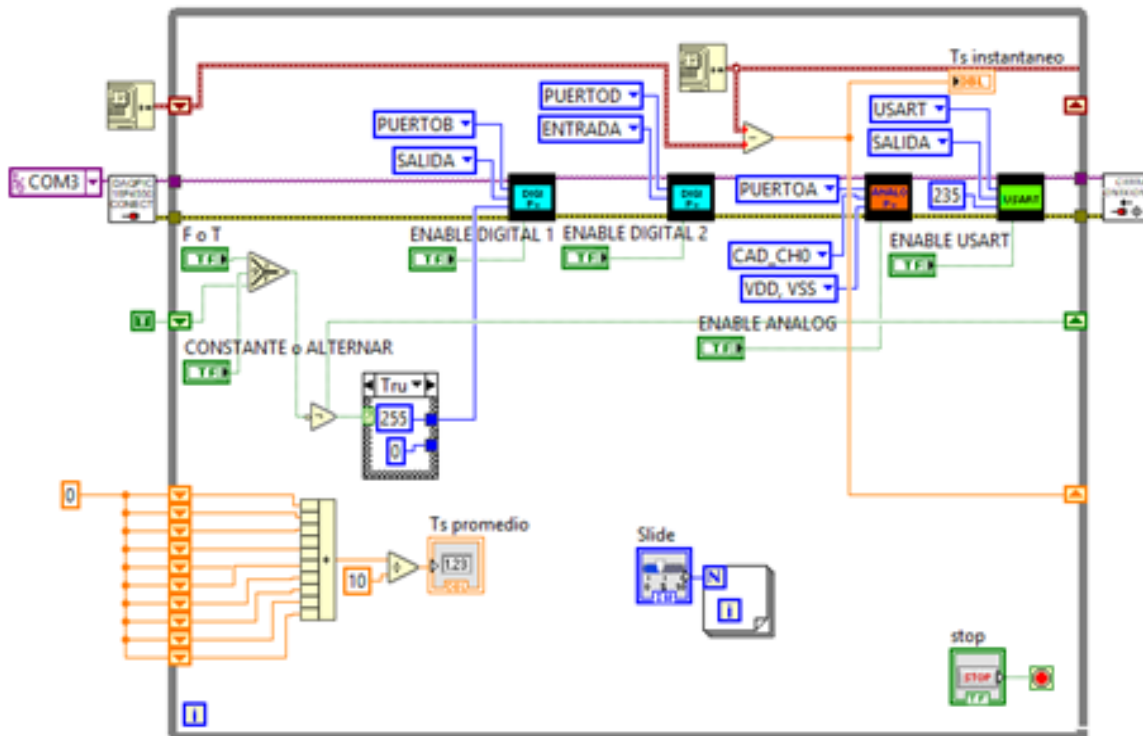
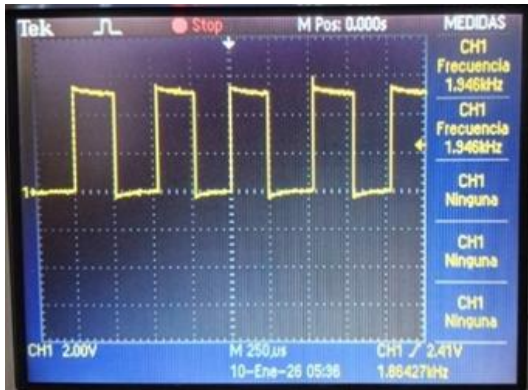


Figura 25. Diagrama de bloques del instrumento de prueba de la Figura 23.

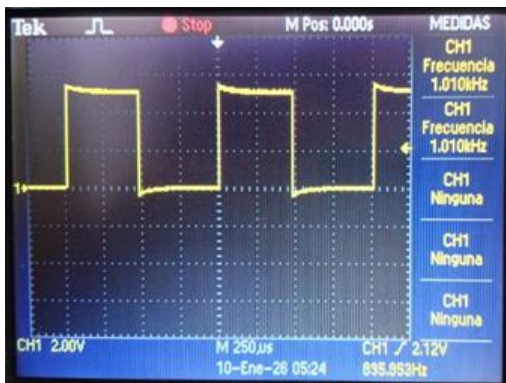
Cada uno de los bloques de las funciones tiene una entrada de habilitación. La primera medición del tiempo de ejecución se hizo con la función digital de escritura, deshabilitando los demás bloques. El bloque escribe alternadamente los valores 255 en un ciclo y 0 en el siguiente, en el PUERTO B. Con el osciloscopio se midió el voltaje que se produce en la terminal 40, correspondiente a

la terminal PB7 del PUERTO B. La forma de onda que se produce se muestra en la Figura 26.



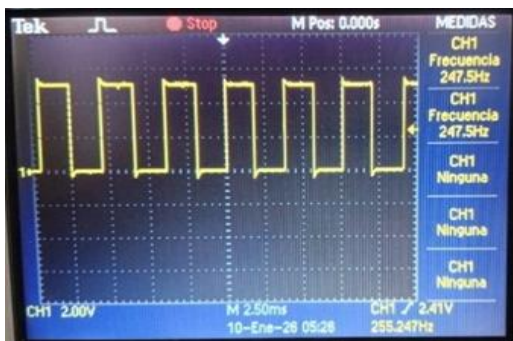
**Figura 26.** Tiempo de ejecución de una función digital de escritura,  $T_{fn} = 257 \mu\text{s}$ .

La Figura 27 muestra la medición del tiempo de ejecución de dos bloques digitales. El primero realiza la operación de escritura y el segundo de lectura del PUERTOD. Los bloques analógico y USART se deshabilitan.



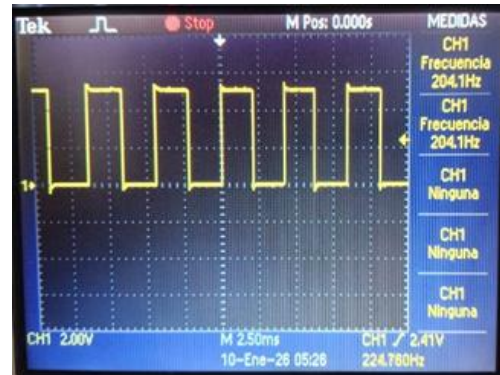
**Figura 27.** Tiempo de ejecución de dos funciones digitales escritura y lectura,  $T_{fn} = 495 \mu\text{s}$ .

La Figura 28 muestra la medición del tiempo de ejecución de un bloque digital de escritura y un bloque analógico de lectura.



**Figura 28.** Tiempo de ejecución de una función digital y una analógica,  $T_{fn} = 2020 \mu\text{s}$ .

La Figura 29 muestra el tiempo de ejecución de un bloque de función digital de escritura y el bloque de función de transmisión por el puerto USART.



**Figura 29.** Tiempo de ejecución de una función digital y una función USART de escritura,  $T_{fn} = 2450 \mu\text{s}$ .

De esto se deduce que para la función digital de escritura la frecuencia de ejecución es de 3906 ejecuciones/s. Para las tareas de lectura digital el tiempo de ejecución es de 4201 ejecuciones/s. La función de lectura analógica tiene una frecuencia de ejecución de 567 ejecuciones/s y la función de escritura en el puerto serie USART es 456 ejecuciones/s, todas ellas con valores aproximados.

Cada función de la librería se ejecuta sobre demanda, y en el caso de ejecutarse sola una de ellas en un ciclo while en LabVIEW, alcanzarían la frecuencia de ejecución que se ha descrito. Para una tarea de toma o entrega de muestras, esta frecuencia de ejecución sería la equivalente a la frecuencia o tasa de muestreo, sin embargo esta no sería uniforme debido a la variabilidad de condiciones entre la ejecución de un ciclo y el siguiente.

También se debe considerar que cada tarea se ejecuta en forma secuencial en la tarjeta, aún cuando se programen de forma concurrente en LabVIEW, por lo que si hay dos tareas ejecutándose en forma concurrente en LabVIEW, la DAQPIC18F4550 las ejecuta en forma secuencial y la frecuencia de

ejecución por ciclo o de muestreo se reducirá.

### 3.5. Comparación con la DAQ NI USB 6008

La NI USB-6008 es una tarjeta de adquisición de datos, multifunción, comercial, de bajo costo, ampliamente usada en la instrumentación virtual con las librerías DAQMx.

La Tabla 5 muestra una comparación de los recursos disponibles en la tarjeta DAQPIC18F4550 con el firmware realizado y los recursos de la NI USB 6008.

**Tabla 5.** Comparación de DAQPIC18F4550 con NI USB-6008.

Características	NI USB-6008	DAQPIC18F4550
Terminales digitales I/O	12	30
Entradas analógicas	8	13
Entradas analógicas diferenciales	4	No
Resolución	10 bits	10 bits
Salidas analógicas	2	No (disponibles con módulo de expansión R-2R)
Frecuencia de muestreo	10 kS/s	400 S/s
Puerto USART	No	Sí
Contador	Sí	No
Costo en USD	\$400 - \$520	\$35
Librería de control	NI-DAQMx	DAQPIC18F4550

La DAQPIC18F4550 no tiene puertos de salida analógicos, pero se usaron tarjetas de expansión que implementan un convertidor de digital a analógico en escalera R-2R de 8 bits, el cual puede ser utilizado con los puertos digitales PUERTO B y PUERTO D.

La tarjeta DAQPIC18F4550 tiene puerto de comunicaciones USART que la habilitan para aplicaciones de control y monitoreo remoto.

La frecuencia de muestreo de la NI-USB es mucho mayor que la correspondiente a la DAQPIC18F4550.

### 4. Discusión de resultados

Las tarjetas de desarrollo que llevan a cabo tareas específicas de adquisición de datos, requieren de realizar la programación de la interfase de usuario, la programación de la tarjeta de desarrollo para desempeñar esa tarea específica y la comunicación de la interfase de usuario con la tarjeta.

A diferencia de ese tipo de sistemas reportados en la literatura científica, el conjunto formado por la tarjeta de adquisición de datos DAQPIC18F4550, su firmware y su librería de control integrada en LabVIEW presentada en este trabajo, permite desarrollar una variedad de tareas sin tener que reprogramar para cada una de ellas al microcontrolador de la tarjeta de desarrollo, como se mostró en los instrumentos virtuales de las pruebas de las funciones de la librería, donde se llevaron a cabo tareas múltiples con los diferentes tipos de funciones.

Se pueden desempeñar funciones similares a las de tarjetas comerciales de bajas prestaciones, como la NI USB-6008, superándola en algunos recursos, como mayor número de puertos y terminales digitales, mayor número de canales de entrada analógicos, disponibilidad de un puerto de comunicaciones seriales para transmisión y recepción de datos, con el cual se puede acceder a otras funcionalidades como la de comunicación bluetooth, conectando a él un módulo como el HC-05 o comunicación por radiofrecuencia mediante la conexión del módulo RF HC-12, lo que permite utilizarla para tareas de monitoreo y control remoto de muy baja tasa de datos por segundo.

Los módulos de comunicaciones bluetooth habilitan la comunicación de la tarjeta con otros dispositivos con esa conectividad, por ejemplo, computadoras o dispositivos móviles como tabletas y teléfonos inteligentes.

La DAQPIC18F4550 es de bajo costo y no fue desarrollada para tareas de alta frecuencia de muestreo. Con el firmware y la librería desarrollados, es funcional para tareas básicas de adquisición de datos en sistemas cuyas variables tienen dinámica lenta. Entre otros, es apropiada para su uso en aplicaciones como las que se describen en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Ejemplos de aplicación.

Aplicación	Ancho de banda	Justificación
Invernaderos	< 10 Hz	Dinámica lenta
Riego automatizado	< 1 Hz	Control discreto
Domótica	Eventos	Baja latencia requerida
Instrumentación térmica	< 5 Hz	Procesos lentos
Pruebas mecánicas	< 10 Hz	No continua

## 5. Conclusiones

En este trabajo se logró el objetivo de diseñar e implementar una biblioteca de instrumentación virtual integrable en LabVIEW y el firmware para controlar una tarjeta de adquisición de datos basada en el microcontrolador PIC18F4550, que gestiona sus puertos digitales, analógicos y de comunicaciones seriales asíncronas, sin reprogramar el microcontrolador de la tarjeta cada vez que se utiliza para realizar tareas diferentes. Las funciones de la librería controlan la tarjeta como un sistema maestro – esclavo y la tarea de cada función se ejecuta bajo demanda. Cada tarea encargada a una función de la librería se atiende hasta que se completa la ejecución de la misma. Se pueden combinar funciones en los instrumentos virtuales en LabVIEW y el firmware las

ejecutará en forma secuencial.

Las librerías y el firmware de la tarjeta de adquisición de datos DAQPIC18F4550, permiten programar instrumentos virtuales para realizar tareas de control o monitoreo en sistemas de dinámica lenta que requieran bajas tasas de muestreo. En tales sistemas se monitorean variables como temperatura y humedad, se realiza control de entradas y salidas digitales, así como control de actuadores. En este tipo de operaciones no se compromete el funcionamiento del sistema con la baja tasa de muestreo.

La disponibilidad del manejo del puerto serie USART de la tarjeta permite conectarla con módulos de comunicaciones bluetooth con lo cual podemos enlazar los instrumentos virtuales en LabVIEW con aplicaciones residentes en dispositivos móviles como teléfonos o tabletas usando la función USART de la librería propuesta. Además, si se conecta un módulo de comunicación por radiofrecuencia al puerto serie, se habilita que la tarjeta se enlace de manera inalámbrica con otros dispositivos, permitiendo implementar sistemas distribuidos de control o monitoreo remoto, que requieran baja tasa de muestreo.

El sistema compuesto por la librería, el firmware y la tarjeta de adquisición de datos de este trabajo no está diseñado para la adquisición continua de datos de alta velocidad. Este tipo de enfoque usado en este trabajo es adoptado por ejemplo en sistemas de monitoreo que usan el protocolo ligero de IoT denominado MQTT, que está orientado al manejo discreto de mensajes entre dispositivos.

La lógica del firmware y de las librerías DAQPIC18F4550 en LabVIEW es simple, modular, escalable y migrable para implementarse con otros tipos de tarjetas de desarrollo o microcontroladores. El software y el firmware asociado con este trabajo están

disponibles en: <https://github.com/Alex-MaRa/Integrable-Library-on-LabVIEW-and-Firmware-for-Data-Acquisition-Card-Control>.

Como trabajo futuro se desarrollarán aplicaciones de monitoreo y control utilizando la librería y la tarjeta de adquisición de datos presentada en este trabajo. También se ampliarán las capacidades de la tarjeta DACPIC18F4550 mediante la incorporación de nuevos módulos de adquisición y control, se implementarán funciones de conversión digital a analógica y soporte para protocolos de comunicación industrial como I<sup>2</sup>C, SPI y CAN. Se desarrollarán librerías integrables en LabVIEW como librerías de usuario para controlar otras tarjetas de adquisición y tarjetas de desarrollo de bajo costo y mejores prestaciones basadas en microcontroladores ESP32, con el propósito de incorporar funciones asociadas al internet de las cosas.

## 6. Referencias

- [1] Miron C., Olteanu S. C., Christov N. and Aitouche A., (2018), “Architecture for Embedded Supervisory System of Distributed Renewable Energy Sources”, *2018 7th International Conference on Systems and Control (ICSC)*, Valencia, Spain, pp. 258-262, doi: 10.1109/ICoSC.2018.8587771.
- [2] Abdelsattar A., Park E. J. and Marzouk A., (2022), “An OPC UA Client/Gateway-Based Digital Twin Architecture of a SCADA System with Embedded System Connections”, *2022 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, Sapporo, Japan, pp. 798-803, doi: 10.1109/AIM52237.2022.9863367.
- [3] Royandi M. A., Effendi I. A., Komara A. I., and Hung J. P., (2024), “Development of low-cost wireless monitoring system and its implementation on computer numerical control machine tool”, *Sensors and Materials*, vol. 36, no. 3, pp. 957–971, doi:10.18494/SAM4386
- [4] Suresh S., Yaswant S., Narendra Reddy T., and Vinod P., (2024), “Preliminary investigation on the development of low-cost vibration-based condition monitoring DAQ system in industry 4.0”, *MTT*, vol. 23, no. 5-6, pp. 1–7, doi:10.58368/MTT.23.5-6.2024.1-7
- [5] Azúa-Barrón M., Vázquez-Peña A., Arteaga-Ramírez R. and Hernández-Saucedo R., (2017), “Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma Arduino”, *Rev. Mexicana cienc. agric.*, vol. 8, no. 1, pp. 1-12, doi:10.29312/remexca.v8i1.67.
- [6] López-Vargas A., Fuentes M., García M. V. and Muñoz-Rodríguez F. J., (2019), “Low-Cost Datalogger Intended for Remote Monitoring of Solar Photovoltaic Standalone Systems Based on Arduino™”, *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 11, pp. 4308-4320, doi: 10.1109/JSEN.2019.2898667.
- [7] Martins S. A. M., (2023), “PYDAQ: Data acquisition and experimental analysis with Python”, *Journal of Open Source Software*, vol. 8, no. 92, p. 5662, doi:10.21105/joss.05662
- [8] Ojeda-Misses M. A. and Jarquín-Jiménez N., (2021), “Development of a Platform with Real-Time Performance for Electrical Circuits Education”, *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 19, no. 12, pp. 2147–2155, doi:10.1109/TLA.2021.9480158.
- [9] Kamat P., Shah M., Lad V., Desai P., Vikani Y., and Savani D., (2021), “Data acquisition using IoT sensors for smart manufacturing domain”, in *Innovations in*

- Information and Communication Technologies (IICT-2020)*, Singh P. K., Polkowski Z., Tanwar S., Pandey S. K., Matei G., and Pirvu D., Eds. Cham, Switzerland: Springer, doi: 10.1007/978-3-030-66218-9\_46.
- [10] Ambrož M., (2007), “Raspberry Pi as low-cost data acquisition system for human powered vehicles”, *Measurement*, vol. 100, pp. 7-18, doi:10.1016/j.measurement.2016.12.037.
- [11] Microchip Technology Inc., PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet, 2009. [Online]. Available: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632e.pdf>
- [12] Terzioğlu H., Herdem S., and Bal G., (2015), “The designing of data acquisition card through PIC18F4550 and an interface study”, in *Applied Mechanics and Materials*, vol. 752–753, Kim D., Hu J. W., Jung J., and Seo J., Eds. Stafa-Zurich, Switzerland: Trans Tech Publications Ltd., pp. 1191–1197. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.752-753.1191.
- [13] Hercog D. and Gergič B., (2014), “A flexible microcontroller-based data acquisition device”, *Sensors*, vol. 14, no. 6, pp. 9755-9775, doi:10.3390/s140609755.
- [14] Kale A. V., Bankar S. A. and Jagtap S. R., (2014), "Design of PIC microcontroller-based data acquisition module with lab VIEW interfacing", *2014 International Conference on Communication and Signal Processing*, Melmaruvathur, India, pp. 858-861, doi: 10.1109/ICCSP.2014.6949965.
- [15] Sarma P., Singh H. K., and Bezboruah T., (2018), “A real-time data acquisition system for monitoring sensor data”, *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, vol. 6, no. 6, pp. 539–542, doi:10.26438/ijcse/v6i6.539542
- [16] Atmane I., El Moussaoui N., Kassmi K., Deblecker O., and Bachiri N., (2021), “Development of an innovative cooker (hot plate) with photovoltaic solar energy”, *J. Energy Storage*, vol. 36, Art. no. 102399, doi:10.1016/j.est.2021.102399.
- [17] Hamil H., Azzaz M. S., Sakhi S., Kaibou R., and Hamil A., (2023), “Design of a thermal stabilizer based on USB data acquisition and control using LabVIEW and PIC microcontroller”, in *Proc. 2023 Int. Conf. Adv. Electron., Control Commun. Syst. (ICAECCS)*, Blida, Algeria, pp. 1–6, doi:10.1109/ICAECCS56710.2023.10104863.