TRANSVERSALIDAD CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Volumen 9, Número 2 | Julio - Diciembre 2025 ISSN:2448-895X
Revista de la Academia Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica

Transversalidad Científica y Tecnológica
Volumen 9, Número 2
2025

CONSEJO EDITORIAL
Dr. Fabio Chalé Lara
Dr. Ricardo García Alamilla
Mtra. Carla Patricia Sandoval Galiana
Dr. Rogelio Ortega Izaguirre
Dr. Ulises Páramo García
Dr. Josué Francisco Pérez Sánchez

COORDINACIÓN EDITORIAL
Mtra. Carla Patricia Sandoval Galiana

DISEÑO EDITORIAL
Dr. Josué Francisco Pérez Sánchez

Transversalidad Científica y Tecnológica, año 9, No. 2, julio-diciembre 2025, es una publicación semestral editada por la Academia Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., Convento de Acolman #136 Fracc. Campanario Residencial Altamira, Tamaulipas, México, C.P. 89607, atictac.oficial@gmail.com. Editor Responsable: Dr. Josué Francisco Pérez Sánchez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-072513322800-102, ISSN: 2448-895X, otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Número de certificado de Licitud de Título y Contenido: 17705. Imprenta: GROPPE, Calle Río Álamo 2571, El Rosario, Guadalajara, Jalisco, C.P. 44890. Distribuidor: Academia Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Los artículos publicados son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la opinión de la ATICTAC. El material publicado en esta revista puede reproducirse total o parcialmente siempre y cuando cuente con la autorización extendida por escrito de los autores de este y se mencione la fuente original.

PRÓLOGO

Esta revista es publicada por la Academia Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. (ATICTAC)

ATICTAC

Academia Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

CONTENIDO

	Página
Diseño de un sistema electrónico de bajo costo para la instrumentación de un reactor anaerobio electroquímico	**1**
Diagnóstico para el diseño de un sendero interpretativo en la Laguna Rosa, Soto La Marina, Tamaulipas	**11**
Anidamiento del pato real *Cairina moschata* en una zona urbana de Tamaulipas, México	**17**
Caracterización experimental de la respuesta de iluminancia y TCC de un banco fotométrico	**20**
Productividad del ganado Angus: peso al nacer	**29**

Diseño de un sistema electrónico de bajo costo para la instrumentación de un reactor anaerobio electroquímico

Cruz Nieto Carlos Alberto[1*], Salas Cabrera Rubén[1], Estrada Arriaga Edson Baltazar[2], Calderón Zavala Gabriel[1], Frausto Solís Juan[1].
[1]Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Juventino Rosas 114, Col. Los Mangos, Ciudad Madero, Tamaulipas, C.P. 89440, México.
[2]Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550, México.
[*]Autor de correspondencia: carlos.cn@cdmadero.tecnm.mx

RESUMEN

La creciente crisis hídrica global intensifica la necesidad de estrategias sostenibles para el tratamiento y reutilización del agua residual. En este contexto, los reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB, por sus siglas en inglés) se posicionan como una tecnología eficiente y de bajo consumo energético en comparación con los procesos de lodos activados. Los reactores UASB permiten una significativa reducción de la carga orgánica contaminante, generando biogás como subproducto aprovechable. Este trabajo se centra en el diseño de la instrumentación electrónica de un reactor UASB electroquímico. Se desarrollaron circuitos de acondicionamiento de señales y fuentes de alimentación para sensores de parámetros críticos (pH y flujo de biogás) que permiten conocer el estado del reactor, utilizando componentes de bajo costo y alta disponibilidad. Esto reduce las barreras económicas para la investigación aplicada y facilita la replicabilidad del sistema de instrumentación aplicado a los reactores bioelectroquímicos en entornos académicos, lo que representa una contribución significativa al desarrollo de tecnología con potencial de escalabilidad y aplicación en contextos de alta vulnerabilidad hídrica.

Palabras clave: **reactor electroquímico, tratamiento de aguas residuales, instrumentación, sistemas electrónicos, sensores**

ABSTRACT

The growing global water crisis intensifies the need for sustainable strategies for wastewater treatment and reuse. In this context, Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactors are positioned as an efficient, low-energy-consumption technology compared to activated sludge processes. UASB reactors allow for a significant reduction in organic pollutant load, generating biogas as a usable by-product. This work focuses on the design of electronic instrumentation for an electrochemical UASB reactor. Signal conditioning circuits and power supplies were developed for critical parameter sensors (pH and biogas flow) that allow the status of the reactor to be monitored, using low-cost and readily available components. This reduces the economic barriers to applied research and facilitates the replicability of the instrumentation system applied to bioelectrochemical reactors in academic environments, representing a significant contribution to the development of technology with potential for scalability and application in contexts of high-water vulnerability.

Keywords: **electrochemical reactor, wastewater treatment, instrumentation, electronic systems, sensors**

1. Introducción

El uso desmedido del agua tiene graves consecuencias para nuestro país. La falta de aplicación o la insuficiencia de las políticas hídricas han generado un estrés hídrico en numerosas cuencas, a lo que se suma que, según el INEGI, únicamente el 40 % de las aguas residuales reciben tratamiento [1].

Se requiere una inversión sustancial en infraestructura hídrica para ampliar el tratamiento de las aguas residuales. Este esfuerzo es indispensable para reducir la contaminación de los cuerpos receptores y, al mismo tiempo, aumentar el volumen de agua reutilizable [2]. Un desafío central en los procesos de tratamiento de aguas es el alto consumo energético. Una alternativa prometedora son los reactores UASB, que no solo demandan menos energía, sino que también producen sustancias de valor agregado como el biogás [3], el cual puede aprovecharse para generar energía eléctrica [4].

Como propuesta de solución a la problemática planteada, este trabajo se centra en el tratamiento de vinazas mezcaleras, las cuales tienen una alta carga orgánica contaminante, (valores alrededor de 50,000 mg/L de Demanda Química de Oxígeno o DQO), que en muchos casos son vertidas directamente al ambiente sin un tratamiento adecuado, provocando daños en los suelos y cuerpos de agua. En el tratamiento de aguas con reactores anaerobios electroquímicos, se puede utilizar una celda de electrólisis microbiana (CEM) [5], en la cual el control galvanostático (por corriente) supera al potenciostático (por voltaje) al regular directamente el flujo de electrones, lo que se correlaciona con la actividad microbiana adherida en forma de biopelícula en los electrodos (la cual tiene el objetivo dual de disminuir la carga orgánica contaminante en las aguas residuales a través de las reacciones metabólicas de los microorganismos anaerobios), esto potencia la eficiencia en la remoción de contaminantes. Este método asegura estabilidad operativa y reproducibilidad, manteniendo constante la carga orgánica contaminante removida incluso con variaciones en el influente, mientras el voltaje se ajusta automáticamente para compensar cambios en la biopelícula, además, opera dentro de límites metabólicos seguros. En contraste, el control por diferencia de potencial genera una corriente fluctuante, lo cual dificulta la reproducibilidad y conlleva riesgo de sobrecorrientes dañinas, comprometiendo la estabilidad del sistema. El monitoreo operativo incluye verificar los niveles de salida en el efluente y recirculación para prevenir variaciones en el caudal causadas por taponamientos, así como la medición diaria del pH del efluente y del flujo de biogás. Estas variables son críticas para diagnosticar el estado del reactor. Un síntoma claro de inhibición es la combinación de un pH fuera del intervalo de neutralidad entre 6.5 a 8.5 [6, 7, 8] y una caída en la producción de biogás producido es un indicador clave del estado del reactor; esto señalaría la necesidad de ajustar el caudal de agua en la recirculación o el pH, adicionalmente, al ser un reactor electroquímico, se requiere una fuente de corriente constante (entre 0.1 y 10 mA [9]) para alimentar los electrodos. Esta configuración no solo acelera la generación de biogás, sino que también debe operarse dentro de ese intervalo para evitar la lisis celular de las bacterias anaerobias. Este fenómeno suele estar asociado a valores de corriente o voltaje elevados, lo que demanda ajustes operativos urgentes [6]. La inhibición del proceso, obligaría a reiniciarlo. Considerando que la estabilización del reactor puede tardar de uno a tres meses [8, 10], la pérdida de este estado representa un alto costo operativo. Con miras a la futura

automatización del reactor bioelectroquímico, se requiere el acondicionamiento de señales medidas mediante un microcontrolador o una tarjeta de adquisición de datos para permitir el control automático [11].

Tras haber identificado las variables críticas (pH, caudal de influente y flujo de biogás), se seleccionaron los sensores y actuadores adecuados para el reactor bioelectroquímico y se diseñaron los circuitos electrónicos para las fuentes de alimentación y de acondicionamiento de señales basados en amplificadores operacionales, además de la teoría presentada por Boylestad [12] en su obra.

2. Material y métodos

2.1 Armado y arranque del reactor

El reactor bioelectroquímico (figura 1a), fabricado en acrílico, consta de dos secciones principales unidas mediante una brida. En la parte inferior del reactor se localizan dos válvulas para el ingreso del influente y la recirculación del agua residual. En este mismo sector se alojan el lodo granular anaerobio (encargado de la descontaminación del agua y la producción de biogás) y los electrodos. En la parte superior se encuentran la salida de la recirculación, la salida del efluente y la salida y punto de muestreo de biogás.

Partiendo de un volumen de reactor ($V_{reactor}$) de 14.93 L y de un tiempo de residencia hidráulica (*TRH*) de 3 días, se determinó el caudal de recirculación. Este caudal (*Q*) es la variable principal de control para garantizar la estabilidad del proceso y se obtuvo mediante la ecuación 1.

$$Q = \frac{V_{reactor}}{TRH} \qquad (1)$$

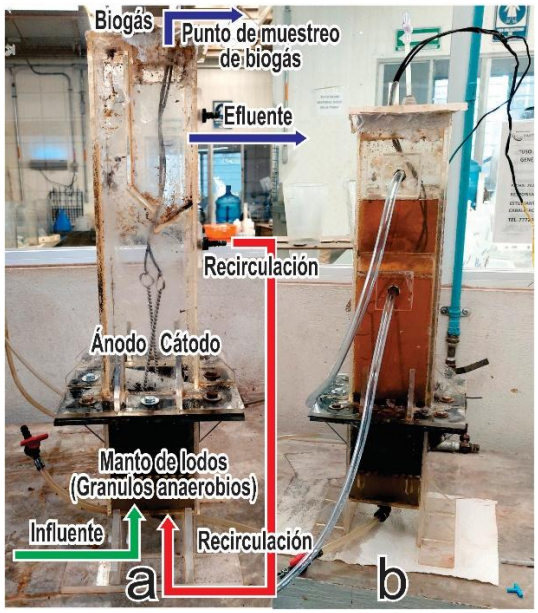

Figura 1 a) Descripción de la configuración del reactor bioelectroquímico; b) Reactor armado y operando con la vinaza mezcalera

Con un caudal para el influente calculado de 3.45 mL/min, se seleccionó la bomba peristáltica para la alimentación y recirculación del reactor. Dado que la vinaza es ácida (pH entre 3 y 4), fue necesario ajustar el pH del influente a un valor neutro de 7. Esto se logró mediante la adición de hidróxido de sodio 3 M hasta alcanzar la neutralidad. Asimismo, la temperatura del reactor debe mantenerse constante en un valor de 35°C.

2.2 Selección de la bomba peristáltica

La bomba seleccionada para la alimentación del influente y recirculación es la bomba peristáltica Kamoer®, modelo NKP-DCL-S10Y (figura 2).

Esta opera con un motor de 12 V de corriente directa y 5 W, es autocebante y tiene un peso aproximado de 110 g. Utiliza un tubo de silicón con buena resistencia térmica y baja tendencia al envejecimiento, lo que lo hace adecuado para líquidos poco corrosivos. La dirección del flujo se controla invirtiendo la

polaridad de sus terminales y los rangos de flujo con controlador de velocidad están entre 10 y 60 mL/min y sin controlador, de 0 a 200 mL/min.

Figura 2. Bomba peristáltica Kamoer® NKP-DCL-S10Y

Esta es ideal para manejar caudales bajos (3.47 - 8.33 mL/min) requeridos por el reactor. Además, el líquido solo entra en contacto con el tubo de silicón, lo que previene la contaminación del cultivo bacteriano interno y evita la corrosión de la bomba. Finalmente, ofrece un alto grado de precisión y control en el bombeo, esencial para mantener la estabilidad del proceso.

2.3 Circuito controlador de la velocidad para la bomba peristáltica

Para el control de velocidad de la bomba peristáltica se diseñó un circuito basado en el amplificador operacional TL081, que implementa la técnica de Modulación por Ancho de Pulso (PWM, por sus siglas en inglés), mostrado en la figura 3.

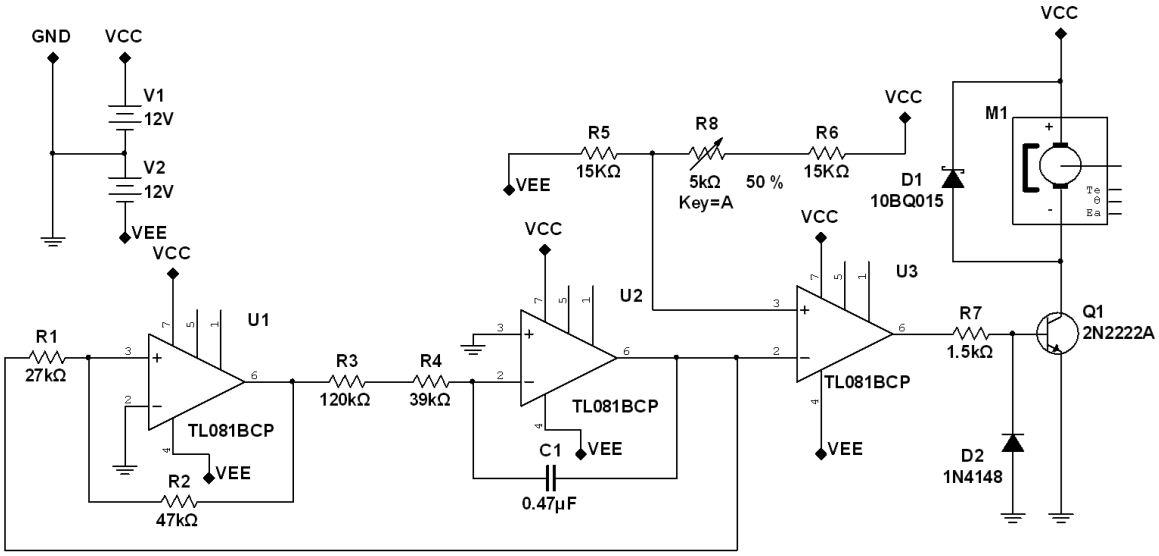

Figura 3. Circuito controlador de la bomba mediante modulación por ancho de pulso

Este método regula la velocidad aplicando al motor una señal de pulsos de voltaje a una frecuencia constante. La clave del control reside en variar el ciclo de trabajo, es decir, el porcentaje de tiempo que la forma de onda de voltaje está en estado "alto" (voltaje máximo) versus el tiempo en estado "bajo" (0 V). Un ciclo de trabajo mayor resulta en una velocidad promedio más alta para el motor, permitiendo un ajuste preciso y eficiente del flujo sin necesidad de variar continuamente el voltaje de alimentación.

2.4 Circuito para controlar la corriente

Se diseñó una fuente de corriente constante (figura 4) en el intervalo de 0.2 a 4 mA que hace circular a través de los electrodos del reactor. El circuito se basa en una configuración de resistencias y un

convertidor CD-CD en la rama del transistor para lograr la regulación. La corriente de salida puede ajustarse mediante la variación del voltaje V2 y, además, puede ser monitoreada a través de una señal registrada en un software de adquisición de datos.

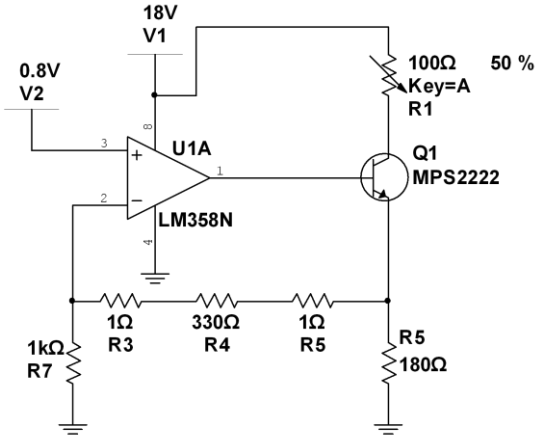

Figura 4. Diseño para fuente de corriente constante para los electrodos

2.5 Selección del sensor de flujo de biogás

El sensor seleccionado para medir el flujo volumétrico de biogás es el Honeywell® AWM 3150V (figura 5).

Figura 5. Sensor de flujo de biogás Honeywell® AWM 3150 V

Este opera con un voltaje de alimentación entre 8 y 15 V y tiene un intervalo de medición entre 0 mL/min a 30 mL/min. El sensor es adecuado para este reactor, el cual produce entre 5 y 12 L de biogás por día, equivalente a un flujo de 3.47 mL/min a 8.33 mL/min. Dada la necesidad de medir flujos tan pequeños, este sensor resulta idóneo, además de ser de bajo costo en comparación con otros instrumentos del mercado. Una de las ventajas clave es que mide el flujo volumétrico directamente en centímetros cúbicos estándar por minuto (sccm, por sus siglas en inglés). Esto compensa automáticamente las variaciones de temperatura y presión, permitiendo medir el volumen de gas en condiciones estandarizadas.

2.6 Circuito de la fuente de alimentación para el sensor de biogás

La fuente de alimentación se muestra en la figura 6.

El circuito diseñado necesitaba una salida estable de aproximadamente 10 V. Esto se logró conectando dos diodos Zener de 5.1 V en serie, obteniendo un voltaje de salida de 10.2 V y una corriente de 5.99 mA. Para polarizar los diodos, se incluyó una resistencia de 100 Ω.

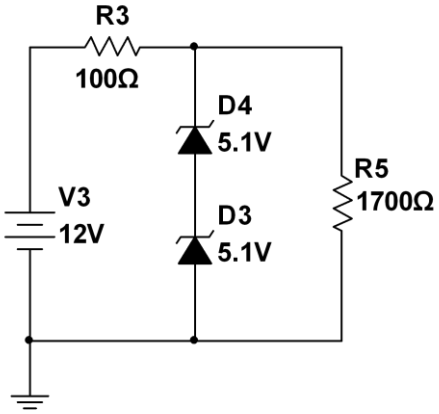

Figura 6. Diseño para la fuente de alimentación para el sensor de flujo

2.7 Circuito de acondicionamiento de señal para el sensor de biogás

Para integrar la señal del sensor a una tarjeta de adquisición de datos, se diseñó un circuito de acondicionamiento basado en el amplificador operacional OPA277 (figura 7).

Este componente, configurado como amplificador diferencial, permite amplificar las señales de entrada del sensor para su correcta lectura y registro para el posterior procesamiento. La funcionalidad del sistema se verificó conectando el sensor de flujo al circuito de acondicionamiento. De acuerdo con la hoja de datos del fabricante, se corroboró que un flujo cero en el sensor entregaba 1 V a la salida. Adicionalmente, se registraron diversos valores de flujo en función del voltaje para verificar el comportamiento general del sensor y contrastarlo con los datos del fabricante.

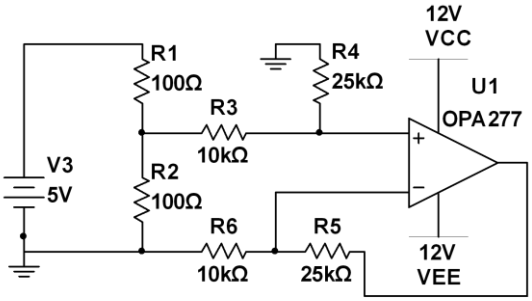

Figura 7. Circuito acondicionador de señales para el sensor de flujo de gas

2.8 Selección del sensor de pH

El módulo PH-4502C (figura 8a) con electrodo 201 (figura 8b) mide el pH de soluciones mediante un sensor galvánico, el cual se conecta mediante un cable coaxial (figura 8c) al módulo.

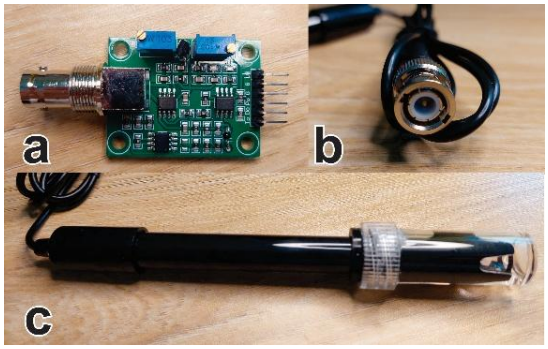

Figura 8. a) Sensor de pH; b) Módulo pH-4502C; c) Electrodo galvánico 201; d) Cable coaxial del electrodo

Este sensor genera una señal de voltaje proporcional a la acidez o alcalinidad de la solución. Dicha señal es amplificada y acondicionada internamente por el módulo (figura 8a) para que pueda ser interpretada por un microcontrolador o tarjeta de adquisición de datos. Sus principales especificaciones técnicas son: un voltaje de alimentación de 5 V, un consumo de corriente de 10 mA, un rango de medición de 0 a 14 pH y un tiempo de respuesta de 5 segundos.

2.9 Integración del sensor de pH a la placa Arduino®

Para la lectura de los valores de pH, se utilizó el módulo PH-4502C con el electrodo E201, conectado mediante un conector BNC (figura 8b). Este módulo incluye un potenciómetro para calibrar las mediciones. La interfaz con el sistema de adquisición de datos se realizó a través de una placa Arduino®, siguiendo las especificaciones del fabricante (figura 9).

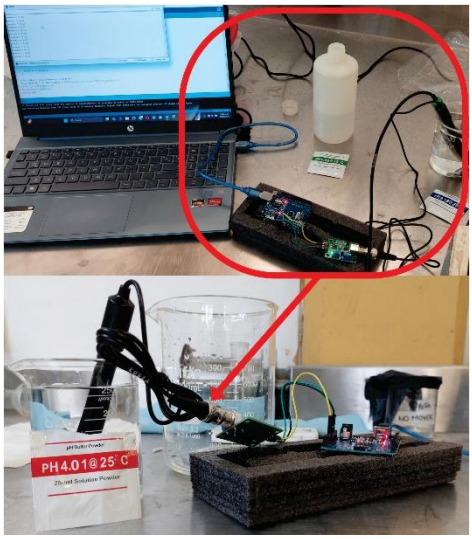

Figura 9. Interfaz de adquisición de datos conectado al sensor de pH

Las conexiones establecidas fueron: alimentación (VCC y GND) del módulo a la placa, y la señal de salida analógica del módulo (pin P0) a una entrada analógica del Arduino®. Esta configuración permite,

en la etapa inicial del trabajo, la calibración del sensor y la visualización de los datos en el monitor serial. Posteriormente, se cargó el código provisto por el fabricante en el Arduino® para obtener la lectura del voltaje del sensor. Una vez establecida la comunicación, se procedió a la calibración del sensor. Para ello, se prepararon tres soluciones buffer con 250 mL de agua destilada, con valores de pH de 4.01, 6.86 y 9.18. Tras la calibración con soluciones buffer, se obtuvo una curva de regresión lineal de mínimos cuadrados, donde se correlaciona un valor de pH para cada valor de voltaje, esto se programó en el Arduino®, con la finalidad de la medición de pH.

3. Resultados y discusión

3.1 Circuito controlador de la velocidad para la bomba peristáltica

La implementación del circuito PWM (figura 10) demostró la viabilidad del enfoque de bajo costo para el control de la velocidad de la bomba peristáltica, logrando un intervalo de flujo entre 0 – 4.8 mL/min. Este resultado valida el diseño propuesto.

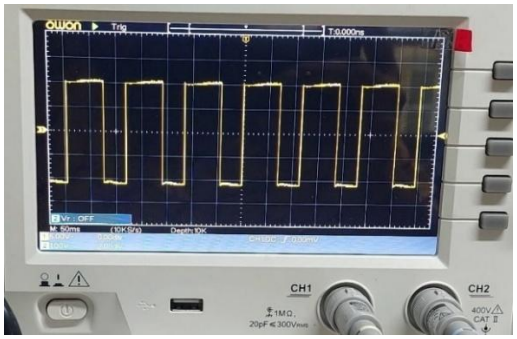

Figura 10. Forma de onda PWM

Este trabajo se alinea con la filosofía de bajo costo planteada por autores como Navoneel [13], quien utilizó una placa Arduino® para controlar una bomba peristáltica. Sin embargo, el diseño aquí presentado ofrece ventajas significativas en términos de adaptabilidad e integración, ya que muchas bombas peristálticas en el mercado tienen intervalos de operación para caudales más grandes, lo que provoca una mayor dificultad para adaptarlos a caudales pequeños (como en el caso de los reactores bioelectroquímicos a escala laboratorio).

A diferencia de soluciones genéricas, este circuito fue específicamente diseñado para ser modular y personalizable, permitiendo al usuario ajustar con precisión el caudal según sus necesidades específicas con modificaciones sencillas en el circuito. Esta versatilidad se ve potenciada por la posibilidad de implementar el diseño en una tarjeta electrónica dedicada y alojarlo en una carcasa impresa en 3D, lo que resulta en una solución integrada y notablemente más económica que los equipos comerciales.

3.2 Fuente de corriente

La fuente de corriente diseñada (figura 11) cumple con un doble propósito: primero, mantener una corriente constante de 4 mA, la cual se mantiene a pesar de cambios en el resistor que representa la carga y, segundo, operar dentro de un margen seguro que previene la inhibición (0.1 a 10 mA) de las reacciones metanogénicas y preserva la biopelícula.

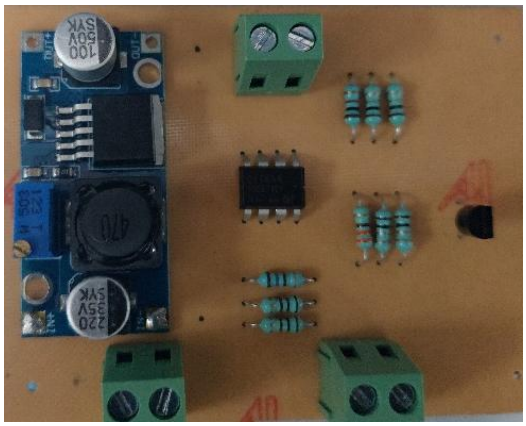

Figura 11. Fuente de corriente para el reactor bioelectroquímico

Una ventaja adicional del diseño es su capacidad para ser controlado en lazo cerrado, permitiendo la automatización del proceso mediante una señal de voltaje gestionada por una tarjeta de adquisición de datos o microcontrolador Arduino®.

Baek [14] señala que la aplicación de voltajes superiores a los recomendados para celdas de electrólisis microbianas (como los establecidos por Ding et al.) inhibe la actividad de los microorganismos metanogénicos, lo que justifica el uso de una corriente controlada y reducida en este reactor. Ndayisenga [15] reporta que la eficiencia de remoción de DQO en celdas de electrólisis microbianas aumenta con el voltaje aplicado, alcanzando un óptimo cerca de 0.8 V, para luego disminuir. El estudio también demuestra que voltajes en el rango de 0.5 V a 0.8 V causan un daño considerable a la biopelícula, aunque este es menor en comparación con voltajes superiores.

3.3 Circuito para el sensor flujo

Tras una simulación exitosa, el circuito se implementó en una protoboard, el cual se muestra en la figura 12.

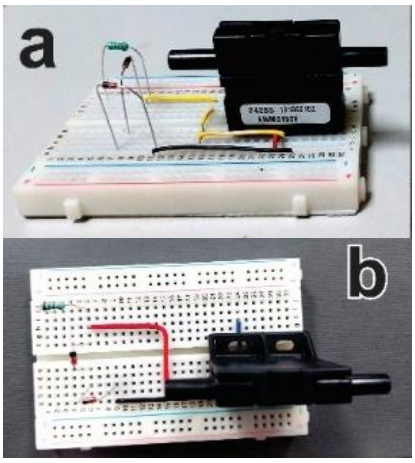

Figura 12. Armado en protoboard del circuito propuesto para el sensor de flujo

La figura 13 presenta la relación entre el flujo y el voltaje, donde se observa que las mediciones se mantienen dentro del margen de tolerancia del 5% establecido para el sensor. Esta variación puede atribuirse a la falta de un equipo de medición adecuado para validar con precisión el flujo, o a posibles errores experimentales durante la medición. Uno de los objetivos centrales de este trabajo es desarrollar instrumentación de bajo costo sin sacrificar la funcionalidad. Autores como Küçükağa [16] reconocen que, si bien existe tecnología comercial lista para usar, su elevado precio limita el acceso para muchos estudiantes e investigadores. En contraste con las soluciones costosas reportadas por otros autores como Mahmed [17], Navoneel [13], Desteffani [18], que utilizan sensores para medir el flujo de gas de mucha precisión, el circuito propuesto (figura 7) demuestra que es posible crear sistemas eficaces con un presupuesto reducido, lo que favorece la accesibilidad a la investigación en este campo.

Si bien el biogás es una mezcla de CH_4, CO_2, H_2, también contiene H_2S corrosivo que puede dañar el sensor, esta limitación es inherente a la aplicación y no al diseño del circuito. Para solucionarlo, se podría realizar en trabajos futuros la integración de una etapa de eliminación del gas ácido, lo que se identifica como una mejora directa para la medición de biogás a través del sensor propuesto.

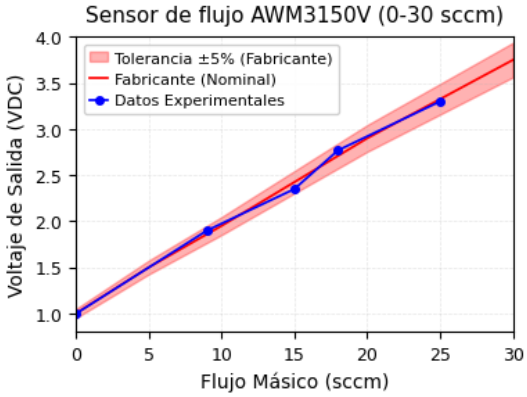

Figura 13. Valores de flujo vs voltaje para el sensor de flujo

3.4 Integración del sensor de pH

Después de realizar la calibración del sensor, basada en la ecuación de regresión lineal obtenida (figura 14) y programada en el microcontrolador, se realizaron las lecturas del sensor de pH y se verificó que las lecturas del sensor coincidieran con los valores de referencia de cada solución buffer, pero se presentaron variaciones del pH con un máximo 1.74 % de error, que se respalda en la literatura para aplicaciones de monitorización, como lo demuestra el trabajo de Ma'ruf [19], quien reporta una excelente precisión en la medición de pH con este mismo sensor.

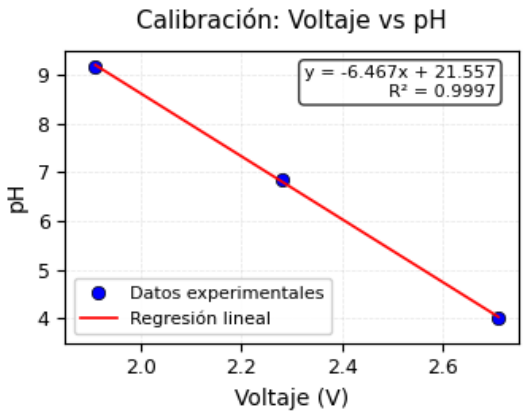

Figura 14. Calibración para el sensor de pH

Para validar su funcionamiento, se comparó con un medidor de pH Thermo Scientific®, obteniendo valores muy similares. Sin embargo, se identificó una desventaja, a diferencia del equipo comercial que estabiliza su lectura rápidamente, el sensor PH-4502C presenta fluctuaciones. Esta variación, también señalada por Ahing [20], podría deberse a interferencias internas del módulo o a la inestabilidad del voltaje de referencia del Arduino®, ya que el cable utilizado por el sensor es coaxial y tiene el blindaje adecuado para evitar la interferencia causada por ruido eléctrico, por lo cual, se propone diseñar un circuito para el acondicionamiento de señal del sensor de pH en trabajos futuros. Por lo tanto, el sensor PH-4502C es un excelente sensor de bajo costo y precisión aceptable.

Conclusiones

Este estudio desarrolló y validó un sistema electrónico de instrumentación de bajo costo para reactores bioelectroquímicos, equilibrando funcionalidad y asequibilidad. El sistema integra una fuente de corriente estable (0.2 - 4 mA) para preservar la biopelícula, un controlador PWM para bombas peristálticas en caudales reducidos, y sensores de flujo y pH con precisión adecuada para monitorización. La solución constituye una alternativa modular y personalizable frente a equipos comerciales de gama alta, con capacidad de control mediante tarjetas de adquisición de datos o microcontroladores accesibles. Este trabajo establece bases para tecnologías accesibles en el tratamiento de aguas residuales. Futuras investigaciones se orientarán hacia la integración con LabVIEW® para registro de datos en tiempo real, desulfuración del biogás para protección del sensor de flujo de biogás, y el diseño de circuitos de acondicionamiento para señales para el sensor de pH.

Agradecimientos

El autor Carlos Cruz agradece a la SECITHI por la beca concedida para la realización de este trabajo, sin la cual no habría sido posible alcanzar el objetivo de retribuir a la sociedad mediante innovación tecnológica.

Referencias

1. INEGI, "*Medio ambiente, cuéntame México*", disponible en línea en: https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/ambiente/residual.aspx?tema=T (2022).
2. J. R. Rojas, "*Tratamiento de aguas residuales*", Escuela Colombiana de

Ingeniería, Colombia, pp. 679-720, (2021).
3. L. Álvarez, "*Biocombustibles gaseosos mediante digestión anaerobia, una alternativa para la demanda energética*", Ciencia y sociedad, No.125, (2024), pp. 9-15.
4. C.L. Velázquez, "*Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*", IWA Publishing, pp. 495-510 (2017).
5. I. Ieropoulos "*The future role of MFC'S in biomass energy*", Frontiers in energy research, Vol. 11, (2023), pp. 1-14.
6. M. G. Reynoso, "*Tratamiento de vinazas tequileras a través de un reactor anaerobio electroquímico*", Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, (2019).
7. W. A. Salmerón, "*Evaluación del tratamiento anaerobio con un reactor UASB de las aguas residuales domésticas a temperatura mesofílica*", Universidad de la Laguna, (2020).
8. CONAGUA, "*Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Procesos anaerobios*", CONAGUA, (2018).
9. Ding, "*Impact of applied voltage on methane generation and microbial activities in an anaerobic microbial electrolysis cell*", Chemical engineering journal, Vol. 283, (2015), pp. 260-265.
10. J.R. Benítez, "*Efecto de las condiciones de arranque de filtros anaerobios de flujo ascendente en la producción de hidrógeno a partir de vinaza tequilera*", Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, (2021).
11. Ventura, "*Design, Monitoring, and Application of a Cost-Effective Bioreactor for Biogas Production*", BioRxiv, (2025), pp. 1-9.
12. R. L. Boylestad, "*Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*", Prentice Hall, México, 594 - 670, (2009)
13. Navoneel, "*Arduino based liquid dispenser system using peristaltic pump*", Tech in applied electronics and instrumentation engineering, (2017).
14. G. Baek, "*The effect of high applied voltages on bioanodes of microbial electrolysis cells in the presence of chlorides*", Chemical engineering journal, Vol. 405, (2021), pp. 1-9.
15. F. Ndayisenga, "*Effects of the applied voltage on electroactive microbial biofilm viability and hydrogen production in a recalcitrant organic waste-fed single-chamber membrane-free microbial electrolysis cell performance*", Chemical engineering journal, Vol. 469, (2023).
16. Y. Küçükağa, "*An original Arduino-controlled anaerobic bioreactor packed with biochar as a porous filter media*", Methodsx, (2022), pp.1-15.
17. Mahmed, "*Evaluation of Biogas Production from Food Waste Under Thermophilic and Mesophilic Conditions under Swiss Conditions*", Environmental Management, Vol. 14, (2025), pp. 42-60.
18. T. Desteffani, "*Use of the 555 integrated circuit for the construction of a PWM module*", Brazilian Journal of Science, (2023), pp. 23-3
19. K. Ma´ruf, "*Internet of things for real-time monitoring of water quality with integrated temperature, pH, and TDS sensors*", ICECOS, (2025), pp. 314-319.
20. Y. Ahing, "*Design of filterization monitoring system in household wastewater treatment using IoT based PID method*", Jurnal Teknik, (2025), pp. 153-168.

Diagnóstico para el diseño de un sendero interpretativo en la Laguna Rosa, Soto La Marina, Tamaulipas

Maya Albarrán Erika Cecilia[1,2]*, Velázquez Narváez Alberto Carlos[1], Badillo Mireles Juan[2], Cuéllar Mercado Damaris Berenice[1,2]
[1]Universidad Tecnológica del Mar de Tamaulipas Bicentenario, Carretera Estatal N° 52 Soto La Marina - La Pesca, Km. 46 S/N, La Pesca, Tam.
[2]Mujeres Rurales en Acción, Carretera Estatal N° 52 Soto La Marina - La Pesca, Km. 30, S/N, Poblado Vista Hermosa, Tam.
*Autor de correspondencia: ececiliamaya2211@utmart.edu.mx

RESUMEN

El presente trabajo corresponde a la parte inicial para el diseño de un sendero interpretativo en la Laguna Rosa de Soto La Marina, Tamaulipas, mediante un proceso participativo basado en la metodología de la Secretaría de Turismo para el diseño y operación de senderos interpretativos. En esta etapa, se aborda un segmento de la Fase I: Planeación participativa y diagnóstico del sendero, con énfasis en la caracterización de la flora y fauna. La Laguna Rosa es un ecosistema costero de alto valor ambiental, cuya tonalidad rosada se debe a microorganismos halófilos presentes en sus aguas salobres, fenómeno que es especialmente visible en verano. Este espacio puede ofrecer oportunidades únicas para el turismo de naturaleza y la educación ambiental. A través de recorridos de campo, observación directa, colecta, muestreo y revisión por parte de expertos, se identificaron las principales especies de flora y fauna presentes en el área. La clasificación se presenta por grupos taxonómicos, los cuales están representados por vertebrados y flora características de la zona. Las aves acuáticas son el grupo más numeroso. Estos resultados sientan las bases para continuar con las siguientes fases del sendero.

Palabras clave: **turismo comunitario, flora y fauna de Soto la Marina, turismo de naturaleza**

ABSTRACT

This study presents the initial stage in the design of an interpretive trail at Laguna Rosa, located in Soto La Marina, Tamaulipas. The work follows a participatory planning approach based on the guidelines of the Mexican Ministry of Tourism for the design and operation of interpretive trails. This phase focuses on a segment of Stage I: participatory planning and diagnostic assessment, with emphasis on the characterization of local flora and fauna. Laguna Rosa is a coastal ecosystem of high environmental value, known for its pink coloration caused by halophilic microorganisms in its brackish waters - especially visible during the summer season. The site offers unique opportunities for nature-based tourism and environmental education. Through field surveys, direct observation, specimen collection, sampling, and expert analysis, the main species present in the area were identified. The findings are categorized, with aquatic birds being the biggest group. These results lay the groundwork for subsequent stages of trail development.

Key words: **community-based tourism, flora & fauna of Soto La Marina, nature tourism.**

1. Introducción

El ecoturismo ha emergido como una alternativa sostenible al turismo convencional, permitiendo la valoración de los ecosistemas sin comprometer la integridad. En particular, el diseño de senderos interpretativos en zonas de alto valor ambiental representa una estrategia eficaz para promover la conservación y el desarrollo económico local, integrando la educación ambiental, la participación comunitaria y la generación de empleos [1,2].

La Laguna Rosa, ubicada en el municipio de Soto La Marina, Tamaulipas, es un ecosistema costero caracterizado por la coloración rosada temporal de sus aguas, atribuida a la presencia de microorganismos halófilos. Este fenómeno natural, más visible durante el verano, convierte al sitio en un atractivo singular para el turismo de naturaleza. El proyecto de diseño de un sendero interpretativo en este lugar se inscribe en un esfuerzo mayor por diversificar las actividades económicas del Ejido Vista Hermosa, tradicionalmente dependiente de la pesca, mediante alternativas sostenibles que reduzcan la presión sobre los recursos acuáticos y fomenten el empoderamiento comunitario, especialmente de las mujeres [3,4].

Diversos estudios resaltan la importancia de incluir a la población local en los procesos de planificación y gestión del ecoturismo, asegurando que esta se beneficie directamente de los proyectos implementados [5,6]. En este contexto, el presente trabajo se centra en la fase inicial del diseño del sendero: el diagnóstico ambiental participativo, con énfasis en la caracterización de flora y fauna, en conformidad con los lineamientos de la Secretaría de Turismo de México para la planeación de senderos interpretativos [7].

Esta investigación corresponde a la Fase I: Planeación participativa y diagnóstico. Las actividades incluyeron:

- Recorridos de campo diurnos y nocturnos.
- Observación directa y registros fotográficos.
- Muestreo de flora en línea recta 2km
- Identificación taxonómica con el apoyo de especialistas.
- Revisión bibliográfica y comparación con registros previos.

Además, se realizaron entrevistas y sesiones de trabajo con mujeres del ejido, integrando su conocimiento tradicional sobre las especies y el uso del entorno [8,9], información que será incluida en las fichas descriptivas de las especies.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

La Laguna Rosa se encuentra en el ejido Vista Hermosa, municipio de Soto La Marina, Tamaulipas. Esta localidad costera forma parte de un corredor ecológico con humedales, esteros y zonas de manglar, situándose entre los 23°44' y 23°49' de latitud norte y los 98°09' y 98°21' de longitud oeste (Figura 1). El ecosistema destaca por su riqueza en biodiversidad, condición que refuerza su idoneidad para actividades de ecoturismo e interpretación ambiental [10].

2.2 Técnicas y procedimientos

Se empleó una metodología cualitativa y participativa, basada en la guía metodológica de la SECTUR en 2018, centrada en cinco fases.

3. Resultados

Se identificaron un total de 86 especies agrupadas en donde dos grandes taxones de vertebrados predominan: aves con 32 registros (Tabla 1) y mamíferos con seis ejemplares (Tabla 2). Además de 11 especies de flora registrada (Tabla 3).

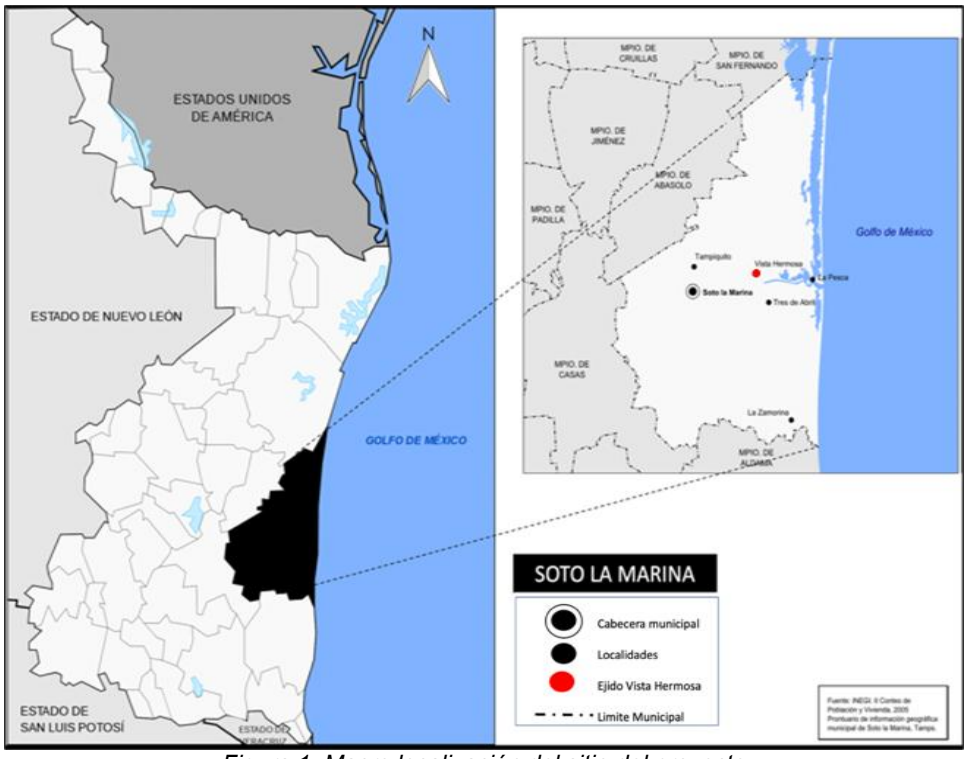

Figura 1. Macro localización del sitio del proyecto

Tabla 1. Listado de aves registradas en el polígono del sendero

No.	Nombre común	Nombre científico	Tipo de avistamiento
1	Garza blanca	*Ardea alba*	Observación directa
2	Garceta nívea	*Egretta thula*	Observación directa
3	Ibis blanco	*Eudocimus albus*	Observación directa
4	Monjita	*Himantopus mexicanus*	Observación directa
5	Playerito	*Calidris mauri*	Observación directa
6	Pelícano blanco	*Pelecanus erythrorhynchos*	Observación directa
7	Pelícano café	*Pelecanus occidentalis*	Observación directa
8	Cormorán negro	*Nannopterum brasilianum*	Observación directa
9	Gaviota reidora	*Leucophaeus atricilla*	Observación directa/canto
10	Gaviota plateada	*Larus argentatus*	Observación directa
11	Halcón peregrino	*Falco peregrinus*	Observación directa/canto
12	Zarapito pico largo	*Numenius americanus*	Observación directa
13	Águila pescadora	*Pandion haliaetus*	Observación directa
14	Tordo sargento	*Agelaius phoeniceus*	Observación directa/canto
15	Chipe corona negra	*Cardellina pusilla*	Observación directa
16	Carpintero	*Melanerpes aurifrons*	Observación directa/canto
17	Carpintero real	*Dryocopus lineatus*	Observación directa/canto
18	Paloma ala blanca	*Zenaida asiatica*	Observación directa/canto
19	Tortolita	*Zenaida macroura*	Observación directa/canto
20	Cenzontle	*Mimus polyglottos*	Observación directa/canto
21	Calandria	*Icterus cucullatus*	Observación directa/canto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Listado de aves registradas en el polígono del sendero (Continuación)

No.	Nombre común	Nombre científico	Tipo de avistamiento
22	Tordo cabeza café	*Molothrus ater*	Observación directa
23	Zanate mexicano	*Quiscalus mexicanus*	Observación directa/canto
24	Pitirre tropical	*Tyrannus melancholicus*	Observación directa/canto
25	Pitirre tropical	*Tyrannus melancholicus*	Observación directa
26	Espátula rosada	*Platalea ajaja*	Observación directa
27	Martín pescador	*Megaceryle alcyon*	Observación directa
28	Tortolita común	*Columbina passerina*	Observación directa/sonido
29	Chipe	*Geothlypis poliocephala*	Observación directa/sonido
30	Pato canelo	*Spatula cyanoptera*	Observación directa
31	Gallineta común	*Gallinula galeata*	Observación directa
32	Chachalaca	*Ortalis vetula*	Observación directa

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Listado de mamíferos registrados en el polígono del sendero

No.	Nombre común	Nombre científico	Tipo de avistamiento
1	Coyote	*Canis latrans*	Observación directa/ sonido/ huellas/ excretas
2	Zorra gris	*Urocyon cinereoargenteus*	huellas/ excretas/ Observación directa/
3	Mapache	*Procyon lotor*	Observación directa/ sonido/ huellas/ excretas
4	Tlacuache	*Didelphis virginiana*	Observación directa/ sonido excretas
5	Armadillo	*Dasypus novemcinctus*	Observación directa/ sonido excretas
6	Onza	*Herpailurus yagouaroundi*	Observación directa / excretas/ huellas

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Listado de flora arbórea y arbustiva registrados en el polígono del sendero

No.	Nombre común	Nombre científico
1	Mangle rojo	*Rhizophora mangle*
2	Mangle blanco	*Laguncularia racemosa*
3	Mangle negro	*Avicennia germinans*
4	Palma de coco	*Cocos nucifera*
5	Palma sabal	*Sabal mexicana*
6	Mezquite	*Prosopis glandulosa*
7	Ébano	*Ebenopsis ebano*
8	Nopal	*Opuntia spp.*
9	Flor de mayo	*Plumeria rubra*
10	Lechuguilla	*Agave lechuguilla*
11	Zacate salado	*Distichlis spicata*

Fuente: Elaboración propia.

Las aves acuáticas fueron el grupo más abundante, lo que posiciona a la Laguna Rosa como un sitio estratégico para el aviturismo; esto resalta el valor ecológico del sitio y la necesidad de un manejo integral basado en criterios científicos y comunitarios [11,12].

Conclusiones

El diagnóstico ambiental desarrollado en la Laguna Rosa representa el primer paso para la construcción de una estrategia de turismo sostenible en el ejido Vista Hermosa. El trabajo permitió documentar, mediante un enfoque científico y participativo, la composición de la biodiversidad local, identificando grupos taxonómicos clave y confirmando la representatividad de las aves acuáticas como componente dominante de la comunidad faunística.

El monitoreo realizado entre octubre de 2024 y mayo de 2025 abarcó diversas estacionalidades, permitiendo registrar especies residentes y migratorias y generando datos representativos que serán fundamentales para planificar calendarios y rutas de visita con el fin de minimizar impactos en la fauna, especialmente en hábitats sensibles como humedales y manglares; entre los registros sobresalieron tres psitácidos y dos colibríes de interés para el aviturismo, cuya inclusión final en la lista oficial dependerá de la confirmación taxonómica por especialistas, información que posteriormente formará parte de una guía de organismos de la zona.

El sitio combina río, laguna costera, playa y áreas arboladas que sostienen una amplia variedad de aves acuáticas, marinas y terrestres, lo que aumenta su valor interpretativo y su atractivo turístico al permitir actividades como aviturismo, fotografía de naturaleza y observación de flora costera y de manglar; sin embargo, para asegurar su sostenibilidad futura es necesario determinar su capacidad de carga turística.

La ausencia de especies ferales como perros y gatos refleja un buen estado de conservación y fortalece el potencial del área para actividades de bajo impacto, siempre que se mantengan medidas adecuadas. El registro de mamíferos evidencia la necesidad de estudios adicionales sobre capacidad de carga para no alterar su comportamiento. Los resultados coinciden con la literatura que destaca a los senderos interpretativos como herramientas de educación ambiental, conservación y desarrollo local [1,11,13].

La experiencia en Laguna Rosa demuestra que los proyectos basados en la participación comunitaria, especialmente con la inclusión activa de mujeres, incrementan su viabilidad social y fortalecen la apropiación del recurso. Los resultados iniciales confirman que la Laguna Rosa posee un notable potencial ecológico y turístico que puede aprovecharse mediante un modelo de turismo responsable. Su desarrollo permitiría diversificar la economía local en periodos de veda pesquera y reforzar el papel de las mujeres como guías e intérpretes del patrimonio natural [5,14].

Este diagnóstico constituye la base técnica para transitar hacia la Fase II, centrada en el diseño físico del sendero y sus estaciones temáticas, integrando criterios ecológicos, culturales y sociales.

Referencias

1. Weaver, D. B., & Lawton, L. J. (2007). Twenty years on: The state of contemporary ecotourism research. *Tourism Management*, 28(5), 1168–1179.
2. Castellanos Verdugo, M., & Orgaz Agüera, F. (2013). Evaluación de los destinos turísticos desde la perspectiva del ecoturismo. *Revista de Estudios Regionales*, 96, 51–77.
3. Hensler, M., Reyes Grande, J., & Ramírez, A. (2023). *Retos de las comunidades costeras ante el cambio climático y la sobrepesca*. México: UANL.
4. FAO (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
5. Byrd, E. T., Cárdenas, D. A., & Dregalla, H. (2009). Stakeholders in sustainable tourism development. *Tourism Review*, 64(3), 36-42.
6. Ryan, C. (2002). Equity, management, power sharing and sustainability—issues of the 'new tourism'. *Tourism Management*, 23(1), 17–26.
7. SECTUR (2018). *Guía para el diseño y operación de senderos interpretativos*. Secretaría de Turismo, México.
8. Jalani, J. O. (2012). Local people's perception on the impacts and importance of ecotourism. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 42, 247–254.
9. Guerrero Rodríguez, L. (2010). Potencial ecoturístico de áreas naturales. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Sostenible*, 6(2), 14-21.
10. Arreguín-Sánchez, F. & Arcos, E. (2011). *La sobreexplotación pesquera y la necesidad de alternativas sostenibles*. México: CONABIO.
11. Fennell, D. A. (2001). A content analysis of ecotourism definitions. *Current Issues in Tourism*, 4(5), 403–421.
12. Yilmaz, Y. (2011). Evaluation of ecotourism potential of a rural area in Turkey: Yenice Forests. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(3-4), 891–897.
13. Chaminuka, P., Groeneveld, R. A., Selomane, A. O., & van Ierland, E. C. (2012). Tourist preferences for ecotourism in rural communities. *Ecological Economics*, 74, 76–85.
14. Gurung, D. B., & Seeland, K. (2008). Ecotourism in Bhutan: Extending its benefits to rural communities. *Annals of Tourism Research*, 35(2), 489–508.

Anidamiento del pato real *Cairina moschata* en una zona urbana de Tamaulipas, México

Vela-Puga Jose Juan, Gómez-Moreno Vannia del Carmen, Niño-Maldonado Santiago*, González-Vizcaya Ricardo Florencio
Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario Victoria, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Adolfo López Mateos, C.P. 87149, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.
*Autor de correspondencia: coliopteranino@hotmail.com

RESUMEN

En este trabajo se presenta el primer reporte de anidamiento del pato real (*Cairina moschata*) en un área verde de la Facultad de Ingeniería y Ciencias perteneciente a la Universidad Autónoma de Tamaulipas, México. Durante el mes de junio de 2021, se encontró un nido con 11 huevos dentro de una cavidad natural de un álamo (*Populus mexicana*) a una altura de 5.20 m, el nido está construido con materia maderable y formando un soporte con la pelusa del mismo álamo y plumas del pato, su periodo de incubación fue comprendido por 30 días. Nacieron 11 polluelos de pato real, por lo cual se observó que solo duraron dos días en su nido. La especie *Cairina moschata* se encuentra bajo la categoría en peligro de extinción en la NOM-059-SEMARNAT-2010, por lo que es necesario seguir realizando investigaciones de las especies de aves que se encuentran anidando dentro de las ciudades y las razones por las cuales se encuentran realizando su reproducción en las áreas urbanas.

Palabras clave: ***Anatidae*, aves urbanas, biología reproductiva, nidos.**

ABSTRACT

The present work reports the first nesting of the mallard (*Cairina moschata*) in a green area of the Faculty of Engineering and Sciences belonging to the Autonomous University of Tamaulipas, Mexico. During June 2021, a nest with 11 eggs inside a natural cavity of an aspen (Populus mexicana) was found at a height of 5.20 m, the nest was built with wood material and forming a support with the lint of the same aspen and duck feathers, its incubation period was understood for 30 days. 11 ducklings were born, so it was observed that they only lasted two days in their nest. *Cairina moschata* is listed as endangered in the NOM-059-SEMARNAT-2010, so it is necessary to carry out further research on the species of birds that are nesting within cities and the reasons for which they are breeding in urban areas.

Keywords: ***Anatidae*, reproductive biology, urban birds, nests.**

1. Introducción

El pato real (*Cairina moschata*) pertenece a la familia *Anatidae* y al orden Anseriformes, su distribución en el Noreste de México se encuentra a lo largo de la costa del Golfo hasta el norte del estado de Tamaulipas y Nuevo León en la parte centro del estado. El pato real silvestre se considera una especie residente en la mayor parte del área de su distribución, lo podemos encontrar en bosques tropicales, humedales y ocasionalmente en lagunas costeras, sus características morfológicas son un pato

grande y robusto que tiene tipos silvestres y domésticos. Los tipos domésticos se encuentran regularmente caminando por el suelo en parques, granjas y áreas pobladas. Las aves silvestres tienden a ser tímidas y generalmente se observan en vuelo en áreas más remotas con agua. Las aves silvestres son de color verde oscuro (casi negro) e iridiscente, con grandes manchas blancas en las alas y con menos verrugas rojas alrededor del ojo. En los tipos domésticos el plumaje varía desde todo blanco a todo negro [1].

Sin embargo, el pato real silvestre se encuentra en la categoría de peligro de extinción de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 [2,3]. En México se han realizado distintas investigaciones sobre la especie silvestre de *Cairina moschata* [4], de las cuales se ha obtenido valiosa información sobre algunos aspectos como son las características del hábitat, su distribución altitudinal, comportamiento, cortejo, reproducción y su anidamiento [5].

La reproducción de las poblaciones de *C. moschata* se ha registrado mayormente en las riberas de los ríos y algunas veces en los bosques, su temporada reproductiva en México comienza en abril hasta agosto [6]. El anidamiento del pato real normalmente se lleva a cabo en cavidades naturales de los árboles, los nidos se pueden encontrar de 3 a 18 m de altura, el tamaño de nidada va de 9 a 14 huevos, las medidas de los huevos aproximadamente son de 63 x 47 cm y su coloración es crema [5,6].

El tiempo de incubación dura aproximadamente 35 días por parte de la hembra, los polluelos son precociales con plumas color marrón por encima de la cabeza, la cara y partes inferiores son color amarillas con una raya fina oscura desde el ojo hasta la nuca, pares de manchas alares y manchas dorsales amarillentas, pico gris-marrón y patas gris-amarillentas [2,6].

Por otra parte, se han realizado algunos estudios en las zonas urbanas donde se han documentado el uso de hábitat y su comportamiento de *C. moschata* así mismo reportan el tipo de alimentación con el cual se mantienen en las áreas urbanas. En cuestión del anidamiento solo se tienen datos sobre la especie del pato real doméstico, el cual está mejor adaptado a la urbanización [7]. El objetivo de esta investigación es aportar información sobre el anidamiento de *Cairina moschata* en un área urbana y conocer sus poblaciones en Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

2. Metodología

2.1. Área de Estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el Centro Universitario de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), en el municipio de Victoria, Tamaulipas. A una altitud de 365 m.s.n.m., el registro se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería y Ciencias (23.715575, -99.152538), la cual está conformada por un área deportiva, salones, biblioteca, oficinas y mantenimiento (Figura 1).

2.2. Desarrollo experimental

El 23 de junio de 2021 en la Facultad de Ingeniería y Ciencias se encontró el nido de pato real, que fue detectado cuando se realizó un recorrido de observación de aves urbanas. Se realizaron dos visitas cada semana durante los meses de junio y julio, con el objetivo de darle seguimiento al nido de *C. moschata*. La observación se realizó con apoyo de unos binoculares Nikon (12 x 52 mm) y una cámara digital (Nikon Coolpix P900) con la finalidad de registrar la presencia, además, se tomaron los datos de campo: (especie de ave, fecha, número de

huevos, número de polluelos, altura de nido y especie de árbol).

De manera adicional se realizó una recopilación de observaciones de *C. moschata* registradas en la localidad de Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. Los datos se descargaron de la plataforma NaturaList en la que se examinaron los siguientes criterios: la identidad de la especie había sido verificada por los especialistas de Naturalista, lugar y fecha de observación, número de individuos y la verificación de las coordenadas.

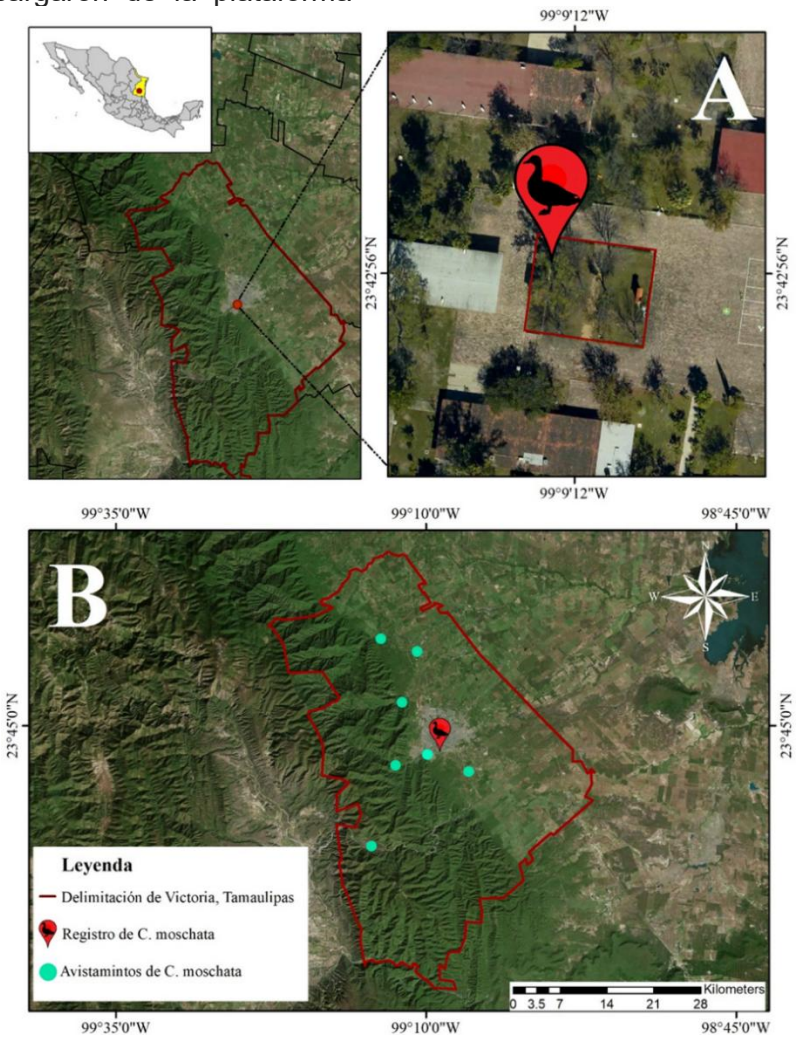

Figura 1. Área de estudio: A) Registro del nido de Cairina moschata, Facultad de Ingeniería y Ciencias UAT. B) Avistamiento de Cairina moschata (Fuente: INEGI, 2010, Google Earth 2021).

3. Resultados y discusión

El nido está localizado en las coordenadas geográficas 23.71552, -99.15337 a 369 msnm, dentro de una cavidad de un árbol de álamo (*Populus mexicana*) a una altura de 5.20 m, la orientación del nido fue de lado norte, la altura total del árbol fue de 15.3 m, el álamo se ubica cerca de la explanada principal de la Facultad y a una distancia de 7.07 m (Figura 1A) de las aulas de clases, así mismo se registró la distancia donde se encontro el nido hacia el río más cercano, con un trecho de 708.44 m.

El nido está construido con materia maderable y formando un soporte con la pelusa del mismo álamo y plumas, en él se encontró 11 huevos color blanco cremoso con unas pequeñas manchas café concentradas (Figura 2).

Figura 2. Hembra de Cairina moschata postrada sobre el nido.

El periodo de incubación fue del 23 de junio hasta el 21 de julio de 2021, concluyendo con un total de 30 días de incubación, nacieron 11 polluelos de pato real, por lo cual se observó que solo duraron dos días en su nido. Así mismo durante la incubación la hembra presentó algunos comportamientos los cuales consistían en regresar a su nido, siempre se postraba en la copa del árbol observando que no hubiera actividad humana y así volver a su nido (Figura 3).

La mayoría de las investigaciones basadas en el anidamiento del pato real silvestre se han registrado en cavidades naturales de los árboles como son los encinos (*Quercus sp.*) y el árbol de la coma (*Bumelia sp.*) en zonas rurales y ribereñas [5]. Algunos estudios en las zonas urbanas solo presentan los usos del hábitat y el comportamiento [4,8].

Figura 3. Huevos y crías de Cairina moschata dentro de cavidad de Populus mexicana.

Al comparar, los datos obtenidos de nuestro registro con las investigaciones antes mencionadas, se observa una similitud con la investigación de [6], en la cual mencionan que los nidos los hacen en cavidades naturales y a una altura de 2.29 hasta 3.20 m. En este caso, se reportó el nido a una altura más alta con 5.20 m y en álamo (*Populus mexicana*), pues las investigaciones mencionan que los árboles con cavidades naturales que usan para anidar son en sabinos (*Taxodium mucronatum*), sicómoro (*Platanus sp*), encino (*Qercus sp*), ebano (*Ebenopsis ebano*), coma (*Bumelia sp*) y el higuerón (*Ficus cotinifolia*), además

estas cavidades pueden servir para el anidamiento de distintas especies de aves como búhos y carpinteros.

Al examinar la presencia de *C. moschata* silvestre, se determinó que su presencia en áreas urbanas es poco habitual. El número de observaciones del pato real que se tiene en el periodo de 2017 hasta 2023 fue de 64 registros repartidos en siete localidades que se encuentran situadas alrededor de la mancha urbana (Figura 1B). Los avistamientos más comunes se encontraron en la presa de Caballeros, que está alejada 14.70 km de la zona, seguida por el Parque Recreativo Los Troncones, que tiene 23 registros y una distancia de 8.48 km.

Los registros que se obtuvieron de pato real silvestre, lo más cercano al área de estudio fueron en el rio San Marcos, el cual se encuentra a una distancia de 0.690 km en línea recta, durante el año 2021 se observaron algunas parejas de *C. moschata* en los meses de enero a mayo, es posible que una de estas parejas fue la que anido en la Facultad de Ingeniería y Ciencias.

Conclusiones

La importancia del arbolado nativo que se encuentra dentro de las zonas urbanas funciona como sitios de refugio, alimentación y anidamiento de las especies de aves que se han ido adaptando a las condiciones de la urbanización.

La presencia de aves, que habitan en los árboles urbanos, puede ser un buen indicador de la buena salud del entorno y la calidad de vida en una ciudad. Por lo que es de interés seguir sembrando árboles nativos de la región para preservar las especies de aves que usan esta vegetación para cumplir con su ciclo biológico.

Agradecimientos

A los revisores anónimos de la revista, a los observadores y especialistas de la plataforma Naturalista-CONABIO por brindar su información de la especie. A los directivos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la UAT por brindar el permiso para el acceso a las instalaciones.

Referencias

1. eBird (Laboratorio de Ornitología de Cornell), Una base de datos en línea de distribución y abundancia de aves. (2024), http://www.ebird.org.
2. J. C. Eitniear, Bribiesca-Formisano R., Rodríguez-Flores, C. I., Soberanes-González C. A. y Arizmendi M. d. C. “Muscovy Duck (*Cairina moschata*)” (Editor, T. S. Schulenberg). (2020). https://doi.org/10.2173/bow.musduc.01
3. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). Protección Ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – lista de especies en riesgo. (2010). Diario Oficial de la Federación.
4. E. Rangel-Woodyard. (M.S. Thesis, Texas Tech University). (1982).54 pp.
5. A. B. Neyra. (Facultad de Ciencias Biológicas de la U.A.N. L.) (1993). 88 pp.
6. P. J. Baicich, C. J. Harrison. *Nests, Eggs, and Nestlings of North American Birds*, (Editorial Pricenton University Press, New Jersey., E.U.A), 347., (2005).
7. J. Downs, R. Loraamm, Jr, J. H. Anderson, J. Perry y J. Bullock.Suburban Sustainability, 5 (1) (2017), 1.
8. R. Martin del Campo. Contribución al conocimiento de la ornitología de Nuevo León. Universidad (1959).19-17: 121 -180.

Caracterización experimental de la respuesta de iluminancia y TCC de un banco fotométrico

Vicencio Cruz Christian Emanuel*, Salas Cabrera Rubén, Rodríguez Guillén Joel, León Javier Hernández
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Juventino Rosas 114, Col. Los Mangos, Cd. Madero, Tamaulipas, C.P: 89440, México
*Autor de correspondencia: g17070934@cdmadero.tecnm.mx

RESUMEN

Debido al gran auge de la metrología en los campos de la luz e iluminación en el siglo pasado por parte de la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE, por sus siglas en francés) se estableció un *observador fotométrico patrón* que define de manera estandarizada la percepción visual diurna, así como la responsividad espectral del ojo humano, del cual se derivó el Iluminante estándar A y que posee una temperatura de color correlacionada (TCC) de 2856 K y que más adelante se emplearía por el CENAM al aplicarlo indirectamente en la norma oficial mexicana NOM-025-STPS-2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo, a través de la utilización de lámparas tipo FEL que reproducen dicho TCC y permiten la realización de pruebas de calibración para medidores de iluminancia, también conocidos como luxómetros, que tras un riguroso proceso de calibración permiten verificar si los centros de trabajo en la República Mexicana cumplen con el nivel requerido de iluminancia. En el presente trabajo, un banco fotométrico, que produce diferentes niveles de iluminancia y TCC, es caracterizado como un modelo de regresión lineal en función de los niveles de dos entradas analógicas de corriente directa normalizada. Los resultados de la regresión fueron validados contra los datos muestreados y valores medidos de iluminancia. Este resultado permite abordar el problema de controlar la fuente luminosa del banco fotométrico para la reproducción del iluminante estándar A.

Palabras clave: **TCS34725**, **DAC MCP4725**, **Temperatura de Color Correlacionada**, **regresión lineal**

ABSTRACT

Due to the significant growth in metrology in the fields of light and lighting in the last century by the International Electrotechnical Commission (CIE, from its French initials) a standard photometric observer was established that defines perception in a standardized way the daytime visual perception, as well as the spectral responsiveness of the human eye, from which standard Illuminant A was derived and which has a correlated color temperature (CCT) of 2856 K and which would later be used by the CENAM when indirectly applied in official Mexican standard NOM-025-STPS-2008 Lightning conditions in the workplaces, through the use of FEL-type lamp which reproduces said CCT and allows calibration tests to be carried out for illuminance meters, also known as luxmeters, that after a rigorous calibration process verify if the workplaces in the Mexican Republic comply with the required level of illuminance. In this work, a photometric bench, which reproduces different illuminance and CCT levels, is described as a linear regression of two analog inputs of normalized direct current. The results of this regression were validated against the sampled data and measured illuminance values. This result enables addressing the problem of

controlling the photometric bench luminous source for the reproduction of standard illuminant A.

Keywords: **TCS34725**, **DAC MCP4725**, **Correlated Color Temperature**, **Linear regression**

1. Introducción.

Si bien es cierto que el ojo del ser humano es expuesto a distintos niveles de iluminación dependiendo del área en que se ubique, su apreciación es subjetiva debido a la interacción inherente con los llamados fotones, los cuales conforman a las partículas de toda luz percibida y que debido a los niveles cuánticos de energía cuentan con diversas longitudes de onda (espectro de frecuencias visible) en las que el ojo humano las percibe como tonos de color.

No obstante, cualquier tono detectado es propiciado a partir de una fuente luminosa ya sea natural o artificial al generarse un flujo luminoso que al ser proyectado sobre un área específica se convierte en iluminancia. Dicha iluminancia, de acuerdo con la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM, por sus siglas en francés), asigna las unidades para esta en lux (lx) que proviene de otras unidades derivadas del Sistema Internacional como lm/m^2 [1]. Sin embargo, para determinar las unidades del tono de la fuente luminosa, se deberá referir a ellas como K, las cuales corresponden a la Temperatura de Color Correlacionada (TCC) de la iluminancia generada por la fuente luminosa. Cabe destacar que el concepto de TCC no es utilizado internacionalmente como lo es la iluminancia ya que este fue establecido en el siglo pasado a través de la CIE (Comisión Internacional de la Iluminación, por sus siglas en francés).

El TCC se encuentra ligado a un observador fotométrico patrón que relaciona los colores apreciados por el ojo humano y sirvió para establecer distintos iluminantes, siendo el estudiado en este trabajo, el Iluminante estándar A.

A través de dicho iluminante, el CENAM utiliza un instrumento patrón llamado lámpara tipo FEL que reproduce la temperatura de color del Iluminante estándar A y con la cual se lleva a cabo el proceso de calibración para medidores de iluminancia (luxómetros). En este trabajo, se busca caracterizar un banco fotométrico, el cual posee dos grados de libertad (como mínimo), los cuales permiten controlar, a su vez, dos factores que se encargan de producir una iluminancia y temperatura de color correlacionada.

2. Material y método.

2.1. Descripción constructiva del banco fotométrico.

Siendo el producto tecnológico generado a través de los trabajos relacionados con la tesis de posgrado [2] realizada por el M.C.I. José Federico Chong Flores, se tiene el banco fotométrico mostrado en la Imagen 1.

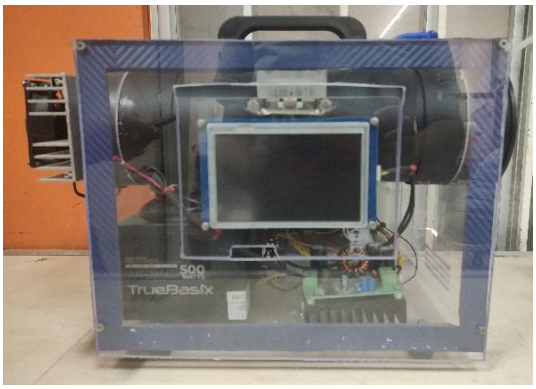

Figura 1. Modelo de banco fotométrico abordado.

El banco fotométrico cuenta con una fuente de corriente constante controlada

por conversores análogo-digital (DACs) de alta precisión (MCP4725), los cuales permiten la variación del flujo luminoso de las lámparas que conforman dicho banco fotométrico como se muestra en la Figura 2.

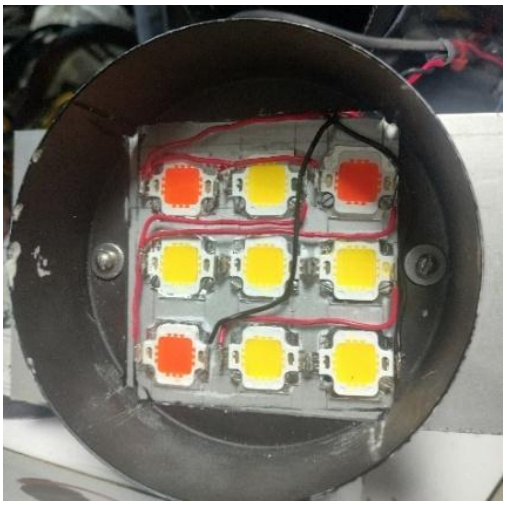

Figura 2. Fuente luminosa del banco fotométrico.

Así mismo, se dispone de dos distintos sensores que se encuentran encargados de las variables de proceso iluminancia [lx] (BH1750) y TCC [K] (TCS34725), que se encuentran configurados con un periodo muestreo de 200 ms. Para la visualización de los datos se tiene una pantalla NEXTION que permite el monitoreo de la progresión de la adquisición de muestras. En su totalidad, el banco fotométrico como circuito eléctrico se encuentra conformado por el diagrama de la Figura 3**.**

2.2. Análisis del sensor de tono TCS34725.

Partiendo desde la premisa de que una fuente luminosa se puede representar por las intensidades de los colores primarios rojo, verde y azul del sistema de color RGB [3], se tiene un sensor especializado para detectar las componentes de color [4] R_d, G_n y B_u gracias a los fotodiodos localizados en la zona superior del sensor de tono (TCS34725) como se muestra en la Figura 4.

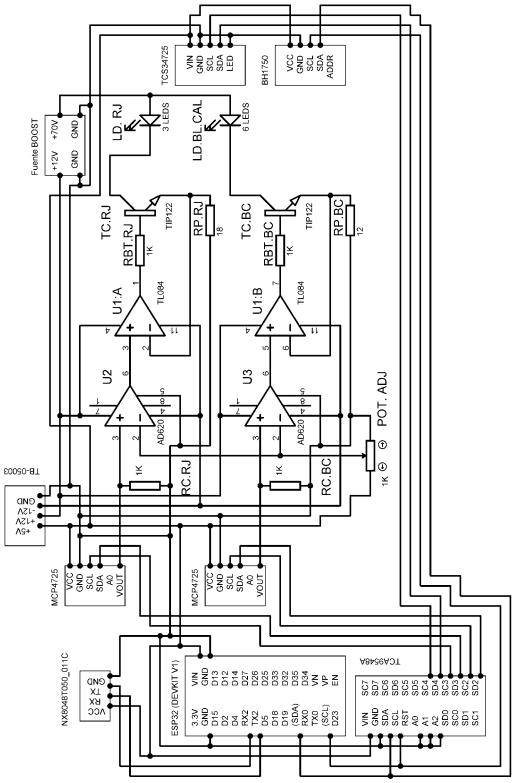

Figura 3. Diagrama eléctrico del banco fotométrico.

Figura 4. Módulo convertidor de tono de luz digital con filtro IR, TCS34725 [5].

Su principio de funcionamiento se encuentra basado en la integración de corrientes extraídas desde la matriz de fotodiodos en un arreglo dimensional de 4 filas, 3 columnas con sus respectivos filtros de color como se puede observar en la Figura 5.

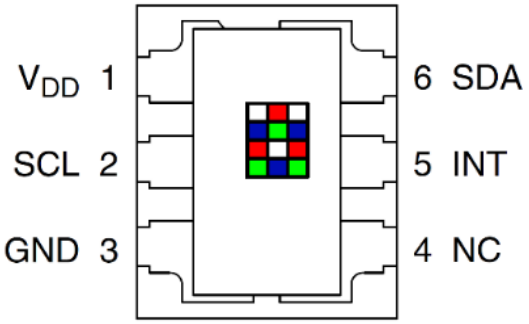

Figura 5. Matriz de fotodiodos del sensor TCS34725 [5].

Dichas corrientes son ingresadas a cuatro convertidores análogos-digitales (ADC) internos que en función del periodo de muestreo convierten estas señales análogas en cantidades enteras (palabras) que serán interpretadas en unidades de *número de cuentas ADC* [6] y estarán en función de la resolución de estos ADC como se aprecia en el diagrama provisto por la Figura 6. La resolución de 16 bits es interpretada como la cantidad máxima de cuentas de ADC proporcionada por cada canal de color y que se encuentra comprendida por el número $2^{16} - 1 = 65{,}535$.

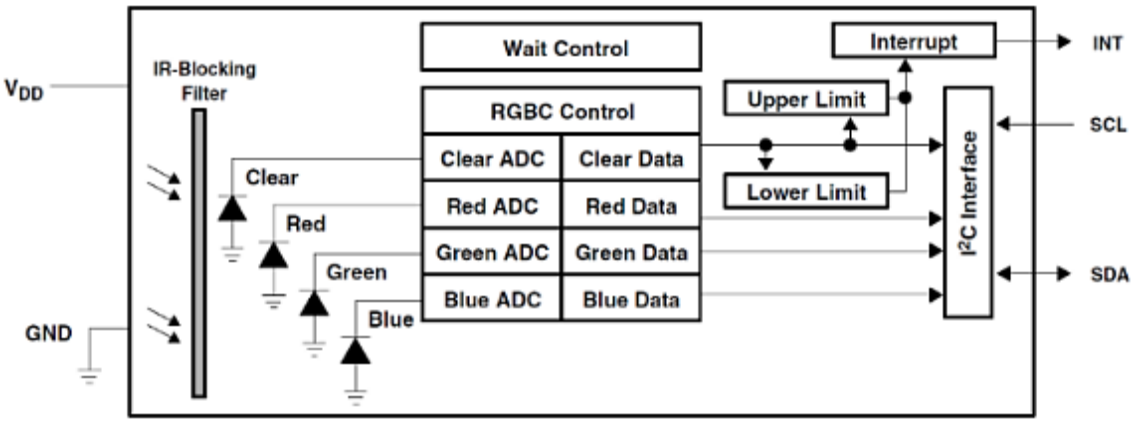

Figura 6. Diagrama de conversión de tono de luz a palabras de 16 bits [5].

2.2.1. Cálculo del periodo de muestreo. De acuerdo con el fabricante (TAOS ®) del sensor de tono (TCS34725), existen dos ecuaciones fundamentales que gobiernan el uso del periodo de integración o procesamiento de conversión analógica-digital. Para ello, se requiere del código hexadecimal equivalente del periodo de muestreo como se aprecia a continuación

$$A_{time} = 256 - \frac{T_i}{2.4\ \mathrm{ms}} \qquad (1)$$

En donde T_i es el periodo de integración deseado. Sin embargo, dicho resultado será un entero base 10, por lo que se convierte en formato entero base 16.

Así mismo, si se desea verificar la validez del código obtenido es posible calcular la magnitud del periodo de muestreo (desde el formato decimal) al despejar este de la Ecuación (1) como

$$T_i = 2.4\ \mathrm{ms} \cdot (256 - A_{time}) \qquad (2)$$

Por otro lado, es posible seleccionar desde la Tabla 1 los distintos periodos de integración del sensor, los cuales impactarán directamente en la cantidad de información que es posible obtener a través de los ADC internos del sensor en cuestión.

Tabla 1. Asignaciones rápidas de los periodos de integración [5].

Periodo de integración [ms]	Código A_{time}	No. cuentas ADC
2.4	0xFF	1,024
24	0xF6	10,240
101	0xD5	43,008
154	0xC0	65,535
700	0x00	65,535

2.3. Aplicación del vector u.

Ya que el sistema posee una entrada u conformada por las salidas analógicas de tensión eléctrica u_{lux} y u_{TCC}, estas serán aplicadas a través de convertidores A/D. Para ello se usan modelos de DAC de 12 bits de resolución para proveer a su salida analógica la diferencia de potencial deseada en función del puerto de comunicación I²C como se observa en la Figura 7.

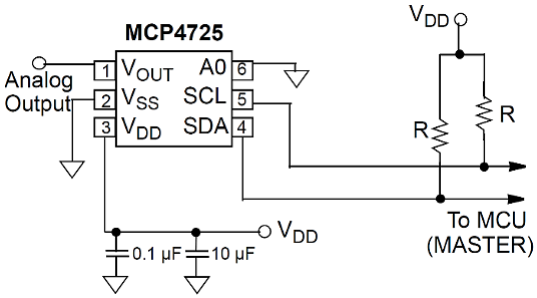

Figura 7. Circuito de conexión del DAC MPC4725 de la empresa MICROCHIP ® [7].

Es posible obtener tensiones eléctricas de alrededor de 1 mV gracias a su resolución obtenida a través de la Ecuación (3)

$$V_{LBS.I} = \frac{V_{REF}}{2^n} \qquad (3)$$

En donde, $V_{LSB.I}$ corresponde a la tensión eléctrica entre dos códigos sucesivos y V_{REF} es el voltaje de entrada (V_{DD}) o alimentación del DAC MCP4725 como se aprecia en la Figura 8.

Figura 8. Módulo DAC EMPC4725 de la empresa CUANTEX ® (Fuente: hetpro-store.com)

2.4. Metodología de aplicación de escalones.

Se predefinió una señal de tren de pulsos (diferentes entre sí) que se ingresa a un filtro de orden uno a la entrada u que está encargada de controlar el flujo luminoso de las lámparas mostradas en la Figura 2. Dicho filtro, consiste en un modelo equivalente en espacio de estado en tiempo discreto que se encuentra basado en el diagrama de la Figura 9.

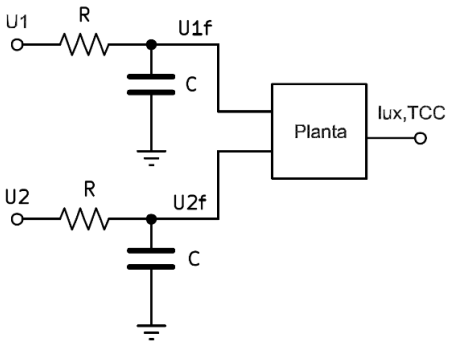

Figura 9. Diagrama eléctrico equivalente del filtro digital.

Como se puede observar, ya que se tienen dos entradas para el vector u, se abordará como dos filtros de orden 1 que propiciarán una adquisición de muestras en función del periodo de muestreo de 200 ms, a través de la expresión

$$u_f(k+1) = 0.818u_f(k) + 0.181u \qquad (4)$$

En la que $\boldsymbol{u_f}$ *(k+1)* representa la salida del filtro. Las Figuras 10 y 11 muestran la forma de onda generada por la ecuación 4.

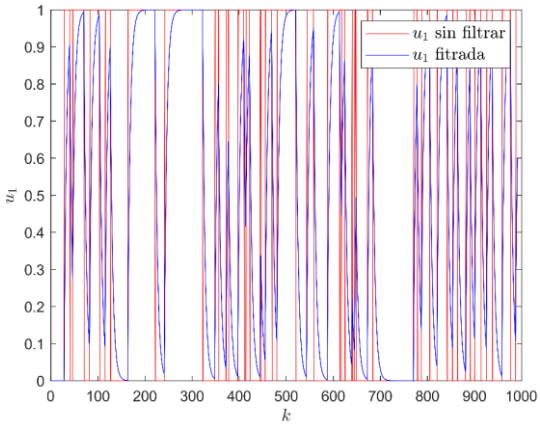

Figura 10. Entrada u_{f1} a aplicar.

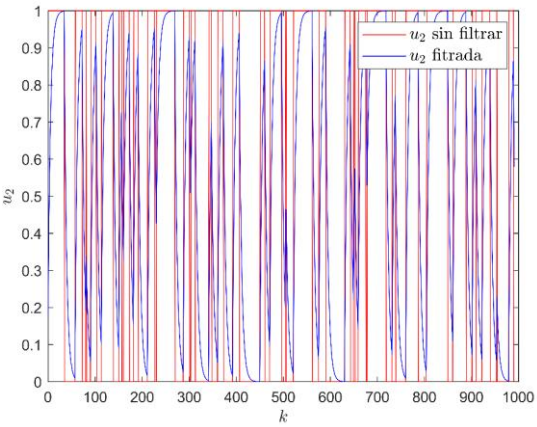

Figura 11. Entrada u_{f2} a aplicar.

2.4. Metodología para la regresión y análisis de los datos.

Debido a la aplicación de distintos escalones de tensión eléctrica respecto de cada uno de los DACs que se encuentran encargados de la excitación de las lámparas se propone un *modelo de regresión lineal* para el banco fotométrico a través de la siguiente expresión matricial

$$RGB = f(u) \tag{4}$$

En donde RGB corresponde a una *matriz columna* de dimensiones (3x1) que posee en cada uno de sus elementos las magnitudes de las componentes de color rojo (R_d), verde (G_n) y azul (B_u), los cuales son representados matricialmente como

$$RGB = [R_d, G_n, B_u]^T \tag{5}$$

Por otro lado, f representa la función que relaciona la entrada u con la respuesta de los valores RGB devueltos por el sensor de tono utilizado. Por lo que, debido a que el banco fotométrico posee dos convertidores D/A la expresión matricial de la Ecuación (5) se puede reescribir de la forma

$$RGB = f(u_1, u_2) \tag{6}$$

En donde u_1 y u_2 forman parte de una matriz columna u de dimensiones (2x1) y se expresa en formato de renglón como

$$u = [u_{lux}, u_{TCC}]^T \tag{7}$$

Se propone encontrar un modelo de regresión lineal de mínimos cuadrados de la forma

$$y = a_1 \cdot x + a_0 \tag{8}$$

Debido a que la planta es excitada con distintas combinaciones de tensiones eléctricas aplicadas en tiempo discreto se tiene que la Ecuación (8) es modificada de la forma

$$y^* = a_1 \cdot x^* + a_0 \tag{9}$$

En donde (*) representa el momento en que la muestra se adquiere en el periodo de tiempo durante el cual el sensor muestrea, que es de 200 ms. Por lo que, en función de la cantidad de muestras se obtendrá un conjunto de ecuaciones de la forma

$$\begin{aligned} {y_1}^* &= a_1 \cdot {x_1}^* + a_0 \\ {y_2}^* &= a_1 \cdot {x_2}^* + a_0 \\ {y_3}^* &= a_1 \cdot {x_3}^* + a_0 \\ &\vdots \\ {y_m}^* &= a_1 \cdot {x_m}^* + a_0 \end{aligned} \tag{10}$$

Y partiendo de la representación matricial bajo el cual se distinguen las expresiones propuestas es posible reescribirlo como

$$\begin{bmatrix} {y_1}^* \\ {y_2}^* \\ {y_3}^* \\ \vdots \\ {y_m}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {x_1}^* & 1 \\ {x_2}^* & 1 \\ {x_3}^* & 1 \\ \vdots & \vdots \\ {x_m}^* & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_0 \end{bmatrix} \tag{11}$$

La Ecuación (11) representa una ecuación matricial que se puede escribir como

$$A \cdot X = B \tag{12}$$

En donde $X = [a_1 \quad a_0]^T$

Típicamente, dicho sistema de ecuaciones es incompatible. Pre-multiplicando ambos lados de la Ecuación (12) por A^T se obtiene la siguiente expresión

$$A^T \cdot A \cdot X = A^T \cdot B \tag{13}$$

La Ecuación (13) representa la solución de mínimos cuadrados de la Ecuación (12) [8]. Por lo que, si dicho sistema es determinado, la incógnita X se puede calcular mediante

$$X_0 = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot B \tag{14}$$

Para describir el comportamiento de la salida RGB del banco fotométrico en función de la entrada u, se propone el modelo de regresión lineal matricial de mínimos cuadrados de la forma

$$RGB = \beta_1 \cdot u + \beta_0 \tag{15}$$

Siendo β_1 la matriz de coeficientes de dimensiones (2x3) y β_0 la matriz de términos independientes de dimensiones (3x1). Esta expresión presenta pares de entrada u^* y salida RGB^* en cada instante del periodo de muestreo que resulta como

$$RGB^* = \beta_1 \cdot u^* + \beta_0 \tag{16}$$

La cual, para su mayor entendimiento puede ser reestructurada de la forma

$$RGB^{*T} = u^{*T} {\beta_1}^T + {\beta_0}^T \tag{17}$$

Finalmente, teniendo el conjunto de Ecuaciones de la forma (10) y trasladando a la Ecuación (17) se tiene que por cada u se suscita una ecuación de la forma

$$\begin{aligned} RGB_1^{*T} &= u_1^{*T} \cdot {\beta_1}^T + {\beta_0}^T \\ RGB_2^{*T} &= u_2^{*T} \cdot {\beta_1}^T + {\beta_0}^T \\ RGB_3^{*T} &= u_3^{*T} \cdot {\beta_1}^T + {\beta_0}^T \\ &\vdots \\ RGB_m^{*\,T} &= u_m^{*\,T} \cdot {\beta_1}^T + {\beta_0}^T \end{aligned} \tag{18}$$

Y llevando la Ecuación (18) a la forma matricial se obtiene

$$\begin{bmatrix} RGB_1^{*T} \\ RGB_2^{*T} \\ RGB_3^{*T} \\ \vdots \\ RGB_m^{*\,T} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1^{*T} & 1 \\ u_2^{*T} & 1 \\ u_3^{*T} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ u_m^{*\,T} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {\beta_1}^T \\ {\beta_0}^T \end{bmatrix} \tag{19}$$

En donde *m* representa la cantidad de muestras obtenidas en función del periodo de muestreo y la duración del experimento, u^{*T} es el par formado por las corrientes normalizadas u_1 y u_2 en

formato de renglón con dimensiones (1x2) y con las cuales las lámparas LED son excitadas a través de la fuente de corriente, RGB^{*T} es el vector de componentes de color muestreados.

2.5. Metodología de validación

A partir de la entrada conformada por el vector u por los DAC, el bloque f modela el comportamiento de las matrices LED en respuesta a las corrientes normalizadas que son producidas (Figura 12).

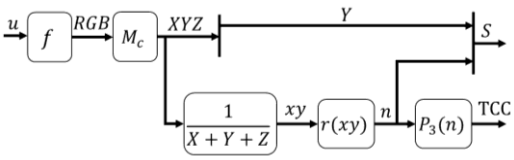

Figura 12. Diagrama de bloques del banco fotométrico.

Sin embargo, en este trabajo no se dispone de un instrumento para medir el TCC, a diferencia de la iluminancia, pero sí se posee un proceso de cálculo. Por lo que, conociendo que el sensor de tono (TCS3725) es capaz de devolver un vector de las componentes de color en función del número de cuentas ADC, dichas unidades no representan datos sustanciales respecto del tono de la fuente luminosa. Por lo que, para representar el tono de dicha fuente luminosa se deberá calcular su *temperatura de color correlacionada*, la cual es obtenida a través de una función polinómica que ha sido propuesta por el programador McCamy [9] y que es expresada como

$$TCC = an^3 + bn^2 + cn + d \qquad (20)$$

En donde el argumento de dicho polinomio es calculado gracias a la siguiente ecuación

$$n = \frac{x - x_e}{y - y_e} \qquad (21)$$

Dicha función polinomial proporciona resultados fidedignos de TCC en el rango de 2,000-12,500 K [10]. Esto es ocasionado debido a que el polinomio de tercer grado toma en cuenta un epicentro con coordenadas específicas que pueden ser reemplazas en la Ecuación (21) anterior

$$n = \frac{x - 0.3320}{0.1858 - y} \qquad (22)$$

Por otro lado, los coeficientes *a*, *b*, *c* y *d* se encuentran relacionados a una *matriz de corrección de color* que posee una dimensión de (3x3) y se expresa como

$$M_C = \begin{bmatrix} a_0 & b_0 & c_0 \\ a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{bmatrix} \qquad (23)$$

Para la cual se propuso la siguiente matriz de transformación acompañada de su función polinomial

$$M_C = \begin{bmatrix} 0.486887 & 0.306298 & 0.1710347 \\ 0.174658 & 0.824754 & 0.0005877 \\ -0.00125 & 0.016983 & 0.8094831 \end{bmatrix} \qquad (24)$$

Siendo la ecuación para la transformación de las componentes RGB al plano XYZ

$$XYZ = M_C \cdot RGB \qquad (25)$$

Y aplicando el siguiente conjunto de ecuaciones para obtener las coordenadas de cromaticidad [11]

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \qquad (26)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \qquad (27)$$

Las cuales permitirán calcular el argumento de la función polinómica TCC

que será calculada en este trabajo con los siguientes coeficientes

$$a = 449; \quad b = 3{,}525; \quad c = 6{,}823.3; \quad d = 5520.33 \tag{28}$$

3. Resultados y discusión.

De acuerdo con la metodología de aplicación de las formas de las entradas u_{f1} y u_{f2} al banco fotométrico, tras aplicar dichas entradas simultáneamente, se obtuvieron los siguientes comportamientos del vector RGB, pertenecientes a las Figuras 13, 14 y 15. En estas se aprecia un patrón de influencia en las componentes de color R_d, G_n y B_u por parte de las entradas u_{f1} y u_{f2}. Se observa, que conforme aumentan gradualmente u_{f1} y u_{f2} las componentes de color R_d, G_n y B_u aumentan proporcionalmente de igual manera.

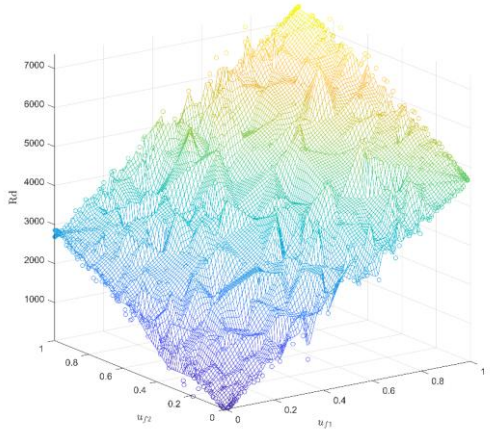

Figura 13. Salida del vector RGB, componente R_d.

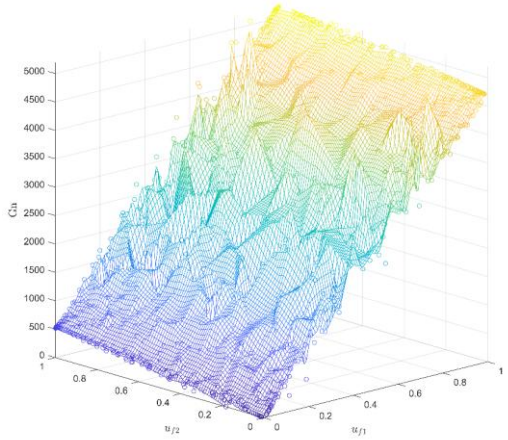

Figura 14. Salida del vector RGB, componente G_n.

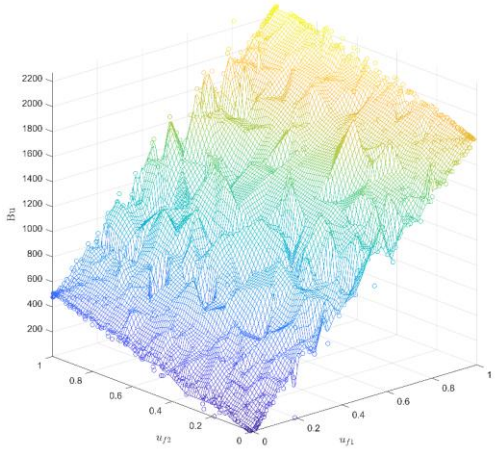

Figura 15. Salida del vector RGB, componente B_u.

3.1. Resultados de la regresión lineal.

La Ecuación (15) tiene una solución de mínimos cuadrados del modelo lineal propuesto para el banco fotométrico, mostrado en las matrices

$$\beta_1 = \begin{bmatrix} 4664.4 & 2685.2 \\ 4688.0 & 458.0 \\ 1791.1 & 464.7 \end{bmatrix} \tag{29}$$

$$\beta_0 = \begin{bmatrix} 88.2477 \\ 70.0866 \\ 30.8679 \end{bmatrix} \tag{30}$$

Los resultados referenciados al vector de componentes de color RGB muestran lo siguiente (Figuras 16 a 18)

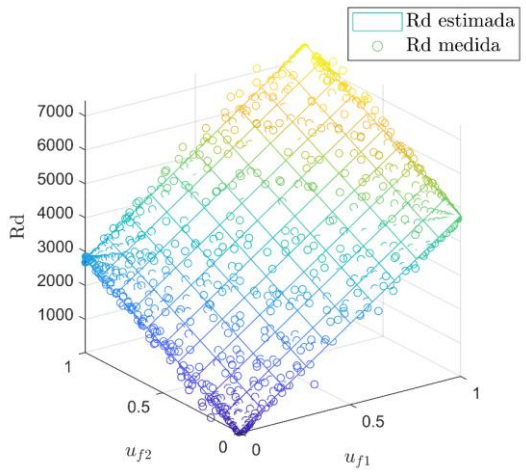

Figura 16. Componente R_d del modelo linealizado.

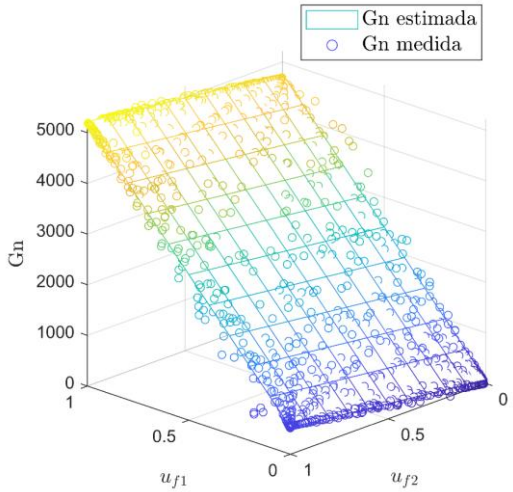

Figura 17. Componente G_n del modelo linealizado.

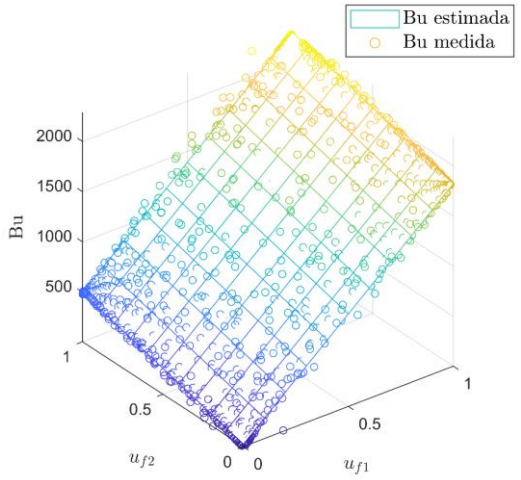

Figura 18. Componente B_u del modelo linealizado.

Así mismo, como se muestra en la Figura 19, es posible apreciar una de las variables de proceso la cual es la respuesta de iluminancia Y [lx] tras la aplicación de u_f, en comparación con el luxómetro modelo FT3424.

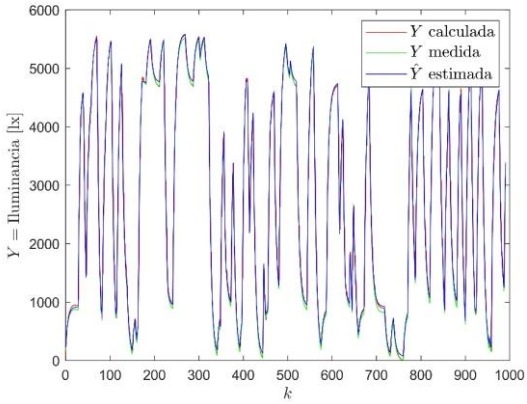

Figura 19. Comparación de la iluminancia.

Por otro lado, en las Figuras 20 y 21 es posible apreciar el cálculo de n, el cual corresponde con el argumento del polinomio del TCC referenciado a la Ecuación (21).

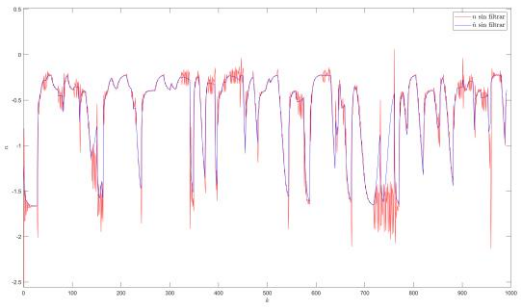

Figura 20. Argumento del polinomio TCC sin filtrar.

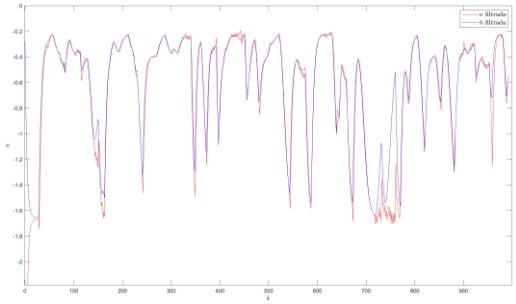

Figura 21. Argumento del polinomio TCC filtrado.

Por otro lado, de acuerdo con el argumento n previamente calculado se obtuvieron en las Figuras 22 y 23 las magnitudes correspondientes al TCC en base a la Ecuación (20).

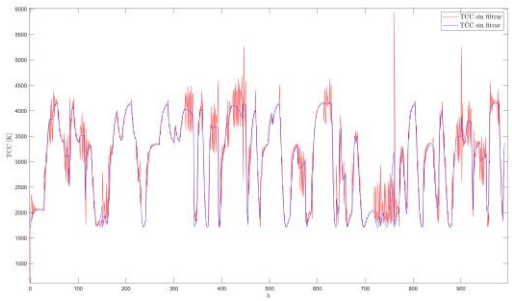

Figura 22. Temperatura de color correlacionada sin filtrar.

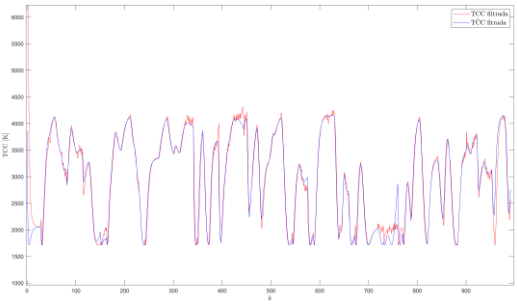

Figura 23. Temperatura de color correlacionada filtrada.

Finalmente, es posible observar discrepancias de las muestras con respecto al modelo en las Figuras 16-23.

Se observa concordancia de los datos debido al modelo lineal que relaciona una entrada con una salida. Esto se debe a que el comportamiento cuantitativo de la salida presenta una relación causal de la entrada sobre esta y queda descrito mediante una relación funcional a través del modelo algebraico obtenido por regresión de mínimos cuadrados.

En las Figuras 13-15 se observa el comportamiento del ruido, que probablemente se encuentra originado por la forma de onda empleada en u_f, el acondicionamiento del sensor de tono (TCS34725), por el proceso de conversión análogo-digital de este sensor, por el proceso de conversión digital-análogo de los DAC MCP4725, e inclusive por la influencia de la temperatura generada por las lámparas del banco fotométrico.

Conclusiones

Se comprobó la hipótesis que el comportamiento de la salida del banco fotométrico referido a la iluminancia y TCC, corresponden a un modelo algebraico de la forma

$$S = \Gamma(u)$$

En donde u es la entrada controlada (corriente normalizada que es aplicada a las matrices LED que conforman las fuentes luminosas).

Por otro lado, se comprobó que la regresión lineal para la conversión de las componentes de color R_d, G_n y B_n es una caracterización apropiada de la respuesta de las matrices LED referidas previamente.

Así mismo, este modelo identificado para las lámparas LED puede ser usado para la generación de tablas de búsqueda que permiten identificar pares de entradas que producen valores específicos de iluminancia y TCC, las cuales podrían corresponder a las de un iluminante en concordancia con el CIE. Dicho comportamiento correspondería con la producción del iluminante. A través del banco fotométrico utilizado.

Esto es relevante en el contexto de metrología, siendo específico en el área de iluminancia que conlleva la calibración de luxómetros de acuerdo con la norma NOM-025-STPS-2008. Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

Agradecimientos
Los autores agradecen al Máster José Federico Chong Flores por haber prestado el banco fotométrico con el cual se realizaron las pruebas para la obtención del modelo de regresión lineal. Así mismo, expresan su agradecimiento al Instituto Tecnológico de Ciudad Madero por haber facilitado el acceso al Laboratorio de Ingeniería Electrónica, así como el Laboratorio de la Maestría en Ingeniería Eléctrica.

Referencias

1. Bureau International des Poids et Mesures, The International System of Units (SI), 9,1.08,(2019).
2. José Federico Chong Flores. *Diseño y construcción de una cámara de iluminancia ajustable para calibración de luxómetros utilizando un controlador digital con la técnica de reubicación de polos, cumpliendo con los requisitos de la norma oficial mexicana NOM-025-STPS-2008*, 90, (2024).
3. K.I. Kolev, Scientific Researches of the Union of Scientists in Bulgaria - Plovdiv. XII, (2014), 153-157.
4. N. Katrandzhiev, N. Karnobatev, A. Kansazov, Scientific Researches of the Union of Scientists in Bulgaria - Plovdiv. XII, (2014), 202-206.
5. TAOS ®, *TCS3472 COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER with IR Filter*, 8, (2009).
6. TAOS ®. *INTELLIGENT OPTO SENSOR: DESIGNER'S NOTEBOOK*, (2009).
7. MICROCHIP ®, 12-Bit Digital-to-Analog Converter with EEPROM Memory in SOT-23-6, 50, (2009).
8. Paul D. Berger, Robert E. Maurer, Giovana B. Celli, *Experimental Design: With Applications in Management, Engineering, and the Sciences,* 644, (2018).
9. C.S. McCamy. Correlated color Temperature as an Explicit Function of Chromaticity Coordinates. John Wiley & Sons, Inc, (1992), 142-1
10. J. H. Andrés, R.L. Lee Jr., J. Romero. Calculating correlated color temperatures across the entire gamut of daylight and skylight chromaticities, 38, 27, (1999), 5703-5709.
11. CIE. *TECHNICAL REPORT: COLORIMETRY*, 15, 3, (2004).

Productividad del ganado Angus: peso al nacer

Martínez González Juan Carlos[1]*, Rivera Sandoval Jorge Pedro[2], Lucero Magaña Froylán Andrés[1], Castillo Rodríguez Sonia Patricia[1], Parra Bracamonte Gaspar Manuel[3]
[1]Facultad de Ingeniería y Ciencias-Universidad Autónoma de Tamaulipas
[2]Gobierno del Estado de Guanajuato
[3]Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional
*Autor de correspondencia: jmartinez@docentes.uat.edu.mx

RESUMEN

Con el fin de evaluar el peso al nacer del ganado Angus se analizaron los datos productivos de un hato localizado en la Hacienda de Barbosa en León, Guanajuato. Se analizaron los pesos de los becerros. El clima es templado subhúmedo clasificado como C(w), con una temperatura y precipitación media anual de 18° C y 620 mm, respectivamente. El rancho contaba con más de 1000 ha de pastizal natural que se manejó a través del pastoreo rotacional. El hato se fundó con vacas del país y toros y semen importados de Estados Unidos, con el fin de producir animales de registro para pie de cría de las variedades Angus Negro y Rojo. Todos los animales se mantuvieron en condiciones de pastoreo con suplementación de minerales *ad libitum*, y en ocasiones con suplementación de alimentos concentrados. La reproducción se realizaba con inseminación artificial y/o monta directa, las vacas que no quedaban preñadas luego de tres servicios se desechaban, la cría de los becerros fue en forma natural y permanecieron con la vaca hasta la edad de siete meses aproximadamente. Se utilizó un modelo lineal para estudiar los efectos de sexo de la cría (SX) y época de parto (EP). La media de peso al nacer fue 30.4 ± 3.6 kg. Con efectos significativos de SX de la cría ($P < 0.05$), los machos superaron a las hembras en 2 kg. Mientras que la época de nacimientos no afectó el peso al nacer, los becerros más pesados fueron los que nacieron durante la época de secas.

Palabras clave: **peso al nacer, ganado Angus, Bajío, Registro.**

ABSTRACT

In order to evaluate the birth weight of Angus cattle, production data from a herd located at Hacienda de Barbosa in León, Guanajuato, were studied. The weights of 41 calves were analyzed. The climate is temperate sub-humid, classified as C(w), with an average annual temperature and precipitation of 18°C and 620 mm, respectively. The ranch had more than 1,000 ha of natural pasture that was managed through rotational grazing. All paddocks had water supplies and mineral salt supplementation. The herd was founded with domestic cows and bulls and semen imported from the United States, to produce registered animals for breeding of the Black and Red Angus varieties. All animals were kept under grazing conditions with *ad libitum* mineral supplementation and, on occasion, concentrated feed supplementation. Reproduction was carried out by artificial insemination and/or direct mating. Cows that did not become pregnant after three services were culled. Calves were raised naturally and remained with their mothers until approximately eight months of age. A linear model was used to study the effects of sex of calves (SX) on the number of last births (NP). The mean birth weight was 30.4 ± 3.6 kg. With significant SX effects of

breeding (P < 0.05), males outnumbered females by 2.o kg. While the birth season did not affect birth weight, the heaviest calves were those born during the dry season.

Keywords: **Angus cattle, Bajío, birth weight, Registry.**

1. Introducción

En México, la ganadería constituye el principal uso del suelo del país desarrollándose en una superficie de 110.0 millones de ha, lo que representa el 56% del territorio nacional, en esta superficie se mantiene alrededor de 30.5 millones de cabeza de ganado de bovino de carne [1], contribuyendo el Estado de Guanajuato con 681,493 cabezas que se crían principalmente en el sistema vaca-becerro.

Los genotipos utilizados en estas zonas son bovinos de origen *Bos taurus* y cruces con ganado *Bos indicus*, siendo las razas más utilizadas Angus, Hereford, Charolais y Brahman [2]. Debido a los costos de los remplazos, es necesario mantener a las vacas tanto tiempo como sea posible, disminuyendo el riesgo de descarte en los ranchos.

Los sistemas intensivos han tenido consecuencias negativas en las vacas, en virtud de que la exigencia de una óptima productividad se traduce en acortamiento de sus ciclos productivos.

Basurto [3] señaló que la eficiencia reproductiva se ha visto afectada debido a la disminución de los índices de fertilidad, afectando principalmente los porcentajes de nacimientos y destetes anuales en las ganaderías.

De igual modo, Cortés y Martínez [4] señalaron que el factor más importante es el estado reproductivo en el periodo posparto, en donde se presenta un anestro prolongado que se caracteriza por ausencia de ciclos ováricos después del parto, siendo afectado principalmente por factores genéticos (raza) y ambientales (nutrición, amamantamiento, condición corporal, edad de la vaca y manejo). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el peso al nacer de becerros Angus en el Estado de Guanajuato, México.

2. Material y métodos

El presente trabajo se realizó con los registros productivos de un hato de ganado Angus de registro de la Hacienda de Barbosa, la cual se ubica en el municipio de León, Guanajuato, México. Localizada geográficamente a 21° 16' 55" Latitud Norte, 101° 37' 56" Longitud Oeste y a una altura de 2,233 msnm [5].

El clima es templado subhúmedo clasificado como C(w) con lluvias en verano, con una temperatura y precipitación media anual de 18 °C y 620 mm, respectivamente [6].

El rancho cuenta con más de 1000 ha de pastizal natural con áreas de bosque de encino. Las especies que predominan son: navajita (*Bouteloua gracilis*), banderilla (*Bouteloua curtipendula*) y zacate amacollado (*Muhlenbergia repens*). El manejo del pastizal fue a través del pastoreo rotacional, todos los potreros cuentan con suministro de agua y suplementación de sales minerales. Además, en algunas áreas del rancho se introdujo el pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

El hato se fundó en el año 2000, con vacas del país, toros y semen importados de los Estados Unidos, con el fin de producir animales de registro para pie de cría de las variedades Angus Negro y Rojo.

Todos los animales se mantuvieron en condiciones de pastoreo pero con suplementación de minerales *ad libitum*, y en ocasiones con suplementación de alimento concentrado sobre todo en los meses de mayor escasez de alimento.

La reproducción se realizaba fundamentalmente en dos periodos de empadre con inseminación artificial y monta natural controlada. A partir del año 2003 se implementó la política de eliminación de hembras que no concibieran luego de tres servicios consecutivos (dos con IA y uno con monta natural).

La cría de los becerros fue en forma natural y permanecieron con la vaca hasta la edad de ocho meses aproximadamente. Todos los animales fueron vacunados contra enfermedades endémicas cada seis meses. Además, se trataron contra parásitos internos y externos según el grado de infestación.

Los datos fueron obtenidos de la información registrada en las tarjetas individuales y los libros del rancho. La información correspondió a los años de parto de 2000 a 2023 (AP), el año se dividió en tres épocas de parto (EP) de acuerdo con las condiciones ambientales predominantes (temperatura y precipitación pluvial); así, la época de frío (EPF = diciembre, enero, febrero y marzo); época de sequía (EPS = abril, mayo, junio y julio); y época de lluvias (EPL = agosto, septiembre, octubre y noviembre).

Los datos se analizaron a través de la metodología de mínimos cuadrados del paquete estadístico SAS (2001), el modelo incluyó los efectos sexo de la cría y época de parto.

3. Resultados y Discusión

La media general para peso al nacer fue 30.4 ± 3.6 kg. Este resultado es similar al encontrado por Revidatti et al. (2000). Pereira et al. (2015) encontraron pesos al nacer mayores para ganado Angus en retrocruza con Hereford (32.2 ± 0.56 kg). Sin embargo, Cienfuegos-Rivas et al. (2006) encontraron que la media fenotípica para peso al nacimiento en ganado para carne fue de 37.7 ± 6.1 kg, dentro del grupo racial del toro, la raza Angus tuvo los valores más bajos.

Por otro lado, el sexo de la cría tuvo efectos significativos ($p < 0.05$) sobre el peso al nacer, los machos superaron a las hembras en 2 kg. Similares resultados son señalados por Pereyra et al. (2015), donde encontraron que los becerros Angus tuvieron una diferencia negativa para peso al nacer cuando se compararon con los becerros Hereford ($p=0.005$). El peso al nacer es una característica de la capacidad de supervivencia de los terneros, ya que pesos livianos se relacionan con animales débiles y pesos elevados predisponen a la vaca a partos distócicos (Martínez et al., 2004). Además, los machos superaron a las hembras en el peso al nacer como resultado de las hormonas androgénicas, en particular la testosterona.

Mientras que la época de nacimientos no afectó ($p > 0.05$) el peso al nacer. Los becerros más pesados fueron los que nacieron durante la época de secas.

Conclusiones

En este estudio los becerros nacidos durante la época de secas fueron los más pesados.

Referencias

1. SIAP. 2012. Población ganadera. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaBasica/Pecuario/PoblacionGanadera/ProductoEspecie/bovcarn.pdf

2. Tewolde, A. J. C. Martínez G., E. Gutiérrez O. y J. Magaña M. 2002. Utilización estratégica de los recursos genéticos para la intensificación de los sistemas de producción bovina de doble propósito. Memorias. IX Curso Internacional de Reproducción Bovina. UNAM-FMVZ-División de Educación Continua-Departamento de Reproducción. México, D. F. p. 121-134.
3. Basurto, C. H. 2003. Memorias del Curso Internacional: Manejo del ganado bovino de doble propósito, UNAM, Tlapacoyán, Veracruz.
4. Cortez, J. C. y J. C. Martínez G. 2000. El anestro un problema de manejo reproductivo en las vacas productoras de carne. Revista de la Universidad Autónoma de Tamaulipas No. 73 (Julio-Agosto):44-47.
5. Ubicación satelital de la Hacienda de Barbosa https://satellites.pro/mapa_de_Barbosa_Uno_Hacienda_de_Barbosa#google_vignette
6. INEGI. 2007. Tipos de clima en Guanajuato. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/gto/clim.cfm
7. SAS. 2001. SAS, User's guide: Basics. Versión 9.1. Institute Statistical Analysis System. Cary, NC. USA.
8. Revidatti, María A.; Crudeli, Gustavo A.; Minoli, Carlos J. 2000. Peso al nacimiento y evolución hasta el destete de terneros cruza Senepol vs. cruza Aberdeen Angus en Corrientes. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/raza_senepol/03-peso.pdf
9. Pereyra F. Urioste J.I., Gimeno D., Peñagaricano F., Bentancur D., Espasandín A. 2015. Parámetros genéticos en la etapa de cría para el cruzamiento entre Hereford y Angus en campo natural. Agrociencia Uruguay 19(1):140-149.
10. Cienfuegos-Rivas E.G., M. A. R. de Orúe-Ríos, M. Briones-Luengo, J. C. Martínez-González 2006. Estimación del comportamiento productivo y parámetros genéticos de características predestete en bovinos de carne (*Bos taurus*) y sus cruzas, VIII Región, Chile. Arch. Med. Vet. 38(1): 69-75.
11. Martínez, G.J.C., A. Tewolde y J. Alba. 2004. Mortalidad de hembras de genotipos bovinos lecheros bajo condiciones de trópico húmedo. BioTam n.s. 15:51-60.

Transversalidad Científica y Tecnológica, Volumen 9,
Número 2; se terminó de editar en diciembre de 2025.
Queda prohibida su reproducción parcial o total.

Todos los derechos reservados.

ATICTAC, MMXXV