

FUENTE ALTERNATIVA PARA LA OBTENCIÓN DE OXÍGENO A ESCALA DE LABORATORIO

Alternative source for obtaining oxygen on a laboratory scale

 ¹ Ana Calderón-Varela
 ¹ Christian Rosero-Narvaez
 ² Carlos Cevallos-Morillo
 ² María Gabriela Salzar-Martínez *

¹ Universidad Central del Ecuador, Centro de Química, Quito Ecuador.

² Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas, Laboratorio de Electro-Catálisis Aplicada, Quito Ecuador.

‡ Todos los autores declaran que contribuyeron de forma equitativa en este trabajo.

*mgsalazar@uce.edu.ec

RESUMEN

Los ensayos de obtención de oxígeno molecular (O_2), a escala de laboratorio, para estudiar sus propiedades químicas, constituyen prácticas de laboratorio: útiles, vistosas y representan una valiosa herramienta pedagógica para docentes y estudiantes que inician su formación en cualquier rama de las ciencias químicas. El clorato de potasio es un reactivo que tradicionalmente se ha utilizado en la obtención de O_2 , sin embargo, en abril de 2023 en Ecuador se emitió una normativa legal que limita el uso de este reactivo, dificultando su adquisición, transporte y almacenamiento. En este trabajo se presenta la reacción de descomposición de peróxido de hidrógeno mediada por catalizadores como una forma alternativa para la obtención de oxígeno, de modo que se utilizaron cinco diferentes fuentes de catalizador, de entre ellos la levadura liofilizada mostró ser el mejor catalizador, puesto que con esta sustancia se genera más cantidad de gas a la vez que se obtiene repetitibilidad con mejor precisión en los datos experimentales.

Palabras claves: Educación química, ecoamigable, sostenible, fácil obtención.

ABSTRACT

Laboratory-scale experiments to obtain molecular oxygen (O_2) and study its chemical properties are useful, visually appealing, and valuable pedagogical tools for teachers and students beginning their training in any branch of chemical sciences. Potassium chlorate is a reagent traditionally used to obtain O_2 ; however, in April 2023, Ecuador issued regulations limiting its use, making it more difficult to acquire, transport, and store. This work presents the catalyst-mediated decomposition of hydrogen peroxide as an alternative method for obtaining oxygen. Five different catalyst sources were used, and freeze-dried yeast proved to be the best catalyst, generating the greatest amount of gas while also providing more precise and repeatable experimental data.

Keywords: Chemistry education, eco-friendly, sustainable, easy to obtain.

I. INTRODUCCIÓN

La adquisición de destrezas manuales y el desarrollo de ensayos son la parte medular de la enseñanza de las ciencias experimentales como la química y la física. (1,2) Durante las sesiones de laboratorio se aplican los fundamentos teóricos de modo que se afianza aún más el conocimiento. (3) A partir de las reformas curriculares en la educación científica, a inicio de los años 60 del siglo pasado, el trabajo experimental se utilizó con la idea de que los estudiantes se ocuparan de investigaciones, descubrimientos, indagaciones y resolución de problemas por lo que el trabajo experimental se volvió entonces el centro de la enseñanza y aprendizaje de la ciencia. (4,5) El laboratorio es un espacio físico diseñado y equipado para que los estudiantes adquieran nociones y habilidades de cómo funciona la naturaleza, también de cómo se desarrollan investigaciones científicas, en un ambiente controlado y seguro. (6)

Una de las prácticas experimentales que se realizan en los laboratorios de química, tanto para familiarizar al estudiante con el estudio de las propiedades de los gases, así como el manejo de reactivos, es la obtención de oxígeno gaseoso. (7) En los laboratorios de enseñanza este elemento se obtiene a partir de reactivos químicos oxidantes, como el perclorato de potasio, permanganato de potasio, peróxido de sodio (oxilite), entre otros. (8) La descomposición térmica o catalítica del clorato de potasio (KClO_3), usando como catalizador dióxido de manganeso (MnO_2), es una de las reacciones más utilizadas. (9) En abril de 2023, con la publicación en Registro Oficial del Acuerdo Ministerial N°145, se limitó la compra, transporte y almacenamiento de clorato de potasio, por su carácter oxidante y explosivo. (10) Con estas disposiciones de carácter legal, se deben realizar trámites engorrosos para la adquisición y gestión del clorato de potasio, causando problemas en las instituciones educativas que utilizan el reactivo.

En el ensayo de obtención de O_2 se realizan pruebas de laboratorio que tienen varias ventajas entre ellas se resalta que: son fácilmente reproducibles, el material que se usa es de fácil manipulación, permiten abordar de manera pedagógica diferentes conceptos teóricos químicos y biológicos, tratados en las cátedras como: velocidad de reacción, reacciones con metales y no metales, catálisis, poder oxidante del agua oxigenada, cambio de color de indicadores frente a reacciones ácido base, entre otros. (11)

Por los motivos mencionados es necesario buscar alternativas efectivas, eco amigables y sostenibles para sustituir el uso del KClO_3 . En este trabajo se presenta la obtención de oxígeno, mediante la descomposición catalítica del peróxido de hidrógeno para estudiar las propiedades de este gas con fines educativos y de docencia.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Métodología de la investigación:

Esta investigación es de tipo experimental puesto que todos los ensayos se realizaron en un ambiente controlado y reproducible para obtener datos medibles. Se utilizó un diseño experimental de “un factor a la vez”, cambiando, en un inicio la fuente de catalizador, para luego estudiar la influencia del volumen de peróxido empleado.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo experimental, en la tabla 1 se detallan los materiales utilizados con sus respectivas especificaciones, los mismos que se pueden observar en la figura 1, de igual manera en la tabla 2 se enlista los reactivos con sus especificaciones.

Tabla 1. Equipos y materiales requeridos en el ensayo de obtención a escala de laboratorio de oxígeno molecular.

Equipos y materiales	Especificación
Balanza semi-analítica	Marca: Adam- Nimbus, apreciación 0.01g
Probeta	250 $\pm$ 2 mL
Matraces erlenmeyer	125mL, 50 mL
Vidrio reloj o cuadro de vidrio	7.0 cm diámetro, 7.5 x 7.5 cm
Tapón de caucho bihoradado	Medida: 00
Jeringa descartable	10 mL – 20 mL
Cuba hidroneumatica, recipiente colector de agua	
Cuchara de deflagración o pinza para crisol	
Mechero Bunsen	



Figura 1. Materiales requeridos en el ensayo para la obtención de oxígeno molecular a escala de laboratorio.

Tabla 2. Sustancias y reactivos empleados para la obtención de oxígeno

Sustancias y reactivos	Especificación	Sustancias y reactivos	Especificación
Peróxido de hidrógeno	10 volúmenes, 3% v/v	Fenoltaleína 98% Thermo Fisher Scientific	Solución alcohólica al 1.0%, 2.0 mL
Hígado fresco de res	15 g	Heliantina, anaranjado de metilo, 95% Thermo Fisher Scientific	Solución acuosa al 1.0%, 2.0 mL
Hígado fresco de pollo	15g	Carbón vegetal	3.0 g
Levadura liofilizada	15 g	Azufre, 99.5% Thermo Fisher Scientific	0.5 g
Papa	15 g	Magnesio, 99.5 % láminas	3.0 g
Espinaca	15 g	Lana de hierro comercial	5.0 g

Equipo para la obtención de oxígeno

Se pesa alrededor de 3.50 g de la fuente de catalizador, y colocarla en un matraz erlenmeyer de 125 mL. A continuación, se cierra el matraz con el tapón de caucho bihoradado, por el primer orificio se adapta una manguera de caucho para la salida del gas, mientras que por el segundo orificio se acopla una jeringa para adicionar peróxido de hidrógeno.

Se llena la cuba hidroneumática con agua a tres cuartas partes de su capacidad, se introducen tres matraces erlenmeyer o una probeta, llenos completamente de agua y de forma invertida e igualmente tres cuadros de vidrio como se observa en la figura 2a.

Finalmente, se vierte 20.0 mL de peróxido sobre la fuente de catalizador como se observa en la figura 2b, se recoge el gas producido en los matraces y se los tapa con el cuadrado de vidrio para posterior análisis como se observa en la figura 2c.

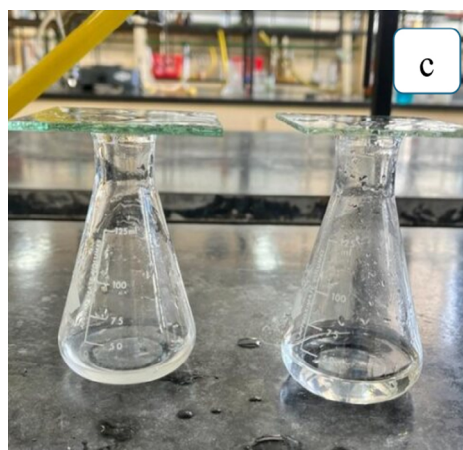


Figura 2. a) Cuba de agua con los erlenmeyers invertidos y llenos completamente de agua. b) Reacción de descomposición de peróxido de hidrógeno al contacto con la fuente de catalizador. c) Oxígeno recolectado y atrapado en los matraces.

Pruebas de identificación y propiedades de oxígeno

En una cuchara de deflagración colocar una pequeña cantidad de: carbón, hierro, azufre o magnesio, calentarlo directamente en la llama del mechero hasta observar incandescencia. Retirar parcialmente el vidrio reloj del matraz para introducir la cuchara de deflagración, cuidar de no topar el fondo húmedo del matraz.

Después de la reacción, mezclar vigorosamente los gases o los residuos obtenidos dentro del matraz con el agua remanente, finalmente añadir gotas de indicador.

III. RESULTADOS

Fuente de catalizador

En la figura 3 se muestran los resultados de volumen de oxígeno obtenidos con diferentes fuentes de

catalizador. En el eje de las ordenadas (eje Y) se muestra la relación de volumen de oxígeno en mililitros entre la masa de fuente de catalizador, esta estandarización se realizó para fijar la masa de la fuente de catalizador utilizada y comparar. Las barras de error representan la desviación estándar de los ensayos realizados por triplicado.

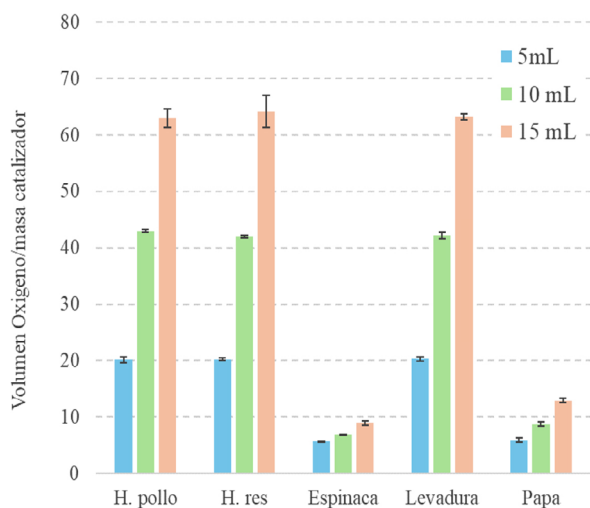


Figura 3. Comparación entre el volumen de oxígeno obtenido a partir de las diferentes fuentes de catalizador, se emplearon diferentes volúmenes de H_2O_2 .

Masa de catalizador

Con los mejores resultados obtenidos al variar la fuente de catalizador, se continuó midiendo el volumen de gas obtenido, fijando en 10.0 mL la cantidad de peróxido de hidrógeno, y diferentes masas de fuente de catalizador, como se visualiza en la figura 4.

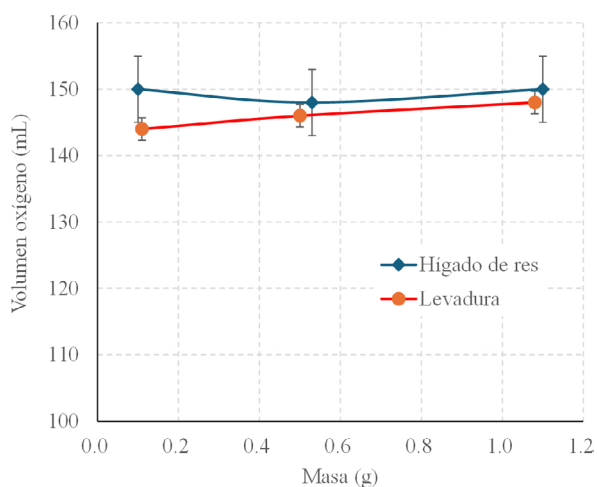


Figura 4. Volumen de oxígeno obtenido al variar de la cantidad de fuente de catalizador

Reacciones con oxígeno

Con el gas generado se realizaron inmediatamente reacciones químicas para verificar la presencia y las propiedades del gas obtenido como se observa en la figura 5:

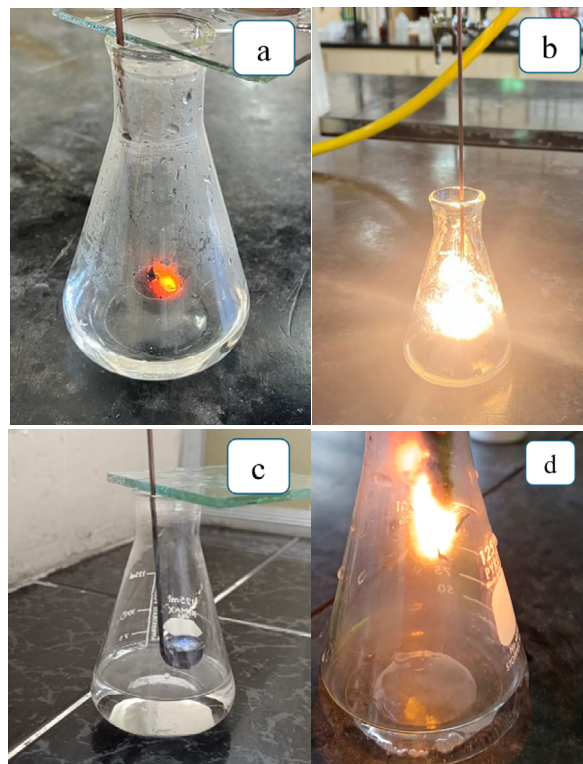
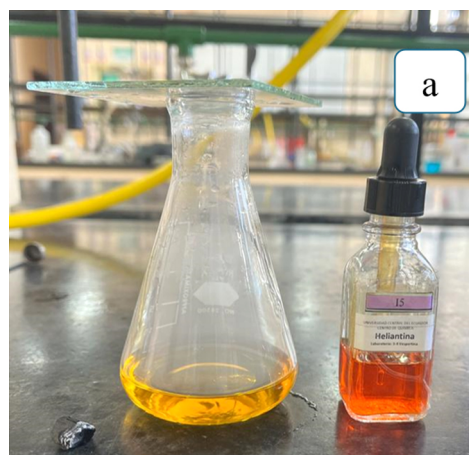


Figura 5. Reacciones de oxígeno con diferentes reactivos : a) carbón, b) magnesio, c) azufre y d) hierro .

En cada matraz se conservó alrededor de 10.0 mL de agua, para que esta reaccione con los óxidos generados produciendo de este modo compuestos ácidos o básicos, que se reconocen al añadir gotas de reactivo indicador ácido base, como se muestra en la figura 6.



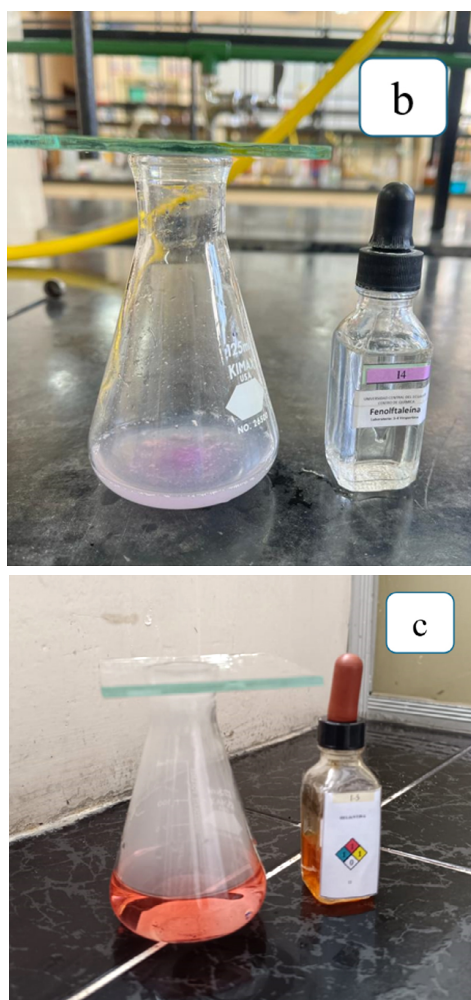


Figura 6. a) Uso de heliantina como indicador de la obtención de Dióxido de Carbono. b) Uso de fenolftaleína como indicador de la obtención de Hidróxido de Magnesio. c) Uso de heliantina como indicador de la obtención de Ácido Sulfuroso.

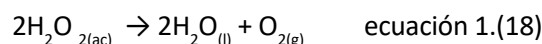
IV. DISCUSIÓN

Fuente de catalizador

A escala industrial el oxígeno gaseoso se obtiene mediante electrólisis del agua y por destilación fraccionada de aire.(12) A escala de laboratorio, reportamos la obtención de oxígeno, mediante la descomposición de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) usando diferentes fuentes de la enzima catalasa peróxido de hidrógeno oxidoreductasa. Esta enzima está presente en diferentes tejidos humanos como barrera a los radicales libres, con una concentración más alta en hígado y riñones,(13) también está presente en una gran variedad de tejidos animales y vegetales, así como en microorganismos,(14) a nivel celular esta enzima se localiza en las mitocondrias y en los peroxisomas.(15) La catalasa es

una metaloproteína tetramérica, cuyo peso molecular se encuentra en el rango de 210-280 kD, se conforma de cuatro subunidades idénticas que permanecen unidas por medio de interacciones no covalentes, cada subunidad contiene un grupo prostético de protoporfirina. (16,17)

La reacción de descomposición de peróxido de hidrógeno es una reacción química que ocurre forma espontánea, según la ecuación 1, pero con una rapidez baja.



El uso de catalasa modifica la velocidad del proceso de descomposición del peróxido de hidrógeno, en aproximadamente 1000 millones de veces.(19) En los laboratorios de docencia es poco común encontrar catalasa, por ello, en este trabajo se usaron tejidos animales y vegetales como fuente de esta enzima.(20) En la figura 3 se presenta el volumen de oxígeno obtenido con diferentes fuentes de catalasa. En este conjunto de ensayos se modificó la cantidad de peróxido de hidrógeno, con volumen de disolución de H_2O_2 de 5.00, 10.0 y 15.0 mL. Para todas las fuentes de enzima, se observa la misma tendencia que al aumentar el volumen de H_2O_2 aumenta la cantidad de oxígeno. En los ensayos realizados con hígado de pollo, hígado de res y levadura se obtiene un volumen medio de 64.0 mL de oxígeno por gramo de fuente de enzima (mL/g), no existe diferencia significativa entre las tres fuentes de enzima. Sin embargo, los ensayos realizados con levadura son más reproducibles con una desviación estándar de 1.70 mL/g y un coeficiente de variación de 2.60 mL/g. Es importante mencionar que el almacenamiento de la levadura es mucho más fácil que del hígado de res o pollo, dado que estos últimos requieren de cadena de frío y precauciones en lo que se refiere a riesgo biológico además de una estricta gestión de este tipo de residuos que suponen riesgo para la salud humana, animal y para el ambiente (21).

Masa de catalizador

A partir de los datos observados con los diferentes tipos de fuente de catalizador, se disminuyó la masa de fuente de enzima utilizada, estos resultados se presentan en la figura 4, donde se observa una relación directamente proporcional entre la masa de levadura y la

cantidad de oxígeno. Para el hígado de res se observa una disminución en el volumen de oxígeno cuando se aumenta la masa de hígado. Este comportamiento inusual se puede justificar con la dispersión de los datos puesto que no hay diferencia significativa entre ellos. Aunque la catalasa participa en el proceso de reacción, esta no se modifica. Así, por ejemplo, tras catalizar la descomposición de una molécula de H_2O_2 , la catalasa vuelve a encontrarse exactamente en el mismo estado que antes, preparada para un nuevo ciclo (19,22,23). Por este hecho, la reacción se ve limitada por la cantidad de peróxido de hidrógeno utilizado, más no por la cantidad de enzima presente en las células del tejido (24). Una de las ventajas de esta forma alternativa de obtener oxígeno, es que las reacciones involucradas no generan residuos tóxicos o peligrosos, tampoco se requiere de fuentes de calentamiento o uso de mecheros.

Reacciones con oxígeno

Al introducir la cuchara de deflagración, con los elementos incandescentes en el matraz que contiene oxígeno, ocurre una reacción química en la que se generan óxidos metálicos y no metálicos, la reacción se evidencia con la incandescencia de las sustancias, la generación de productos y dura hasta que el oxígeno se consume totalmente, como se observa en la figura 5. A continuación, en la tabla 3 se detallan las reacciones ocurridas.

Tabla 3. Reacciones químicas de oxígeno con diferentes elementos

Elemento	Reacción	Observaciones
Carbón	$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$	Dióxido de carbono es incoloro e inodoro
Magnesio	$2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$	Formación de sólido blanco. (25)
Azufre	$S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)}$	Dióxido de azufre es un gas incoloro con olor picante, muy tóxico. (26)
Hierro	$2Fe_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2FeO_{(s)}$	Formación de sólido rojizo. (27)

Después de la primera reacción, que es una reacción de oxidación de los diferentes elementos con oxígeno, (28) se mezclaron los productos de esta primera reacción con agua para obtener nuevos compuestos, con características ácido-base, que se evidencian con la adición de gotas de indicador fenolftaleína y anaranjado de metilo (heleantina), como se describe en la tabla 4 y se muestra en las fotografías de la figura 6.

Tabla 4. Reacciones entre los productos de la primera reacción con agua.

Indicador	pK _a *	Segunda reacción	Carácter de la disolución
Anaranjado de metilo	3.46	$CO_{2(g)} + H_2O_{(ac)} \rightarrow H_2CO_{3(ac)}$	Ácido
Fenolftaleína	9.70	$MgO_{(s)} + H_2O_{(ac)} \rightarrow Mg(OH)_{2(ac)}$ $FeO_{(s)} + H_2O_{(ac)} \rightarrow Fe(OH)_{2(ac)}$	Básico
Anaranjado de metilo	3.46	$SO_{2(g)} + H_2O_{(ac)} \rightarrow H_2SO_{3(ac)}$	Ácido

* Tomado de (29)

En la reacción de carbono con oxígeno se produce dióxido de carbono que en contacto con agua genera ácido carbónico que en disolución acuosa se disocia produciendo hidrógeno carbonato e hidronios, de modo que la disolución adquiere un color amarillo con un valor de pH superior a 3.50. Reacciones similares ocurren con el azufre donde al final se obtiene el ion hidrógeno sulfato, que se evidencia con una coloración roja del anaranjado de metilo. La oxidación de magnesio produce un óxido metálico que en contacto con agua genera el hidróxido correspondiente, esto se confirma con el cambio de color a rosado de la fenolftaleína.

V. CONCLUSIONES

Se presenta un método experimental alternativo, que permite obtener oxígeno gaseoso a escala de laboratorio de forma efectiva, generando una cantidad de desechos mínima y a temperatura ambiente. Esta metodología es fácil de realizar pudiéndose replicar en laboratorios de ciencias experimentales. De igual manera, esta metodología es asequible, puesto que no se requieren fuentes de energía externa, ni medios de agitación. Se probaron cinco fuentes diferentes de catalizador, obteniendo mejores resultados con levadura liofilizada. Al final, se presenta un conjunto de reacciones químicas con oxígeno, que permiten explicar la naturaleza de metales y no metales como: magnesio, hierro, carbón y azufre.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Química de la Universidad Central del Ecuador por permitir el acceso al espacio físico y el uso de materiales donde se realizaron los ensayos experimentales.

VII. REFERENCIAS

1. Lazo Santibáñez L. Estrategia para la enseñanza y el aprendizaje de la química general para estudiantes de primer año de universidad. *Rev Electr Diálogos Educ REDE*. 2017 Jul 24;12(23).
2. Gonzales-Balladares JD, Toque-Huaman E. Química a microescala en la enseñanza experimental usando una microbalanza de cristal de cuarzo. *Educ Quím*. 2022 Oct 21;33(4):86–96.
3. Turcio-Ortega D, Palacios-Alquisira J. Experiencias en la enseñanza experimental basada en competencias. *Educ Quím*. 2015 Jan;26(1):38–42.
4. Aljaghoub H, Alasad S, Alashkar A, AlMallahi M, Hasan R, Obaideen K, et al. Comparative analysis of various oxygen production techniques using multi-criteria decision-making methods. *Int J Thermofluids*. 2023 Feb;17:100261.
5. Asghari E, Abdullah MI, Foroughi F, Lamb JJ, Pollet BG. Advances, opportunities, and challenges of hydrogen and oxygen production from seawater electrolysis: an electrocatalysis perspective. *Curr Opin Electrochem*. 2022 Feb;31:100879.
6. Agustian HY, Finne LT, Jørgensen JT, Pedersen MI, Christiansen FV, Gammelgaard B, et al. Learning outcomes of university chemistry teaching in laboratories: a systematic review of empirical literature. *Rev Educ*. 2022 Aug 4;10(2).
7. Aponte de Ramírez M. Obtención y propiedades del oxígeno, introducción a la catálisis y a la estequiometría. In: *Manual de prácticas de laboratorio*. Barcelona: Universidad Santa María; 2018.
8. Wojewódka A, Zakusylo R, Kravets V, Romanchenko A, Jarosz T. Investigation of metal oxides as catalysts for the thermal decomposition of potassium chlorate(VII). *Cent Eur J Energ Mater*. 2018 Jun 22;15(2):327–38.
9. Cannon JC, Zhang YC. Catalytic decomposition of potassium chlorate. *J Therm Anal*. 1994 May;41(5):981–93.
10. Lara Jaramillo L; Ministerio de Defensa, Gobierno de la República del Ecuador. Acuerdo Ministerial No 145 [Internet]. Quito: Ministerio de Defensa; 2023 Apr [cited 2024 Apr 27]. Available from: <https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/04/ACUERDO-MINISTERIAL-145.pdf>
11. Chica ADC, Andrade IP, Miranda RP, Moreno RAF. Los TPL con enfoque en química verde, como estrategias de enseñanza en reacciones químicas inorgánicas a microescala [Internet]. Zenodo; 2023 [cited 2024 Apr 27]. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8128216>
12. Chang R, Goldsby KA. Química. 12th ed. México: McGraw-Hill Interamericana de Editores S.A. de C.V.; 2017. 902 p.
13. Guija-Guerra H, Guija-Poma E. Radicales libres y sistema antioxidante. *Horiz Med (Lima)*. 2023 Mar 31;23(2):e2158.
14. Dergal SB. Química de los alimentos [Internet]. Pearson Publications Co.; 2006 [cited 2024 Apr 27]. Available from: <https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/libro-badui200626571.pdf>
15. Camacho RL, Avelar Lozano E, Morales Trejo A, Pérez B, Sánchez V, Arce-Vázquez N, et al. Algunas alternativas para mitigar el estrés por calor en animales: arginina y metionina como antioxidantes. *Arch Latinoam Prod Anim*. 2022 Oct 15;30(Suppl 1):103–17.
16. Goyal MM, Basak A. Human catalase: looking for complete identity. *Protein Cell*. 2010 Oct 9;1(10):888–97.
17. Marin Arguello I, Roustán-Espinoza L. Purificación y determinación de actividad enzimática de la catalasa en *Staphylococcus aureus*. *Encuentro*. 2000 Jan 28;(52):54–66.
18. Salem IA, El-Maazawi M, Zaki AB. Kinetics and mechanisms of decomposition reaction of hydrogen

- peroxide in presence of metal complexes. *Int J Chem Kinet.* 2000;32(11):643–66.
19. Mathews CK, Van Holde KE, Ahern KG. *Bioquímica* [Internet]. Philadelphia (PA): Pearson Education; 2004 [cited 2024 Apr 27]. 1404 p. Available from: <https://www.amazon.com/-/es/Christopher-Mathews/dp/8478290532>
 20. Ortiz Pineda Y. Métodos simples para demostrar la presencia y actividad de catalasa y α -amilasa en la vida cotidiana [Internet]. México DF: Universidad Autónoma Metropolitana; 2023 [cited 2024 Apr 27]. Available from: <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/40750>
 21. Loayza Pérez J. Gestión de residuos en los laboratorios de química [Internet]. *Rev Química.* 2005 Dec;19(2):71–8 [cited 2025 Apr 25]. Available from: <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/18734>
 22. Helmenstine AM. Why does hydrogen peroxide bubble on a cut? [Internet]. 2020 [cited 2024 Apr 27]. Available from: <https://www.thoughtco.com/how-hydrogen-peroxide-bubbles-work-608410>
 23. Díaz A. La estructura de las catalasas [Internet]. *Rev Educ Bioquím.* 2023 Jun 11;22(2) [cited 2024 Apr 27]. Available from: <http://www.facmed.unam.mx/publicaciones/ampb/numeros/2003/02/2003-volumen-22-numero-2.pdf#page=29>
 24. Varela Caamiña MP, Blanco Anaya P, Díaz de Bustamante J. ¿Por qué paran las reacciones? Diseñar experimentos para indagar la interacción enzima-sustrato. *Educ Quím.* 2021 Apr 8;32(2):74.
 25. Gray HB, Haight GP. *Principios básicos de química.* Barcelona: Reverté; 1975. 668 p.
 26. Petrucci R, Madura J. *General chemistry: modern principles and modern applications.* 11th ed. Toronto (ON): Pearson Canada; 2016. 1488 p.
 27. Brown TL, LeMay HE, Bursten BE, Murphy C, Woodward P. *Chemistry: the central science.* 12th ed. Upper Saddle River (NJ): Pearson; 2010. 1200 p.
 28. Holguín Quiñones S, Estrada Guerrero D. El oxígeno, el azufre y teorías ácido-base [Internet]. 1st ed. In: Departamento de Ciencias Básicas, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Unidad Azcapotzalco, editors. México DF: Universidad Autónoma Metropolitana; 2009. 59 p. [cited 2024 Apr 27]. Available from: <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/429>
 29. Skoog D, West D, Holler F, Crouch S. *Fundamentos de química analítica.* 9th ed. Mexico City: Cengage Learning Editores S.A. de C.V.; 2014. 1088 p.