

# Alternativas de materiales para la generación de energía eléctrica contextualizada al entorno social: la pila de limones como herramienta didáctica en contextos de recursos limitados

A. E. Camacho López, M. Rodríguez Quintero, A. Zarabia Salazar, y C. Pérez Angulo  
*Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa.*

Received 25 November 2025; accepted 3 December 2025

Esta investigación presenta la implementación de la pila electroquímica de limones como alternativa didáctica para la enseñanza de la generación de energía eléctrica en contextos educativos con recursos limitados. La propuesta se fundamenta en el constructivismo social y el aprendizaje significativo de Ausubel, aplicados mediante experimentos de bajo costo que permiten a los estudiantes comprender los principios de las reacciones de oxidación-reducción y la conversión electroquímica de energía. La implementación se realizó con estudiantes de la UAP Navolato-extensión Sataya, organizados en equipos colaborativos, utilizando materiales accesibles como limones frescos, clavos galvanizados y cables de cobre. Los resultados evidencian la generación exitosa de voltajes entre 0.7 y 0.9 V por limón, suficientes para encender dispositivos LED de bajo consumo cuando se conectan en serie. La evaluación cualitativa revela un incremento significativo en la motivación estudiantil y la comprensión conceptual de los fenómenos electroquímicos. Esta propuesta demuestra que es posible mantener la calidad educativa mediante estrategias didácticas innovadoras que transforman las limitaciones materiales en oportunidades pedagógicas, contribuyendo a una educación científica inclusiva y contextualizada.

*Descriptor:* Pila electroquímica; reacciones redox; didáctica de la física; materiales alternativos; educación inclusiva.

This research presents the implementation of a lemon electrochemical battery as a didactic alternative for teaching electrical energy generation in educational contexts with limited resources. The proposal is based on social constructivism and Ausubel's meaningful learning theory, applied through low-cost experiments that allow students to understand the principles of oxidation-reduction reactions and electrochemical energy conversion. The implementation was carried out with students from the UAP Navolato-Sataya extension, organized in collaborative teams, using readily available materials such as fresh lemons, galvanized nails, and copper wires. The results demonstrate the successful generation of voltages between 0.7 and 0.9 V per lemon, sufficient to power low-consumption LEDs when connected in series. The qualitative evaluation reveals a significant increase in student motivation and conceptual understanding of electrochemical phenomena. This proposal demonstrates that it is possible to maintain educational quality through innovative teaching strategies that transform material limitations into pedagogical opportunities, contributing to an inclusive and contextualized science education.

*Keywords:* Electrochemical cell; redox reactions; physics teaching; alternative materials; inclusive education.

DOI: <https://doi.org/10.31349/RevMexFis.7.011407>

## 1. Introducción

La enseñanza de la física en el nivel medio superior enfrenta desafíos significativos relacionados con la disponibilidad de recursos materiales para la experimentación. Según Hofstein y Lunetta, las prácticas de laboratorio constituyen un componente esencial de la educación científica, permitiendo a los estudiantes desarrollar habilidades de investigación, conectar la teoría con la práctica y construir comprensión conceptual mediante experiencias directas. Sin embargo, muchas instituciones educativas, particularmente en zonas rurales o con limitaciones presupuestales, carecen de los equipos especializados necesarios para realizar experimentos tradicionales de electromagnetismo e inducción eléctrica [1].

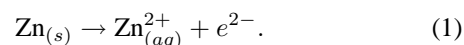
El Marco Curricular Común de la Educación Media Superior (MCCEMS) establece que los estudiantes deben desarrollar competencias científicas relacionadas con la comprensión de fenómenos electromagnéticos y la aplicación práctica de conceptos de energía eléctrica [2]. Esta normativa curricular presenta una oportunidad para implementar estra-

tegias didácticas innovadoras que, utilizando materiales alternativos, permitan cumplir con los objetivos de aprendizaje sin depender de infraestructura costosa.

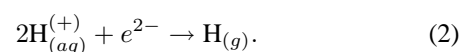
## 2. Marco teórico

Las pilas electroquímicas generan corriente por reacciones redox [3]. En pilas de frutas, el zinc se oxida en el ánodo y los iones hidrógeno se reducen en el cátodo de cobre, usando el ácido cítrico de la fruta como electrolito.

La reacción anódica puede representarse como:



Mientras que la reacción catódica corresponde a:



Scatolini y Tosato demostraron que las pilas de frutas pueden generar voltajes teóricos de hasta 1.1 V, aunque los

valores prácticos varían entre 0.7 y 0.9 V debido a resistencias internas y factores cinéticos [4].

Supasorn identificó que los estudiantes frecuentemente presentan concepciones alternativas relacionadas con la dirección del flujo de electrones, el papel de los electrolitos y la polaridad de los electrodos [5].

El constructivismo social de Vygotsky proporciona un marco teórico apropiado para abordar estas dificultades con actividades colaborativas permitiendo construir comprensión a través de la interacción social y la experiencia directa [6]. La Zona de Desarrollo Próximo resulta particularmente relevante en experimentos de laboratorio, donde el trabajo en equipo y la mediación docente facilitan el aprendizaje [7].

El aprendizaje significativo ocurre al relacionar nueva información con conceptos preexistentes [8]. En electroquímica, las pilas de frutas actúan como organizadores previos, conectando el conocimiento cotidiano sobre baterías con conceptos científicos formales.

Zacharia y Constantinou demostraron que los experimentos de física basados en principios constructivistas generan ganancias significativas en comprensión conceptual comparados con enfoques tradicionales [9].

La educación científica inclusiva valora la diversidad de contextos [10], y los experimentos con materiales alternativos son una estrategia pedagógica culturalmente responsiva. Estos, además de resolver limitaciones materiales, promueven creatividad y pensamiento crítico [11], transformando restricciones en oportunidades de aprendizaje al conectar la ciencia con experiencias cotidianas.

### 3. Metodología

La presente investigación adoptó un enfoque mixto con diseño cuasi-experimental, implementando una secuencia didáctica basada en el constructivismo social para evaluar la efectividad de las pilas de limones como herramienta didáctica. El estudio se realizó durante un periodo de dos meses en la Unidad Académica Preparatoria Navolato extensión Sataya de la Universidad Autónoma de Sinaloa, en este contexto se representan las condiciones típicas de instituciones públicas de educación media superior con recursos materiales limitados. La población de estudio consistió en 32 estudiantes de cuarto semestre de bachillerato, con edades entre 16 y 17 años, organizados en ocho equipos de cuatro integrantes para promover el aprendizaje colaborativo según los principios de Vygotsky [6] y estrategias de aprendizaje según Cruz, *et al* [7]. Los participantes cursaban la materia de Mecánica II, que incluye contenidos de electromagnetismo según el plan de estudios del MCCEMS. La selección de esta muestra respondió a criterios de conveniencia y accesibilidad, considerando que los estudiantes ya habían cursado conceptos básicos de energía en semestres anteriores, lo que proporcionaba los conocimientos previos necesarios para el desarrollo de la propuesta.

El procedimiento experimental, basado en el aprendizaje significativo de Ausubel [8], se dividió en tres fases de dos

semanas cada una. La primera, “Activación de conocimientos previos”, incluyó diagnósticos, discusiones sobre experiencias cotidianas y una introducción teórica a la electroquímica. La segunda, “Experimentación activa”, se centró en la construcción colaborativa de pilas de limón, midiendo voltajes y verificando su funcionamiento con LEDs. Por último, la fase de “Consolidación conceptual” implicó el análisis grupal de resultados y la elaboración de informes de laboratorio para conectar la teoría con la práctica.

La evaluación de la efectividad didáctica fue mixta: cuantitativamente, se midió el voltaje de las pilas con multímetros ( $\pm 0.1$  V) y se aplicaron pre-test y post-test de preguntas de opción múltiple sobre electroquímica. Cualitativamente, la motivación estudiantil se evaluó con una escala Likert con preguntas de antes y después de la intervención.

Finalmente, se realizó análisis de contenido de los reportes de laboratorio para evaluar el desarrollo de habilidades de comunicación científica y la capacidad de establecer conexiones entre observaciones empíricas y marcos teóricos.

Los materiales utilizados fueron cuidadosamente seleccionados considerando criterios de accesibilidad, bajo costo y disponibilidad en contextos rurales o urbanos con limitaciones económicas. Cada equipo trabajó con limones frescos de tamaño mediano, requiriendo entre 4 y 6 unidades para desarrollar diferentes configuraciones experimentales. Los clavos galvanizados de 3 pulgadas sirvieron como fuente de zinc para el ánodo, mientras que cables de cobre desnudo calibre 14 AWG funcionaron como cátodos. Para la verificación funcional se utilizaron diodos LED de 5 mm con voltaje de operación entre 1.8 y 2.2 V, seleccionados por su bajo umbral de encendido y disponibilidad comercial. Los multímetros digitales básicos proporcionaron las mediciones cuantitativas necesarias, y material de conexión adicional como pinzas cocodrilo que facilitó el armado de circuitos experimentales. La selección de estos materiales respondió al objetivo de demostrar que experimentos científicamente rigurosos pueden realizarse con recursos accesibles, transformando las limitaciones materiales en oportunidades pedagógicas.

### 4. Discusión y análisis de resultados

La implementación experimental generó datos consistentes que confirman la viabilidad didáctica de las pilas de limones. Las mediciones de voltaje revelaron que cada limón individual produjo valores entre 0.7 y 0.9 V, con un promedio de  $0.82 \pm 0.08$  V ( $n = 96$  mediciones). Esta variabilidad se atribuyó a diferencias en el tamaño de los limones, concentración de ácido cítrico y calidad de las conexiones eléctricas.

Al conectar múltiples limones en configuración serie, los equipos lograron generar voltajes acumulativos siguiendo la ley de Kirchhoff para circuitos eléctricos. Las configuraciones más exitosas incluyeron: 3 limones en serie:  $3.4 \pm 0.2$  V (suficiente para LED rojo); 4 limones en serie:  $5.2 \pm 0.3$  V (operación estable de LED); 6 limones en serie:  $8.8 \pm 0.4$  V (múltiples LEDs en paralelo).

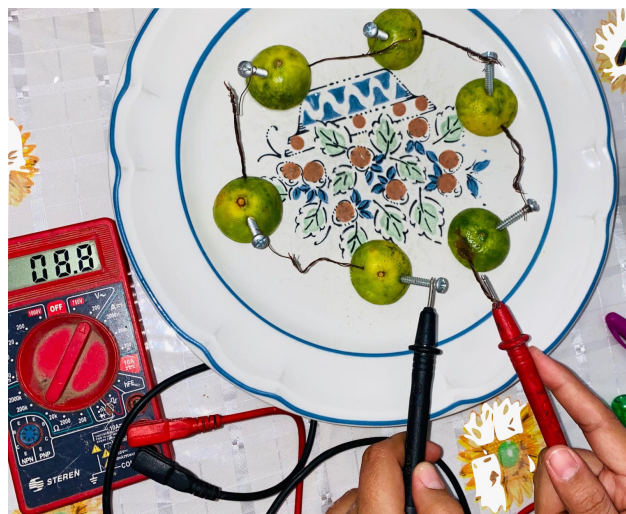


FIGURA 1. Con ayuda del multímetro digital, los estudiantes registraron lecturas de voltaje generado por su pila.

La corriente generada por las pilas osciló entre 0.8 y 1.2 mA, valores apropiados para dispositivos de muy bajo consumo energético. Estos resultados son consistentes con reportes previos en la literatura especializada [12].

Evaluación de comprensión conceptual. La comparación pre-test y post-test reveló mejoras estadísticamente significativas en comprensión conceptual. El puntaje promedio se incrementó de 56 % de aciertos en el pre-test a 82 % de aciertos en el post-test. Las mejoras más notables se observaron en ítems relacionados con: identificación de componentes de celdas electroquímicas (mejora del 45 %); comprensión del flujo de electrones en circuitos (mejora del 38 %); relación entre reacciones químicas y generación eléctrica (mejora del 52 %).

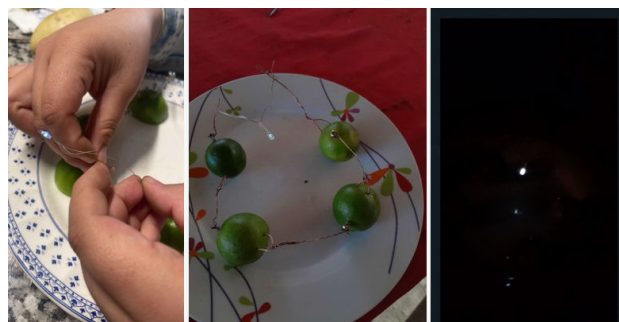


FIGURA 2. Se logra encender pequeño LED, demostrando que el sistema experimental generó una corriente eléctrica funcional.

Impacto motivacional. La evaluación de motivación mostró incrementos significativos en múltiples dimensiones. La escala de motivación intrínseca hacia la física aumentó de  $2.8 \pm 0.7$  puntos (escala 1-5) a  $4.2 \pm 0.6$  puntos post-intervención. Los estudiantes reportaron mayor confianza en su capacidad para realizar experimentos científicos y expresaron interés incrementado en carreras relacionadas con ciencias físicas. Las observaciones de aula documentaron episodios de aprendizaje colaborativo efectivo, con estudiantes asumiendo roles complementarios en la construcción y evaluación de las pilas. Los reportes de laboratorio evidenciaron desarrollo de habilidades de comunicación científica y capacidad para establecer conexiones entre observaciones empíricas y marcos teóricos. Las entrevistas revelaron que los estudiantes valoraron particularmente la accesibilidad de los materiales y la conexión con aplicaciones tecnológicas cotidianas.

La documentación visual del proceso experimental incluyó imágenes de las configuraciones de pilas, mediciones de voltaje (Fig. 1) y demostración del funcionamiento de los LEDs (Fig. 2). Esta evidencia confirma la reproducibilidad del experimento y su potencial como herramienta didáctica estándar.

1. L. V. N. Hofstein, A., The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century, *Science Education* **88** (2004), <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
2. S. de Educación Pública, Marco Curricular Común de la Educación Media Superior (MCCEMS) (2023).
3. K. J. Atkins *et al.*, *Atkins' physical chemistry*, **11** (Oxford University Press., 2018).
4. T. M. L. Scatolini, Development and validation of fruit batteries for chemistry education, *Journal of Chemical Education* **91** (2014).
5. S. Supasorn, Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments, *Chemistry Education Research and Practice* **16** (2015) 393.
6. L. S. Vygotsky, *Mind in society: The development of higher psychological processes*, Harvard University Press (1978).
7. D. L. Cruz *et al.*, Aprendizaje colaborativo en entornos educativos: conceptos claves, principios fundamentales y teorías de aprendizaje (2024).
8. D. P. Ausubel, *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*, Kluwer Academic Publishers (2000).
9. C. C. P. Zacharia, Comparing the influence of physical and virtual manipulatives in the context of the Physics by Inquiry curriculum: The case of undergraduate students' conceptual understanding of heat and temperature, *American Journal of Physics* **76** (2008).
10. G. Gay, *Culturally responsive teaching: Theory, research, and practice* (Teachers College Press, 2018).
11. A. Eisenkraft, Expanding the 5E model: A proposed 7E model emphasizes "transfer of learning" and the importance of eliciting prior understanding, *The Science Teacher* **70**.
12. S. M. Reid, N., Low-cost galvanic cells as a teaching tool for electrochemistry, *Royal Society of Chemistry Education Division*.