

Título: Producción de hidrógeno a partir de glicerol mediante fermentación con *Clostridium spp.*

Production of hydrogen from glycerol by fermentation with *Clostridium spp.*

Presentado por: Dionisio Humberto Malagón-Romero.

Resumen:

La producción de hidrógeno ha venido en incremento en los últimos años, sobre todo porque es considerado el combustible del futuro. Distintas vías de obtención se han venido reportando en la literatura. Una alternativa que ha sido investigada es mediante vía biológica utilizando microorganismos a partir de desechos agroindustriales. Uno de los desechos que más produce el país es el glicerol, debido a la producción de biodiesel. La utilización de este desecho como materia prima para la producción de hidrógeno es una alternativa que puede ser evaluada. En esta revisión se presenta el análisis de las publicaciones presentadas en los últimos diez años. Inicialmente se consultaron tres bases de datos: Scopus, Web of Science y Google Scholar. Posteriormente con la información de Scopus se realiza el análisis para encontrar tendencias en la investigación en el tema. A partir de la información se encontró que el tema es poco investigado a nivel global, por lo cual se encuentra oportunidad de tener citación al publicar sobre este tema.

Abstract:

Hydrogen production has been increasing in recent years, especially since it is considered the fuel of the future. Different ways of obtaining have been reported in the literature. An alternative that has been investigated is by biological pathway using microorganisms from agroindustrial wastes. One of the waste produced by the country is glycerol, due to the production of biodiesel. The use of this waste as a raw material for hydrogen production is an alternative that can be evaluated. This review presents the analysis of the publications presented in the last ten years. Initially, three databases were consulted: Scopus, Web of Science and Google Scholar. Subsequently with the information from Scopus, the analysis was carried out to find trends in research on the subject. Based on the information, it was found that the topic is little researched globally, so there is an opportunity to have a citation when publishing on this subject.

Palabras clave: fermentación, hidrógeno, glicerol, *Clostridium*.

Key words: fermentation, hydrogen, glycerol, *Clostridium*

Fuentes de información, ecuación de búsqueda y periodo de análisis:

Se consultaron las fuentes de información Scopus, Web of Sciences, Google Académico.

En Google Académico se empleó la ecuación de búsqueda: hydrogen production fermentation clostridium glycerol, restringido a los últimos diez años. Además se restringió la búsqueda a que las palabras clave aparecieran en el título, por lo cual no apareció ningún resultado. En vista de ello se

cambió la ecuación de búsqueda: hydrogen production fermentation clostridium, con lo cual se obtuvieron 20 resultados.

Por otro lado, en Scopus se empleó la primera ecuación de búsqueda hydrogen production fermentation clostridium glycerol, restringido a los últimos diez años. El resultado de la búsqueda mostró 48 artículos.

Finalmente, en Web of Sciences se utilizó la misma ecuación de búsqueda: hydrogen AND production AND fermentation AND clostridium AND glycerol. Dicha búsqueda arrojó 96 documentos.

Publicaciones por año.

La Figura 1 presenta el número de publicaciones reportada en las 3 bases de datos consultadas en los últimos diez años. El número de publicaciones más bajo se presenta en Google scholar, donde se debió quitar en la ecuación de búsqueda la palabra “glycerol”. Ello implica que no se ha restringido la búsqueda a la utilización de glicerol como sustrato para la producción de hidrógeno, sino que se ha dejado abierto a la utilización de múltiples sustratos utilizando una vía fermentativa con *Clostridium*. Por otro lado la utilización de una ecuación más estricta en Scopus y Web of Science implica que la información reportada corresponde a la producción de hidrógeno usando glicerol como fuente de carbono. A partir de la Figura 1 se puede apreciar que en el año 2017 se incrementaron el número de publicaciones, debido fundamentalmente a la publicación de artículos relacionados con biorefinerías, donde el glicerol juega un papel fundamental.

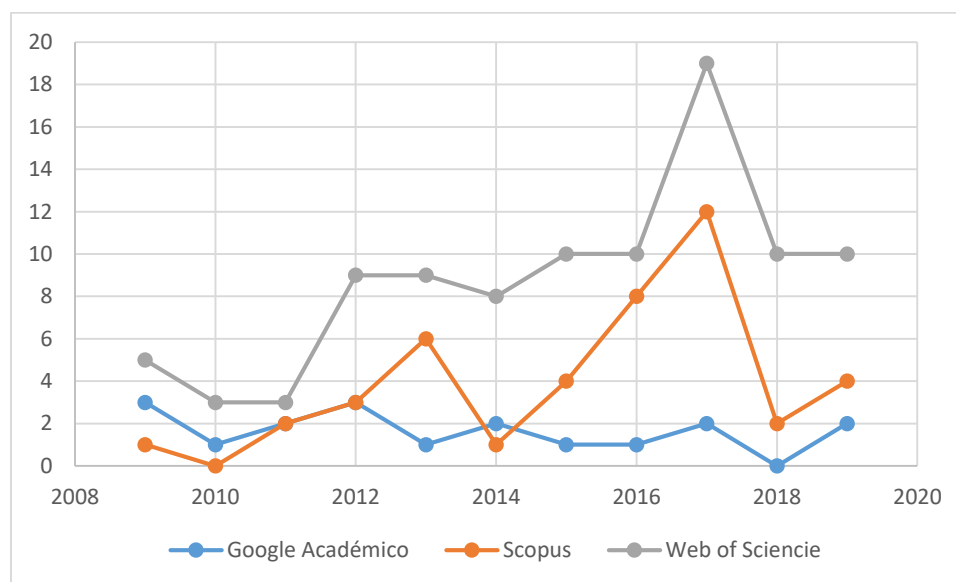


Figura 1. Número de publicaciones presentadas en los últimos diez años

Tasa de crecimiento de las publicaciones en el tema.

El tema de producción de hidrógeno mediante fermentación con *Clostridium spp.* usando glicerol como sustrato es un tema poco investigado a nivel global. El bajo número de publicaciones reportadas en los últimos años (Figura 1) representa una oportunidad para la investigación que se

adelanta en la Universidad Santo Tomás, ya que los artículos publicados en este tema será referente para el resto de investigadores a nivel global. En cuanto a la tasa de crecimiento en tres años presenta un valor indeterminado (año 2019 en Google Scholar; años 2009 y 2011 en Scopus), debido a que en el año anterior no se presentaron publicaciones en el tema. En general la tasa de crecimiento es bastante baja (inferior a 2) excepto en los años 2009 y 2012 en Web of Science y Scopus en 2015 donde se alcanzan valores entre 2 y 5. A pesar del alto número de publicaciones de 2017 (12 en Scopus y 19 en Web of Science) no se presenta un incremento en la tasa de citaciones en los años 2018 y 2019.

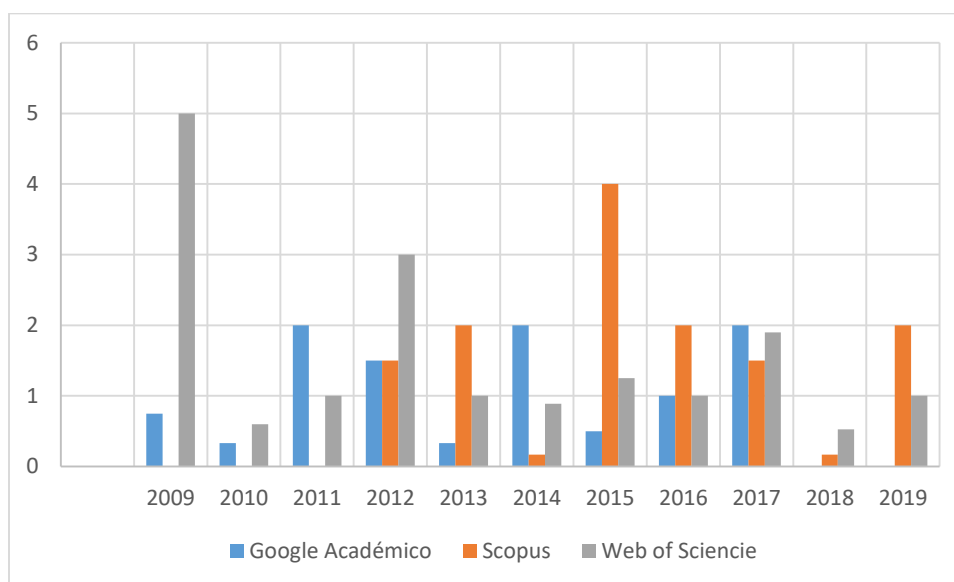


Figura 2. Tasa de crecimiento de las publicaciones en los últimos diez años

Revista con mayor número de documentos publicados.

A partir de la información reportada por Scopus se tiene que las revistas con más publicaciones en el tema son:

Tabla 1. Revistas con mayor número de publicaciones en el tema

Título de la Revista	Scopus	Web Of Science	Google Scholar
International Journal of Hydrogen Energy	10	24	4
Bioresource Technology	7	10	1
Applied Microbiology and Biotechnology	3	3	--
Electronic Journal of Biotechnology	2	2	--
JOurnal of Biotechnology	--	3	--

International Journal of Energy Research	2	--	--
Biofuels UK	--	2	--
Biomass Bioenergy	--	2	2
Biotechnology and Bioengineering	--	2	--
Microbial Cell Factories	2	--	--
Acta biochimica Polonica	1	2	
Agronomy Research	1	--	--
Applied and Environmental Microbiology	1	--	--

A partir de la información presentada en la Tabla 1 se puede apreciar que para las 3 bases de datos consultadas, las dos revistas con el mayor número de publicaciones son International Journal of Hydrogen Energy y Bioresource Technology. En Google Scholar aparecen varias revistas que no aparecen en Scopus, cuyo número de publicaciones es bajo (1 o 2) lo cual implica que no están registradas en esta base de datos. Dado lo anterior, para futuras publicaciones en el tema se debería evaluar la publicación en las dos primeras revistas.

Revistas con más citas y con factor de impacto.

A partir de la búsqueda en Scopus de los metadatos empleando la misma ecuación de búsqueda, se encontraron 1074 documentos que han citado los 48 artículos encontrados bajo la ecuación anteriormente señalada. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Revistas con más citas y con factor de impacto.

Ubicación	Nombre de la Revista	Número de citas	Factor de impacto
1	Bioresource Technology	104	6,95
2	International Journal of Hydrogen Energy	86	4,16
3	Applied Microbiology and Biotechnology	45	3,92
4	Biotechnology for Biofuels	28	5,84
5	Biotechnology Advances	18	13,83
6	Applied and Environmental Microbiology	15	4,18
7	Biotechnology and Bioengineering	15	4,17
8	Renewable and Sustainable Energy Reviews	15	12,21
9	ACS Sustainable Chemistry and Engineering	14	7,09
10	Metabolic Engineering	14	8,78

Tipología documentos con más publicaciones.

Para los 48 documentos obtenidos con la búsqueda original se consultó el tipo de documentos obtenidos. El resultado fue: 41 articles, 5 reviews, 1 conference paper y 1 short survey. Ello muestra que la mayoría de los autores prefieren publicar artículos para socializar la información generada.

Autores con mayor número de publicaciones.

En la Tabla 3 se presentan los autores con mayor número de publicaciones.

Tabla 3. Autores con mayor número de publicaciones.

Ubicación	Autores	Número de publicaciones
1	Moholkar, V.S.	4
2	Brar, S.K.	3
3	Buelna, G.	3
4	Dubey, V.K.	3
5	Karp, M.	3
6	Le Bihan, Y.	3
7	Pachapur, V.L.	3
8	Santala, V.	3
9	Sarma, S.	3
10	Tapia-Venegas, E.	3

Autores con mayor número de citas.

A partir de la información de los 48 artículos se determinó el número de citas que cada uno de ellos tienen, así como el índice h reportado en Google Scholar. La información se encuentra a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4. Autores con mayor número de citas.

Ubicación	Autores	Número de citas	Indice h
1	Biebl, H	16	36
2	Papanikolaou, S	8	53
3	Sarma, S J	8	22
4	Heyndrickx, M	7	62
5	Chatzifragkou, A	6	20
6	Homann, T	6	23
7	Ito, T	6	2*
8	Mangayil, R	6	7

9	Yazdani, S S	6	29
10	Dabrock, B	5	3*

*Consultados en Scopus, dado que en Google Scholar (Publish or Perish) no se encontraron.

Cluster Map de autores por país de filiación.

En la Figura 3 se presenta en Cluster Map de autores por país de filiación. Como se puede apreciar Alemania es el país con el mayor número de autores en el tema seleccionado con 8 autores, seguido por India con 6 autores. Esto representa una oportunidad para poder establecer contactos con autores de Alemania e India para el desarrollo de proyectos conjuntos.

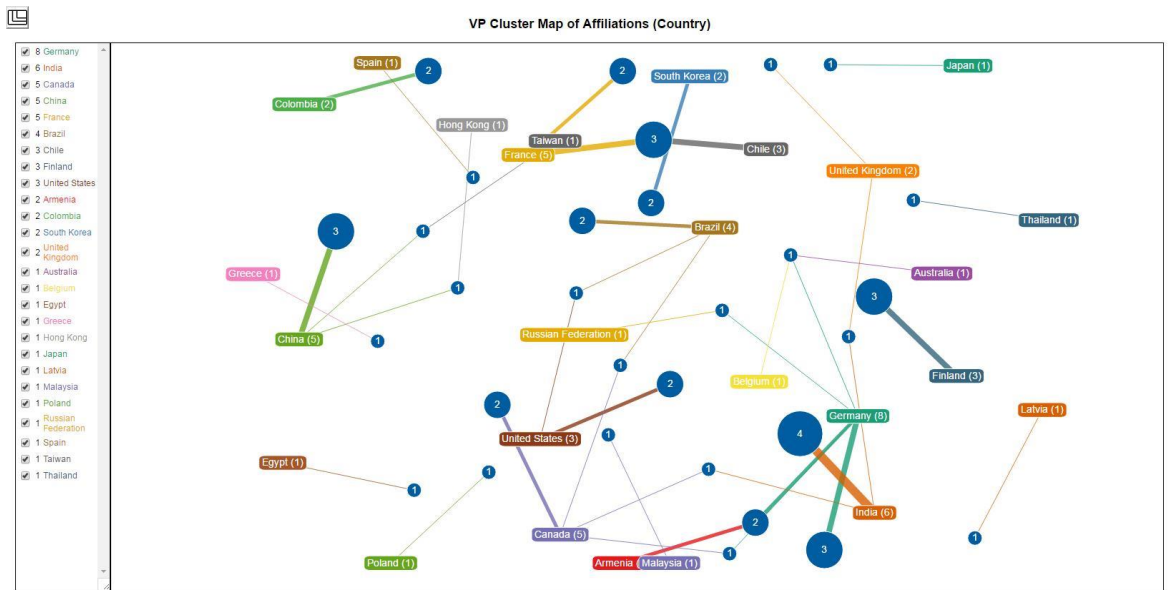


Figura 3. Cluster Map de autores por país de filiación.

Cluster Map de autores por institución de filiación.

En la Figura 4 se presenta la información relacionada con los autores con mayor número de publicaciones. Debido a que la información reportada no permitía visualizar de forma correcta a los autores se debieron eliminar los autores que solamente presentaban un artículo, lo que hizo que se dejaran solamente los que tenían de dos publicaciones en adelante.

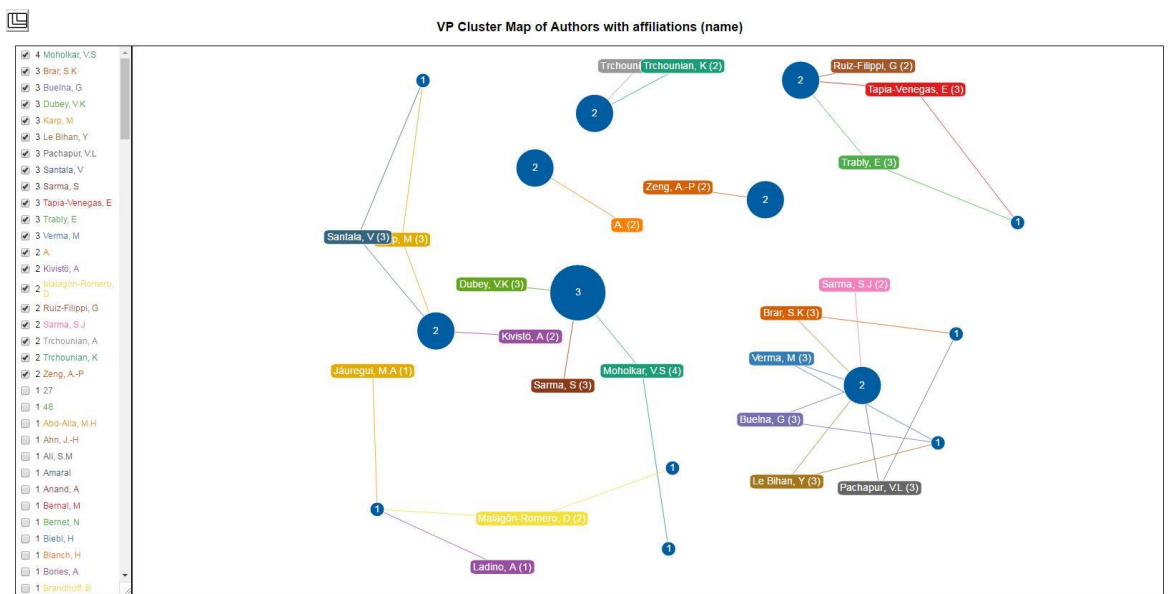


Figura 4. Cluster Map de autores con filiaciones.

Nube de palabras con mayor de concurrencia.

En la Figura 5 se presenta la Nube de palabras con mayor concurrencia. Como se aprecia palabras como Glicerol, hidrógeno, Clostridium, producción de hidrógeno sobresalen sobre el resto debido a su alta frecuencia en los artículos. Otras palabras asociadas como 1,2 propanediol, alcohol, bio-hidrógeno, *Clostridium butyricum* y metabolismo siguen en importancia. A partir de esto se puede concluir que las palabras clave empleadas para la búsqueda de los artículos están dentro de esta nube, con lo cual se podría validar la búsqueda realizada.

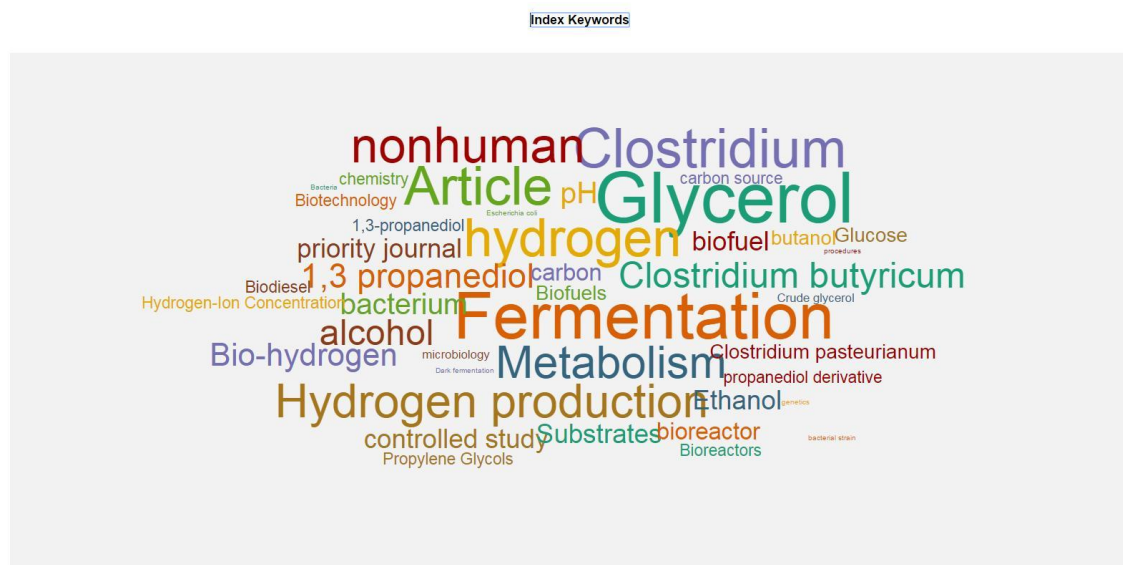


Figura 5. Nube de palabras con mayor concurrencia.

Cluster Map por palabras claves

En la Figura 6 se presenta el Cluster Map por palabras claves.

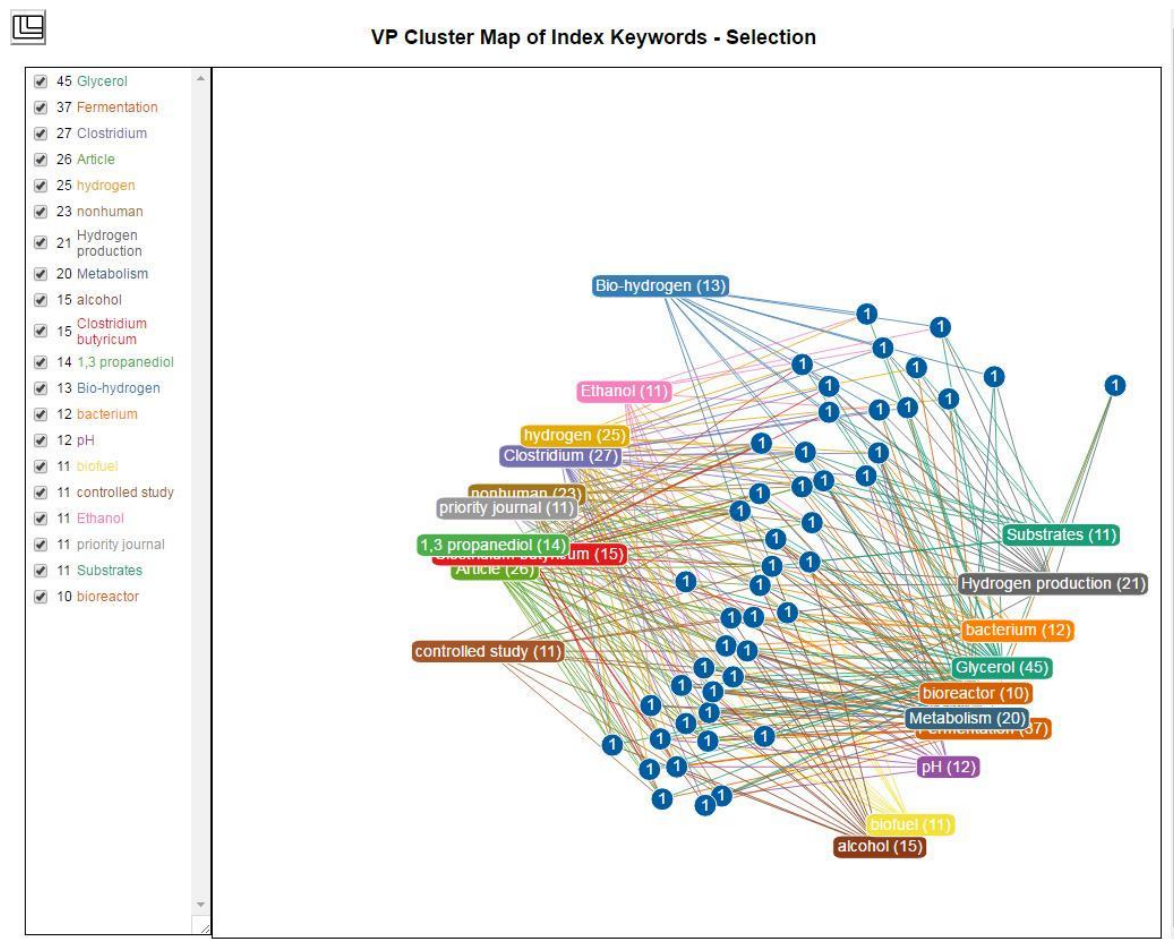


Figura 6. Cluster Map por palabras clave.

Cocitación

En la Figura 7 se presenta el diagrama de la co-citación.

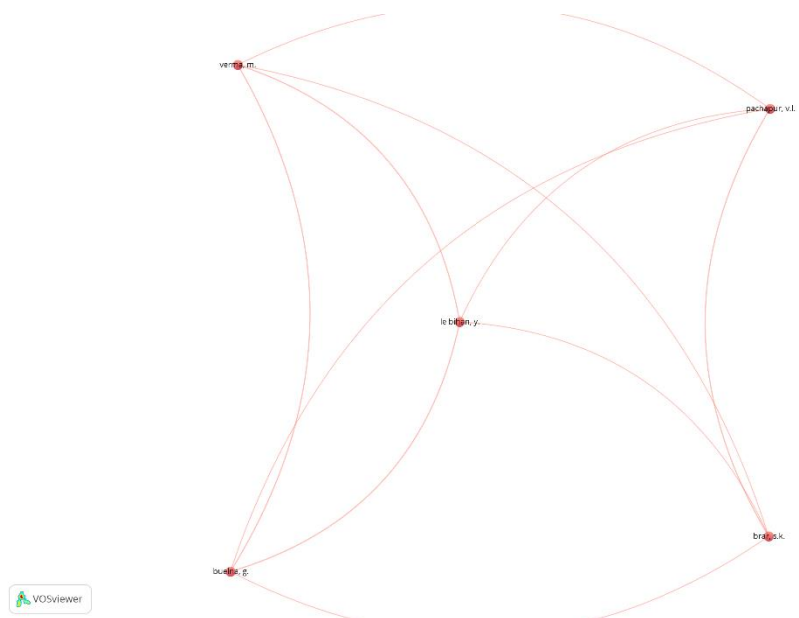


Figura 7. Co-citación.

Bibliografía

- [1] A. S. Alarcon, O. O. Ortiz, y D. M. Romero, *Caracterización del desempeño de un turbina hidrocinética en un banco de microgeneración de energía*. .
- [2] R. Alarcón, D. Malagón-Romero, y A. Ladino, «Biodiesel production from waste frying oil and palm oil mixtures», *Chemical Engineering Transactions*, vol. 57, n.º Query date: 2019-12-05 10:37:13, pp. 571-576, 2017.
- [3] A. G. Amaya, «Parametric Algorithm For The Study Of Technical And Economic Feasibility Of Biodiesel Production Plants At Small And Medium Scale In Colombia», *Universidad Santo Tomás*, n.º Query date: 2019-12-05 10:37:13.
- [4] M. Barbosa, A. Hernández, D. Romero, y N. Sarmiento, «Producción de poli-b bb bb-hidroxibutirato (PHB) por *Ralstonia eutropha* ATCC 17697», *Universitas Scientiarum*, vol. 10, n.º 1, pp. 45-54, 2005.
- [5] M. Bernal, L. Tinoco, L. Torres, D. Malagón-Romero, y D. Montoya, «Evaluating Colombian *Clostridium* spp. strains hydrogen production using glycerol as substrate», *Electronic Journal of Biotechnology*, vol. 16, n.º 2, pp. 5-5, 2013.
- [6] I. Casallas *et al.*, «Pre-treatment of Waste Cooking Oils for Biodiesel Production», *Chemical Engineering Transactions*, vol. 65, n.º Query date: 2019-12-05 10:37:13, pp. 385-390, 2018.
- [7] C. A. Corchuelo-Rodriguez, «Estrategias de visibilidad de la producción científica y académica de los grupos de investigación de la Universidad Santo Tomás», n.º Query date: 2019-10-22 13:52:45, 2018.
- [8] B. Galeano, A. Ladino, y D. Malagon-Romero, «Parametric Algorithm for the Study of Technical and Economic Feasibility of Biodiesel Production Plants at Small and Medium Scale in Colombia», *Chemical Engineering Transactions*, vol. 65, n.º Query date: 2019-12-05 10:37:13, pp. 505-510, 2018.
- [9] H. P. Gutiérrez, «Diseño Y Construcción De Un Liofilizador Para El Secado De Plantas Aromáticas», *Universidad Santo Tomás*, n.º Query date: 2019-12-05 10:37:13.
- [10] M. Jáuregui, A. Ladino, y D. Malagón-Romero, «The effect of the initial concentration of glycerol on the hydrogen produced by strains of the genus *Clostridium* spp.», *International Journal of Sustainable Engineering*, vol. 11, n.º 3, pp. 205-210, 2018.
- [11] L. López, J. Bocanegra, y D. Malagón-Romero, «Production of biodiesel from waste cooking oil by transesterification», *Ingeniería y Universidad*, vol. 19, n.º 1, pp. 155-172, 2015.
- [12] D. Malagón, «Pasos Hacia la Construcción de una propuesta de Energía Sostenible», <http://www.congresoenergiasostenible.org/libs/pdfs/Memorias3erCES.pdf>, vol. 1, n.º Query date: 2019-12-05 10:37:13, pp. 100-100, 2016.
- [13] D. Malagón, C. Cardozo, y R. Godoy, «Use of human fibrinogen in the generation of scaffold for obtaining Tissue equivalents», *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. 13, n.º 2, pp. 243-252, 2011.
- [14] D. Malagón, C. Cardozo, y R. Godoy, «Uso de fibrinógeno humano en la generación de soportes para la obtención de equivalentes tisulares», *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. 13, n.º 2, pp. 243-252, 2011.
- [15] D. Malagón, C. Cardozo, y R. Godoy, *Uso de fibrinógeno humano en la generación de soportes para la obtención de equivalentes tisulares Use of human fibrinogen in the generation of scaffold for obtaining Tissue*

- [16] D. Malagón-Romero, «Nuevas ideas, nuevos procesos + limpios, eficientes y productivos»,
<http://www.congresoenergiasostenible.org/libs/pdfs/Memorias1erCES.pdf>, vol. 1, n.º
Query date: 2019-12-05 10:37:13, pp. 100-100, 2012.
- [17] D. Malagón-Romero, «Energía Sostenible en Colombia»,
<http://www.congresoenergiasostenible.org/libs/pdfs/Memorias2doCES.pdf>, vol. 1, n.º
Query date: 2019-12-05 10:37:13, pp. 100-100, 2014.
- [18] D. Malagón-Romero, D. Clavijo, y C. Lopez, «Production of Polycaprolactone Microcarriers using Electrospray for Fibroblast Cultures», *Chemical Engineering Transactions*, vol. 64, n.º Query date: 2019-12-05 10:37:13, pp. 661-666, 2018.
- [19] D. Malagón-Romero, D. Clavijo, y D. Moreno, «Production of Chitosan Microcarriers using Electrospray Equipment», *Chemical Engineering Transactions*, vol. 64, n.º
Query date: 2019-12-05 10:37:13, pp. 361-366, 2018.
- [20] D. Malagón-Romero, N. Hernández, C. Cardozo, y R. Godoy-Silva, «Rheological characterization of a gel produced using human blood plasma and alginate mixtures», *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, vol. 34, n.º Query date: 2019-12-05 10:37:13, pp. 171-180, 2014.
- [21] D. Malagón-Romero, J. Vivas, D. Garzón-Alvarado, y R. Godoy-Silva, «Proliferation of 3T3 Fibroblasts in a Spinner Type Reactor on Microcarriers of Fibrin-Alginate», *VI Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2014, Paraná ...*, n.º
Query date: 2019-12-05 10:37:13, 2015.
- [22] D. Malagón-Romero, A. Ladino, N. Ortiz, y L. Green, «Characterization of a Polymeric Membrane for the Separation of Hydrogen in a Mixture with CO₂», *The Open Fuels & Energy Science Journal*, vol. 9, n.º 1, 2016.
- [23] N. Moreno *et al.*, «Bioprospecting and characterization of poly-b- hydroxyalkanoates (PHAs) producing by bacteria isolates from Colombian sugarcane producing areas.», *African Journal of Biotechnology*, vol. 6, n.º 13, pp. 1536-1543, 2007.
- [24] N. Moreno-Sarmiento, D. Malagón-Romero, J. Cortázar, y ..., «Recuperación de poli-b-hidroxihexanoato-co-octanoato sintetizado por *Pseudomonas putida* mediante el uso de dispersiones hipoclorito-cloroformo», *Universitas Scientiarum*, vol. 11, n.º 1, pp. 41-48, 2006.
- [25] O. O. Ortiz, *Se consolida la investigación en la Universidad Santo Tomás. .*
- [26] C. Q. Pardo y S. M. Moreno, «Caracterización del desempeño de un motor diesel a partir de la implementación de diferentes mezclas biocombustible/diesel», *Universidad Santo Tomás*, n.º Query date: 2019-12-05 10:37:13.
- [27] A. Ramos-Murillo, D. M. Romero, R. Godoy-Silva, y ..., «Alginate-human fibrin microcarriers like scaffold for tissue engineering of skin», *JOURNAL OF TISSUE ENGINEERING AND REGENERATIVE MEDICINE*, vol. 6, n.º Query date: 2019-12-05 10:37:13, pp. 159-159, 2012.
- [28] J. Riesco-Ávila, E. Flores-Patiño, F. Elizalde-Blancas, y ..., *Evaluación del proceso de obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales usados. .*
- [29] D. Rodríguez, J. Riesco, y D. Malagon-Romero, «Production of biodiesel from waste cooking oil and castor oil blends», *Chemical Engineering Transactions*, vol. 57, n.º
Query date: 2019-12-05 10:37:13, pp. 679-684, 2017.
- [30] D. Rodríguez, J. Avila, y D. Romero, «OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE MEZCLAS DE ACEITE DE COCINA USADO Y ACEITE DE HIGUERILLA POR TRANSESTERIFICACIÓN», *JÓVENES EN LA CIENCIA*, vol. 2, n.º 1, pp.

1850-1854, 2017.

- [31] R. A. Rodríguez, «Obtención de biodiésel a partir de mezclas de aceite usado de cocina y aceite de palma», *Universidad Santo Tomás*, n.º Query date: 2019-12-05 10:37:13, 2014.
- [32] D. M. Romero, «Obtención de un equivalente dérmico mediante la proliferación en biorreactor de fibroblastos sobre microportadores fabricados con geles de plasma sanguíneo humano y alginato de ...», *Universidad Nacional de Colombia*, n.º Query date: 2019-12-05 10:37:13.
- [33] L. R. Velandia, «Evaluación De La Microfiltración De Diésel Comercial En La Combustión De Un Motor», *Universidad Santo Tomás*, n.º Query date: 2019-12-05 10:37:13.