

ORIGINAL

Photosynthetic energy: a sustainable and low-cost option for rural and urban development in Arequipa

Energía fotosintética: una opción sostenible y de bajo costo para el desarrollo rural y urbano en Arequipa

Marilyn Villanueva-Batallanos^a  , Ana María Flores-Mollesaca^a  , Fernando Moises Duglas Romero-Villanueva^a  , Nicolas Matheo Ragnar Mamani-Ruiz^a  , Adriana Carolina Ruiz-Rojas^a  , Rafael Romero-Carazas^a  

^aI.E Jorge Basadre Grohmann. Arequipa, Perú.

Corresponding Author: Marilyn Villanueva-Batallanos^a 

How to Cite: Villanueva-Batallanos, M., Flores-Mollesaca, A. M., Romero-Villanueva, F. M. D., Mamani-Ruiz, N. M. R., Ruiz-Rojas, A. C., & Romero-Carazas, R. (2025). Photosynthetic energy: a sustainable and low-cost option for rural and urban development in Arequipa. *Edu - Tech Enterprise*, 3, 113. <https://doi.org/10.71459/edutech2025113>

Submitted: 31-05-2025

Revised: 20-08-2025

Accepted: 14-11-2025

Published: 15-11-2025

ABSTRACT

The study was aimed at achieving Sustainable Development Goal (SDG) No. 7, which promotes access to affordable, safe and sustainable energy. Its objective was to demonstrate the feasibility of generating electricity from plant photosynthesis as an ecological and low-cost alternative for rural and urban development in Arequipa. The methodology was descriptive and experimental design, applying an experiment with seven plant species under controlled conditions of light and humidity. Accessible materials, such as cables, metal meshes and multimeters, were used to record voltages for a week, the experiment was developed with elementary school students of the Jorge Basadre Grohmann, located in the city of Arequipa. The informed consent of the participants for the confidentiality of data was respected. The results showed that the Mother-in-law's Tongue reached up to 850 mV, confirming the possibility of obtaining electrical energy through natural processes. In conclusion, it was demonstrated that photosynthetic energy is a real and sustainable option, capable of promoting environmental education and contributing to reducing dependence on conventional energy sources in Arequipa.

Keywords: Energy, Plants, Rural Development, Photo-Energy.

RESUMEN

El estudio se orientó al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N.^º 7, que promueve el acceso a una energía asequible, segura y sostenible. Su objetivo fue demostrar la viabilidad de generar electricidad a partir de la fotosíntesis de plantas como alternativa ecológica y de bajo costo para el desarrollo rural y urbano de Arequipa. La metodología fue de tipo descriptivo y diseño experimental, aplicando un experimento con siete especies vegetales bajo condiciones controladas de luz y humedad. Se emplearon materiales accesibles, como cables, mallas metálicas y multímetros, para registrar voltajes durante una semana, el experimento se desarrolló con estudiantes de primaria de la I.E. Jorge Basadre Grohmann. ubicada en la ciudad de Arequipa. Se respetó el asentamiento informado de los participantes para la confidencialidad de datos. Los resultados mostraron que la Lengua de Suegra alcanzó hasta 850 mV, confirmando la posibilidad de obtener energía eléctrica mediante procesos naturales. En conclusión, se demostró que la energía fotosintética es una opción real y sostenible, capaz de fomentar la educación ambiental y contribuir a reducir la dependencia de fuentes energéticas convencionales en Arequipa.

Palabras clave: Energía, Plantas, Desarrollo Rural, Foto-Energía.

INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado de combustibles fósiles ha intensificado el cambio climático, provocando graves impactos en la biodiversidad y en los ecosistemas naturales. En las últimas décadas, las emisiones globales de gases de efecto invernadero han aumentado de manera sostenida, generando un desequilibrio ambiental que amenaza tanto a las zonas rurales como urbanas. Frente a esta situación, la búsqueda de fuentes alternativas y sostenibles de energía se ha convertido en una prioridad mundial. Entre las distintas opciones emergentes, la energía fotosintética se presenta como una alternativa innovadora, limpia y de bajo costo, capaz de aprovechar los procesos naturales de las plantas para generar electricidad sin emitir contaminantes ni alterar el entorno (Lecaro & Garzón, 2021).

Asimismo, el aumento de emisiones de CO₂ (Dióxido de Carbono) y el agotamiento de recursos fósiles (fuente de energía no renovable) exigen soluciones urgentes, el sector energético representa el 75 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (ONU, 2024). Las energías renovables tradicionales (solar, eólica, hidráulica) requieren infraestructura costosa o afectan al entorno. En cambio, la fotosíntesis es un proceso natural altamente eficiente que libera electrones durante la conversión de luz solar en glucosa (Barrios et al., 2021). ¿Es posible aprovechar estos electrones para generar electricidad limpia?

La energía fotosintética se basa en la captación de electrones liberados durante la fotosíntesis, los cuales pueden ser canalizados mediante celdas biológicas para producir energía eléctrica. Este principio permite obtener electricidad a partir de organismos vegetales vivos, sin comprometer su desarrollo ni su función ecológica. En contextos como el de Arequipa, donde coexisten zonas de alta densidad urbana con comunidades rurales de recursos limitados, esta tecnología podría representar una herramienta transformadora para mejorar la calidad de vida, reducir la dependencia de fuentes no renovables y promover la equidad energética (Hilario et al., 2025).

Diversos estudios han explorado el potencial de la energía fotosintética como fuente alternativa para la generación de electricidad limpia. Márquez et al. (2025) analizaron en su investigación Harnessing photosynthesis to produce electricity using cyanobacteria, green algae, seaweeds and plants los principios de los sistemas biofotoelectroquímicos (BPEC), que emplean organismos vivos como cianobacterias, algas verdes y plantas superiores para convertir la energía lumínica en energía eléctrica. Los autores destacan que la fotosíntesis natural, a través del transporte de electrones en los fotosistemas, puede aprovecharse mediante electrodos especializados para producir electricidad sin emisiones contaminantes. Además, identificaron desafíos técnicos relacionados con la eficiencia del flujo electrónico, el mantenimiento fisiológico de los organismos y la sensibilidad frente a condiciones ambientales adversas, factores que aún limitan su aplicación a gran escala. Este estudio aporta una base científica sólida para considerar la energía fotosintética como una tecnología renovable y económicamente viable, especialmente en contextos donde la sostenibilidad y el bajo costo son prioridades (Doussoulin & Chalco, 2021).

De manera complementaria, Cuevas y Nava (2023), en su estudio, evaluaron el funcionamiento de los sistemas biovoltáicos (BPV), que utilizan organismos fotosintéticos oxigénicos como algas o cianobacterias para generar electricidad de manera continua y autosostenible. Los autores resaltan que, aunque los niveles de corriente obtenidos aún son modestos, estos sistemas presentan ventajas significativas, como la capacidad de autorreparación de los organismos y la posibilidad de operar en entornos naturales sin necesidad de sustratos externos. Asimismo, se reconoce su potencial para integrarse en entornos rurales o urbanos con baja infraestructura energética, ofreciendo una opción real para reducir la dependencia de fuentes no renovables. En conjunto, ambos estudios demuestran que la energía fotosintética no solo es una alternativa ecológica, sino también una estrategia innovadora que podría contribuir al desarrollo sostenible en regiones como Arequipa, donde se busca equilibrar el crecimiento urbano con la preservación ambiental.

Asimismo, la implementación de proyectos de energía fotosintética contribuye al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) n.º 7 de las Naciones Unidas, que busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. La adopción de este tipo de energía no solo favorecería la reducción del consumo eléctrico convencional, sino que también impulsaría la conciencia ambiental en la población, incentivando el uso responsable de los recursos naturales. En este marco, el presente artículo propone analizar el potencial de la energía fotosintética como opción viable para el desarrollo sostenible en Arequipa, considerando sus aplicaciones domésticas, beneficios económicos y contribución a la mitigación del impacto ambiental (García y Bracamonte, 2019).

Investigaciones recientes han demostrado que ciertas plantas liberan electrones durante la fotosíntesis, capturables mediante electrodos y convertidos en corriente eléctrica (Wageningen University & Research, 2023). La NASA ha explorado sistemas similares para alimentar misiones espaciales (NASA, 2024). Este fundamento científico respalda la viabilidad del proyecto. Con base a lo establecido previamente, el estudio tuvo como objetivo demostrar la viabilidad de generar energía fotosintética (electricidad) a partir de la fotosíntesis de plantas, utilizando materiales accesibles y técnicas simples de bio electroquímica representando una opción sostenible y de bajo costo para el desarrollo rural y urbano de Arequipa.

MÉTODO

Caracterización de la zonificación e investigación

La investigación se desarrolló en localidades urbanas y rurales de la ciudad de Arequipa, con una población

según el Censo Nacional 2017, el departamento contaba con 1 382 730 habitantes con una extensión territorial de aproximadamente 63 345,39 km², lo cual representa cerca del 4,9 % de la superficie del país. El experimento se desarrolló con estudiantes de primaria de la I.E. Jorge Basadre G. ubicada en la ciudad de Arequipa. Se respetó el asentamiento informado de los participantes para la confidencialidad de datos.

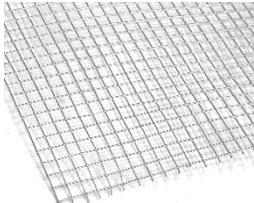
Tipo, diseño y alcance de investigación

La investigación se realizó mediante el tipo descriptivo (Corona & Fonseca, 2023), de diseño experimental (Castro et al., 2022), exploratorio, transeccional (Valencia, 2020), debido a que los datos fueron obtenidos directamente de los hogares en áreas urbanas y rurales, donde se adquirió información acerca de que, si contaban con plantas en sus hogares, si en su sector tenían electricidad, y sí les gustaría hacer uso de una energía ecológica para contribuir a su economía y al medio ambiente. Para la etapa diagnóstica y llegar a la problemática se realizó una encuesta a 30 estudiantes de primaria para evaluar el conocimiento previo sobre energías limpias y la percepción hacia el uso de plantas como fuente de energía.

MATERIALES

Tabla 1.

Materiales

Elementos	Elemento
 Plantas:	 Cinta aislante:
 Multímetro digital:	 Cable de conexión:
 Sistema de iluminación:	 Recipiente plástico:
 Malla cortada:	 Cautil:
 Tierra:	 Tijeras:



Cutter:



Estaño:

Los materiales estuvieron compuestos por plantas: lirio de agua, espinaca, geranio, menta, orégano, lengua de Suegra y corazón de Jesús. Electrodos: grafito (ánodo), cobre (cátodo), multímetro digital, cable de conexión, cinta aislante, recipientes plásticos (botellas de 3L), malla metálica, tierra orgánica, turba, tijeras, cutter, cautín, estaño y sistema de iluminación LED (simulación solar).

Procedimiento

El procedimiento consistió en seleccionar más de siete plantas de diferentes especies y preparar varios recipientes plásticos, preferiblemente botellas de tres litros, que servirían como contenedores experimentales. En cada recipiente se colocó una rejilla metálica a la que previamente se había soldado un cable negro, la cual fue introducida en el fondo junto con una capa de tierra. Posteriormente, se colocó un cable rojo doblado en forma de espiral sobre la superficie del sustrato, asegurando que ambos cables quedaran expuestos hacia el exterior del recipiente para facilitar las conexiones. Una vez preparado el sistema, se trasplantaron las plantas en las macetas y se interconectaron los cables de todas ellas, uniendo los extremos de los cables rojos y negros para formar un circuito común. Finalmente, se conectaron los cables terminales al multímetro digital para registrar el voltaje inicial, dejando las plantas en un ambiente con iluminación y temperatura constantes. Las mediciones se realizaron diariamente, a la misma hora, durante una semana, y todas las lecturas obtenidas se anotaron cuidadosamente en una tabla de datos con el fin de analizar el progreso y la estabilidad de la generación eléctrica a lo largo del experimento. En tal sentido, se siguió el siguiente esquema visual del experimento:

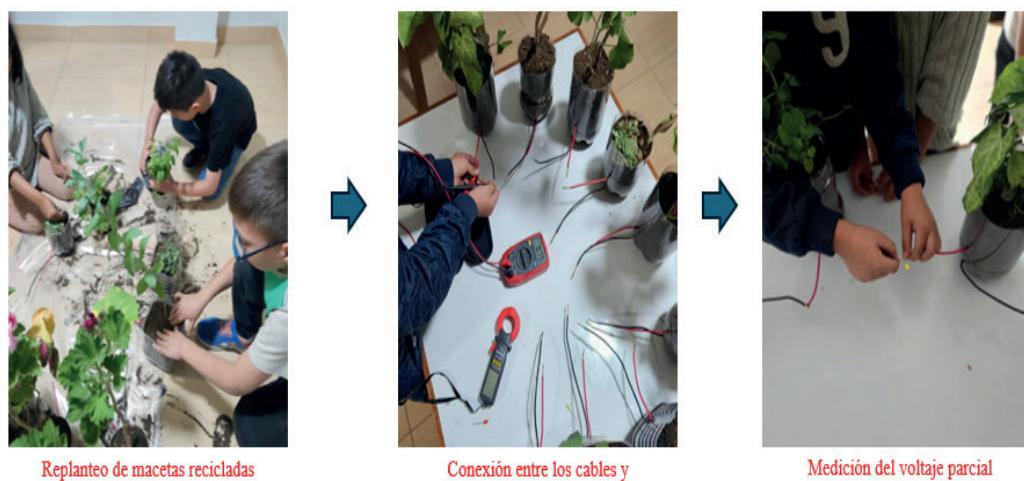


Disposición de materiales para experimento

Cortado de botellas de 3 litros

Doblado de alambres de cobre para experimento

Armado de esquematización de materiales de acuerdo a orden



Replanteo de macetas recicladas con tierra

Conexión entre los cables y macetas

Medición del voltaje parcial obtenido

Figura 1.
Esquematización del experimento

Métodos para el procesamiento de datos

El experimento se desarrolló bajo condiciones controladas de luz, humedad y tipo de planta, con el fin de garantizar la validez y reproducibilidad de los resultados. Las mediciones se efectuaron diariamente a la misma hora para evitar variaciones derivadas de los cambios en la radiación solar o en la temperatura ambiental. Además, se utilizaron prototipos replicables en cada muestra, asegurando la uniformidad en los procedimientos y facilitando la comparación entre los diferentes ensayos realizados durante el estudio. Finalmente, el presupuesto del estudio estuvo compuesto por la totalidad de S/10.65.

RESULTADOS

Diagnóstico

Con respecto a la pregunta 1: ¿conoce bien que es la fotosíntesis?, el 70 % respondió que “No” y 30 % que “Sí”. Entonces la gran mayoría de estudiantes no conocen sobre la fotosíntesis (figura 2).

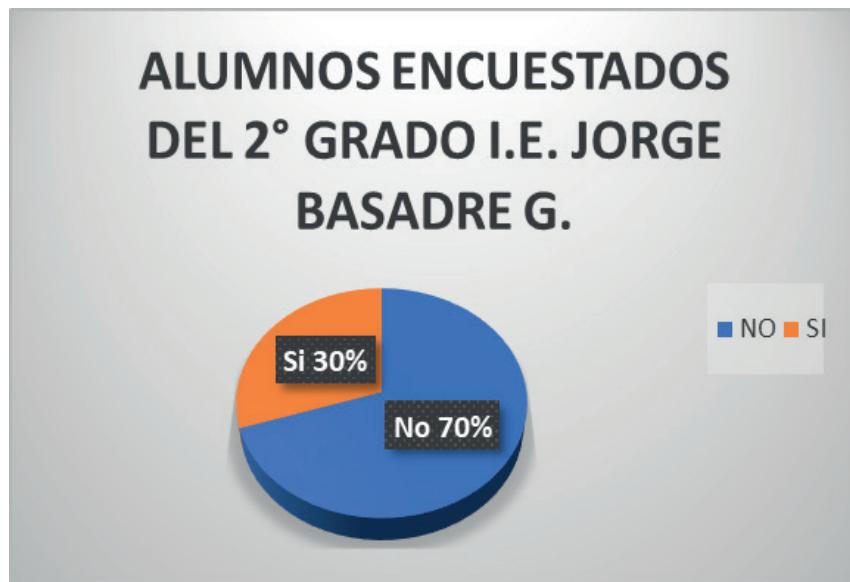


Figura 2.

Pregunta 1. ¿conoce bien que es la fotosíntesis?

Con respecto a la pregunta 2: ¿Sabías que se puede generar electricidad a partir de la fotosíntesis de las plantas?, el 75 % de los encuestados dijo que no sabía acerca del tema, mientras que el 25 % estaba enterado o tenía conocimiento (figura 3).

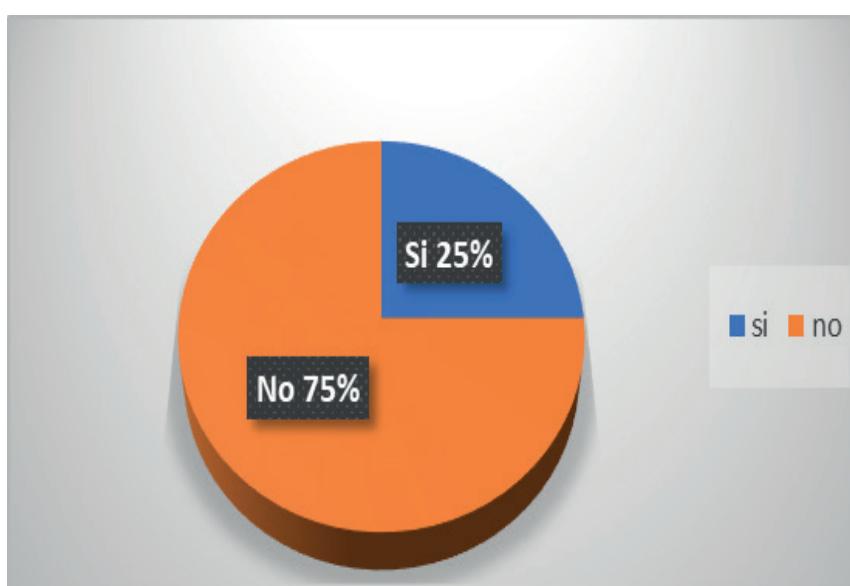


Figura 3.

Pregunta 2. ¿Sabías que se puede generar electricidad a partir de la fotosíntesis de las plantas?

Con respecto a la pregunta 3: ¿Crees que las plantas podrían ser una fuente de energía en el futuro?, el 85 % de los encuestados respondió que «Sí» después de una breve explicación.

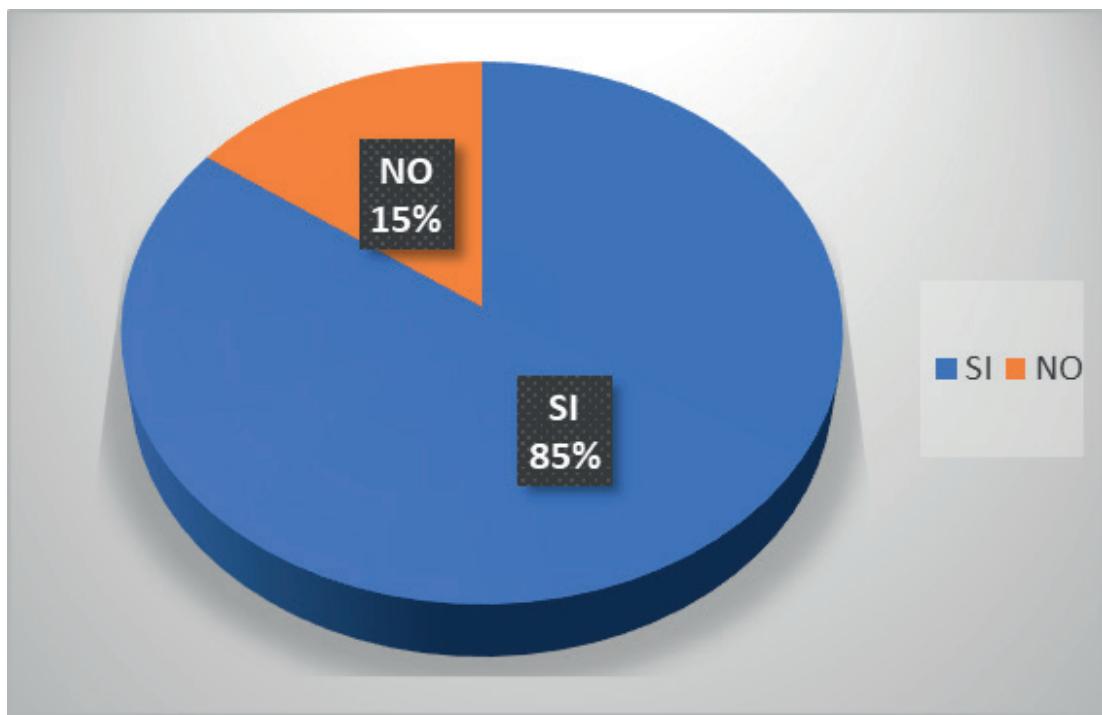


Figura 4.

Pregunta 3. ¿Crees que las plantas podrían ser una fuente de energía en el futuro?

Con respecto a la pregunta 4: ¿Te gustaría participar en un proyecto que use plantas para generar energía?, el 75 % respondió que “Si” por lo tanto, le interesa saber más y participar en el proyecto. Mientras que el 25 % restante dijo que “No”.

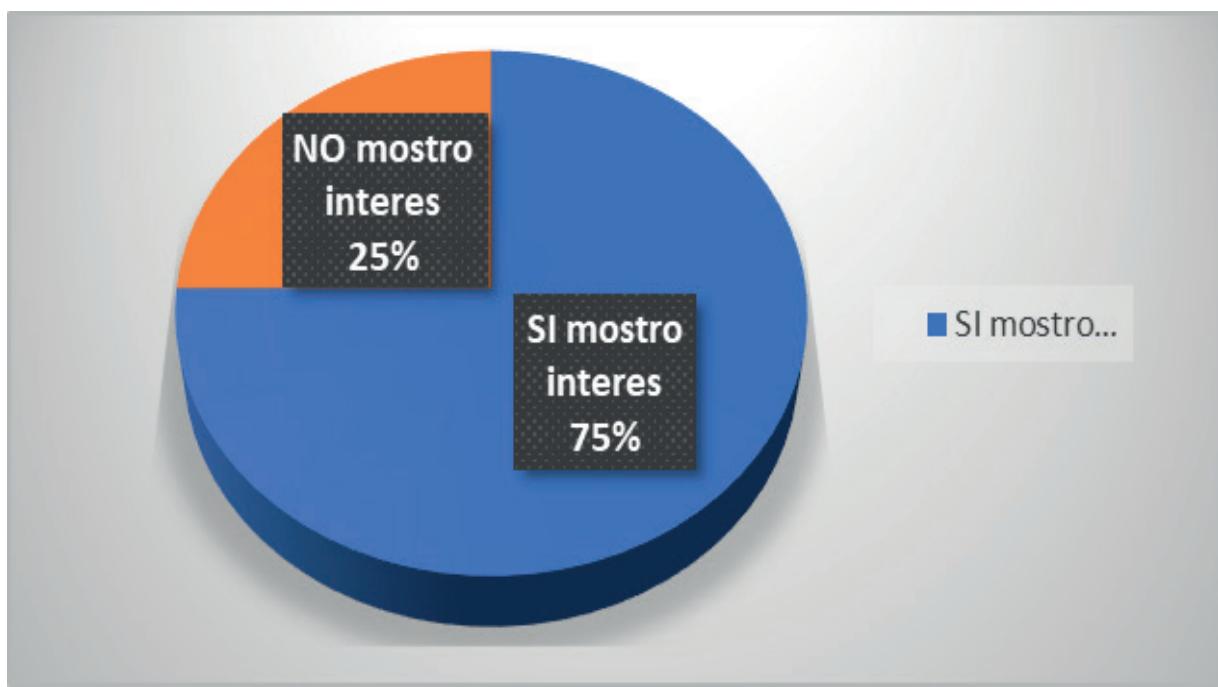


Figura 5.

Pregunta 4. ¿Te gustaría participar en un proyecto que use plantas para generar energía?

El diagnóstico mostró un bajo nivel de conocimiento inicial sobre este tema, pero un alto interés por parte de los estudiantes en aprender y participar en proyectos innovadores relacionados con la sostenibilidad y la tecnología verde. Además, se observó que muchas zonas rurales no cuentan con energía eléctrica constante, lo cual podría solucionarse con tecnologías como la fotosíntesis aplicada.

Aplicación

Se consideraron las siguientes plantas para la generación de energía

Tabla 2.

Datos principales de experiencia

Planta	Descripción de energía
Lengua de suegra	Generó un voltaje máximo de 850 MV con exposición solar de 12 horas.
Lirio	Alcanzó hasta 620 MV, pero disminuyó tras 48 horas.
Geranio	Produjo 500 MV, con estabilidad moderada.

Dentro de las aplicaciones prácticas se concilió el encendido de Leds de bajo consumo, carga básica de baterías pequeñas y alimentación de sensores ambientales autónomos. Con base a dichas aplicaciones se consolidó los voltajes vs el tiempo de generación.

Tabla 3.

Voltaje vs tiempo

Tiempo (horas)	Lengua de suegra (MV)	Lirio (MV)	Geranio (MV)
0	0	0	0
12	850	620	500
24	820	590	500
36	800	550	495
48	790	500	490

Los resultados validaron parcialmente la hipótesis inicial: sí es posible generar electricidad a partir de la fotosíntesis de las plantas, aunque la eficiencia varía según:

1. Especie vegetal
2. Condiciones ambientales
3. Calidad de los electrodos
4. Estado de desarrollo de la planta

Esto indica que, con mejoras técnicas y selección adecuada de especies, el sistema puede optimizarse.

DISCUSIÓN

Se evidencia que la energía fotosintética representa una alternativa real para la generación de electricidad limpia, accesible y sostenible. El experimento permitió comprobar que las plantas, a través de la fotosíntesis, pueden producir voltajes medibles sin afectar su desarrollo biológico. Los valores obtenidos, que alcanzaron hasta 850 mV en la Lengua de Suegra y niveles estables en el Lirio y Geranio, confirman la posibilidad de captar electrones liberados durante el proceso fotosintético. Estos resultados respaldan la hipótesis de que los sistemas bioelectroquímicos vegetales pueden generar energía aprovechable, aunque en magnitudes pequeñas, suficientes para aplicaciones domésticas o educativas.

En este sentido, los hallazgos coinciden con los estudios de Shlosberg et al. (2022) y McCormick et al. (2015), quienes evidencian que la conversión de energía lumínica en corriente eléctrica mediante organismos fotosintéticos es posible, siempre que se mantengan condiciones controladas de luz y humedad. La respuesta favorable obtenida en Arequipa confirma que factores ambientales como la radiación solar y la temperatura influyen directamente en la eficiencia de los sistemas biofotoelectroquímicos, y que las especies vegetales locales poseen un potencial importante para ser utilizadas como generadores naturales de energía.

El análisis de las encuestas mostró un bajo nivel inicial de conocimiento sobre la energía fotosintética, pero un alto interés en aprender y participar en proyectos de esta naturaleza. Este cambio de actitud evidencia el valor educativo y social del proyecto, ya que promueve la conciencia ambiental y fomenta el pensamiento científico en los estudiantes. La comprensión de la fotosíntesis no solo desde un enfoque biológico, sino también tecnológico, genera nuevas perspectivas sobre el aprovechamiento de los recursos naturales.

Asimismo, los resultados prácticos demostraron que las plantas pueden alimentar pequeños dispositivos como luces LED o sensores ambientales, lo que abre la posibilidad de implementar prototipos funcionales en zonas rurales de Arequipa con limitaciones eléctricas. Este avance representa un paso importante hacia la autosuficiencia energética, especialmente en comunidades que no cuentan con una red eléctrica estable. Además, el bajo costo del sistema (S/ 10.65) refuerza su viabilidad económica y su potencial replicabilidad en contextos educativos o

domésticos.

Por otro lado, se observó que la intensidad del voltaje disminuyó gradualmente después de 48 horas, lo que sugiere que la eficiencia del sistema depende de la salud de la planta y de la calidad de los materiales empleados. Este comportamiento confirma las limitaciones señaladas en la literatura, donde se destaca la necesidad de mejorar los electrodos, optimizar la captación de electrones y adaptar el diseño del prototipo para prolongar la generación energética. La variabilidad entre especies también sugiere que investigaciones futuras deben centrarse en la selección de plantas más resistentes y con mayor tasa fotosintética.

En conjunto, los resultados permiten concluir que la energía fotosintética es una tecnología emergente con un alto potencial de aplicación en Arequipa, tanto en entornos rurales como urbanos. Más allá de su aporte científico, el estudio tiene un valor social y pedagógico al demostrar que la naturaleza puede convertirse en una aliada directa del desarrollo sostenible. Con el perfeccionamiento técnico adecuado, esta alternativa podría integrarse a programas locales de energía verde, contribuyendo al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible N.º 7 de la ONU, que busca garantizar una energía asequible, segura y sostenible para todos

CONCLUSIONES

El proyecto demostró que es viable generar electricidad a partir de la fotosíntesis mediante un prototipo de celda bioelectro-química construido con materiales accesibles y plantas locales como el lirio de agua, espinaca y geranio. Las mediciones de voltaje alcanzaron hasta 850 MV bajo condiciones óptimas de luz y humedad, lo que confirma la capacidad de ciertas plantas para producir energía eléctrica utilizable. La evaluación de la duración mostró que especies como el lirio de agua mantienen una producción estable por más de 72 horas, lo que sugiere su potencial para aplicaciones sostenidas. Esta tecnología representa una alternativa real para comunidades rurales sin acceso a la red eléctrica, como en la provincia de Caylloma, distrito Callalli departamento de Arequipa, donde puede implementarse con bajo costo y mantenimiento. Además, el proyecto cumplió su propósito de sensibilización, despertando interés en la comunidad educativa sobre energías renovables y la importancia de integrar ciencia y naturaleza para solucionar problemas reales. En conjunto, los resultados responden directamente a los objetivos planteados y abren puertas a futuras investigaciones orientadas al escalado de esta tecnología. Cabe destacar que estos resultados nacieron de una feria de ciencias desarrollada por estudiantes de primaria; con ello, se podrá replicar a gran escala su aplicabilidad en contextos urbanos y rurales que lo necesiten.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alinti, una start-up con base en Perú, busca generar energía a partir de plantas y brindar electricidad a poblaciones vulnerables. <https://cambio.com.co/articulo/un-ingeniero-peruano-creo-un-sistema-que-permite-generar-energia-a-traves-de-plantas/>
- Barrios, C., Albiter, E. & Zanella, R. (2021). La fotosíntesis artificial, una alternativa para la producción de combustibles, *Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 8(15), 6-21. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2015.15.53813>
- Bioelectricidad: las plantas como fuente de Energía (2025). <https://www.moeveglobal.com/es/planet-energy/innovacion-sostenible/bioelectricidad-plantas-energia-renovable>
- Castro, J., Gómez, L. & Camargo, E. (2022). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-175. <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Corona, L. & Fonseca, M. (2023). Las hipótesis en el proyecto de investigación: ¿cuándo si, cuándo no? *MediSur*, 21(1), 269-273. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2023000100269
- Cuevas, R. & Nava, I. (2023). Producción de combustibles renovables. *Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69635>
- Doussoulin, E. & Chalco, Y. (2018). Energía solar: nuevos desafíos para el desarrollo y crecimiento sostenible de la agricultura en zonas desérticas. *Idesia (Arica)*, 36, 3-5. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005002304>
- Estudio de la energía generada por las plantas mediante el proceso de la fotosíntesis, como alternativa sostenible. <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/31654d13-93c3-45eb-b199-0dadab24031f> <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2457>
- García, R. & Bracamonte, A. (2019). Acceso a los servicios de energía. Una crítica a la Agenda 2030 de México. *Región y Sociedad*, 31, e1146. <https://doi.org/10.22198/rys2019/31/1146>

Generación Eléctrica a Partir de la Fotosíntesis Natural. https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Energias_Renovables/vol3num10/Revista_de_Energ%C3%ADas_Renovables_V3_N10_1.pdf

Hilario, J., Bardales, R. & Bollet, F. (2025). Energía solar y sostenibilidad económica en la agricultura: una revisión sistemática sobre sus implicaciones en la mejora de procesos. *Revista InveCom*, 5(4), e504120. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15009195>

hlosberg, Y., Schuster, G., & Adir, N. (2022). Harnessing photosynthesis to produce electricity using cyanobacteria, green algae, seaweeds and plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, 955843. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.955843>

Lecano, J. & Garzón, V. (2021). Energía eléctrica fotosintética: una alternativa económica y ecológica para los sectores rurales y urbanos del Cantón Machala, Provincia de El Oro. *Revista Polo del Conocimiento*, 63(12), 670-685.

Márquez, A., Carvajal, S. & López, D. (2025). Energía sostenible en zonas aisladas de América Latina: revisión de la integración del enfoque WEF Nexus para impulsar el desarrollo rural. *Revista Información Tecnológica*, 36(1), 1-14. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642025000100001>

McCormick, A. J., Bombelli, P., Bradley, R. W., Thorne, R., Wenzel, T., & Howe, C. J. (2015). Biophotovoltaics: Oxygenic photosynthetic organisms in the world of bioelectrochemical systems. *Energy & Environmental Science*, 8(4), 1092-1109. <https://doi.org/10.1039/C4EE03875D>

National Aeronautics and Space Administration. (2024). Energía verde en misiones espaciales. <https://www.nasa.gov>.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *Sistemas energéticos sostenibles en áreas rurales*.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2024). Informe sobre emisiones globales. Universidad de Wageningen. (2023). Bioelectricidad a partir de plantas. <https://research.wur.nl/en/publications/plant-e-living-plants-generate-electricity>

Valencia, G. (2020). El análisis político transaccional de Oliver Williamson. In memoriam. *Estudios Políticos*, (59), 9-22. <https://doi.org/10.17533/udea.espo.n59a01>

FINANCING

No financing.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

AUTHORSHIP CONTRIBUTION

Data curation: Marilyn Villanueva-Batallanos, Ana María Flores-Mollesaca, Fernando Moises Duglas Romero-Villanueva, Nicolas Matheo Ragnar Mamani-Ruiz, Adriana Carolina Ruiz-Rojas, Rafael Romero-Carazas.

Methodology: Marilyn Villanueva-Batallanos, Ana María Flores-Mollesaca, Fernando Moises Duglas Romero-Villanueva, Nicolas Matheo Ragnar Mamani-Ruiz, Adriana Carolina Ruiz-Rojas, Rafael Romero-Carazas. Software: Marilyn Villanueva-Batallanos, Ana María Flores-Mollesaca, Fernando Moises Duglas Romero-Villanueva, Nicolas Matheo Ragnar Mamani-Ruiz, Adriana Carolina Ruiz-Rojas, Rafael Romero-Carazas.

Drafting - original draft: Marilyn Villanueva-Batallanos, Ana María Flores-Mollesaca, Fernando Moises Duglas Romero-Villanueva, Nicolas Matheo Ragnar Mamani-Ruiz, Adriana Carolina Ruiz-Rojas, Rafael Romero-Carazas.

Writing - proofreading and editing: Marilyn Villanueva-Batallanos, Ana María Flores-Mollesaca, Fernando Moises Duglas Romero-Villanueva, Nicolas Matheo Ragnar Mamani-Ruiz, Adriana Carolina Ruiz-Rojas, Rafael Romero-Carazas.