

UNA VISIÓN DE LAS BIOREFINERÍAS A PARTIR DE UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Jeniffer Natalia Vesga¹, Héctor Javier Luna¹, Juan Daniel Valderrama¹, Ana María Luque², Rafael Gabriel Barragán², Edwin Humberto González¹, Andrés Julian Martínez¹, Anibal José Pérez¹

¹ Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil. Universidad Antonio Nariño. Bogotá, Colombia. hectorlunaw@hotmail.com ² Universidad Santo Tomás. Bogotá, Colombia.

RESUMEN

Este artículo muestra la importancia de una revisión sistemática para sintetizar la información de las diferentes bases de datos, con el objetivo de interpretar un panorama general del tema o área de interés, conocer la línea de tiempo (evolución) del tema, dónde se ha publicado, quienes han publicado y seleccionar la información de interés para establecer directrices sobre las limitaciones del tema y formular nuevas investigaciones. Lo anterior se basa en una metodología estructurada a partir de preguntas de interés sobre el tema. En este caso se realizó un estudio sobre el tema de biorefinerías, donde se establecieron los criterios mencionados anteriormente, partiendo de una búsqueda en la base de datos de referenciación *SCOPUS*, utilizando la palabra clave *biorefineries* como ecuación de búsqueda, con el objetivo de tener un panorama amplio sobre el tema. La búsqueda se realizó el 16 de marzo de 2015. Como resultado se obtuvo una base de datos de 2134 registros que fueron analizados en el software especializado en minería de datos *The Vantagepoint*®. El análisis presentó, como a partir del 2010 se incrementaron significativamente las publicaciones realizadas hasta el momento. También se identificó a Estados Unidos como el país con más publicaciones en el área (774 registros), Brasil como el país latinoamericano con mayor producción de artículos (78 registros) ubicado como el décimo país en el mundo con estudios en el campo. Colombia se perfila como un país poseedor de un potencial significativo para desarrollar futuras investigaciones en el área de las biorefinerías ubicándose en el puesto 23 (17 registros), los principales estudios en Colombia han sido en el área de biocombustibles, lo que significa que tiene potencial para continuar en proyectos de biocombustibles y generar investigación en el área de bioquímicos y biomateriales. Por lo tanto se muestra la importancia de este tipo de estudios para identificar líneas de investigación con proyección en cada una de las áreas, como en este caso las biorefinerías.

Palabras claves: Biorefinerías, revisión sistemática, biocombustibles, bioproductos.

INTRODUCCIÓN

La industria actualmente debe cumplir con cada vez más condiciones para que sus procesos sean realmente sostenibles para hoy y las generaciones futuras. El desarrollo de la agricultura, el evidente crecimiento de la población y por lo tanto preocupaciones en torno a la salud, la seguridad energética, los precios de los combustibles a partir del petróleo y la necesidad de reducción de los gases de efecto invernadero, hacen de la biorefinería una gran alternativa para el desarrollo de productos de base biológica con un valor agregado. Los productos derivados del petróleo no son renovables y contaminan cada vez más el medio ambiente. Las nuevas investigaciones en el mundo giran en torno a mantener una sostenibilidad global, la cual es difícil de cumplir cuando se trata de productos provenientes de fuentes no renovables. Por esta razón se está apuntando al desarrollo de productos que sean biodegradables, económicamente viables y que sean ambientalmente amigables.

Aplicar el concepto de biorefinería teniendo como punto de partida residuos o biomasa de segunda generación para llegar a un producto con valor agregado, hace que los procesos sean soportables, equitativos y viables tanto en el ámbito social, ambiental y económico.

Actualmente se están formulando políticas que incentivan a la investigación en la generación de nuevos combustibles, energías y productos de la industria química a partir de las fuentes renovables. Una de las mayores áreas de investigación se ha volcado hacia la industria de los biocombustibles y energías renovables como la solar, eólica, geotérmica e hidráulica; las cuales tienen una alta dependencia de las condiciones atmosféricas y la posición geopolítica. Además, la producción de biocombustibles ha sido criticada por los impactos sociales y éticos que han llevado al monocultivo y la manipulación de los costos de estos productos. Sin embargo los biocombustibles muestran un impacto positivo al ambiente debido a que reducen notablemente las emisiones de gases de efecto invernadero, generan desarrollo rural y

oportunidades económicas para países en vía de desarrollo como Colombia.

Estudios como el realizado por Parajuli et al [1] muestran a las biorefinerías como rutas de producción amigables con el medio ambiente, viables y sostenibles. También como alternativas atractivas para el reemplazo de productos derivados del petróleo, lo que vislumbra y muestra la necesidad de una búsqueda de trabajos académicos realizados hasta el momento sobre las biorefinerías de una manera global, basándose en el qué, el cuándo, el dónde, y el quién han publicado sobre el tema para identificar el papel de Colombia en el campo de estudio y su potencial a futuro. La literatura muestra una cantidad apreciable de artículos que han desarrollado el tema o el área de las biorefinerías mostrando diferentes opciones o alternativas para la producción de productos de base biológica. Los bioproductos obtenidos a partir de las biorefinerías van desde biocombustibles tales como etanol, metanol y/o gas de síntesis, hasta biomateriales tales como biopolímeros y bioquímicos como furfurales y ácidos grasos [2]. La extensa literatura lleva a usar metodologías apropiadas, para tener una óptima búsqueda, por esta razón se han establecido algunos lineamientos sobre una revisión sistemática [3] [4] [5], para optimizar la información y direccionar hacia las preguntas de interés en el área de investigación.

Con los anteriores argumentos este artículo fue direccionado a realizar un análisis del tema de biorefinerías a partir de la búsqueda de información utilizando los lineamientos de una revisión sistemática, con el objetivo de interpretar un panorama general de las biorefinerías, conocer el desarrollo del tema desde el año 1999 hasta el año 2005, identificar la distribución mundial de estas publicaciones, así como quienes han publicado y finalmente seleccionar la información de interés para establecer directrices sobre las limitaciones de las biorefinerías e identificar algunas directrices sobre el enfoque hacia nuevas investigaciones colocando en contexto a Colombia.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en este estudio se basó en las pautas establecidas por los autores Kitchenham [3] y Mayring [4] tomando como objetivo principal identificar, evaluar e interpretar la información seleccionada acerca de las biorefinerías. Los puntos a desarrollar a partir de la información obtenida fueron:

- Conocer el desarrollo del tema desde el año 1999 hasta el año 2005.
- Identificar la distribución mundial de estas publicaciones.
- Identificar los principales autores que han publicado

Como fuente de información para obtener la base de datos se limitó a la base de datos *SCOPUS*, debido a que cubre una gran cantidad de bases de datos y revistas científicas que ofrece una visión global acerca de la investigación. La búsqueda se realizó utilizando la palabra clave *biorefineries* como ecuación de búsqueda, utilizando los campos título, resumen, palabras claves en todos los documentos, realizada el 16 de marzo de 2015. La selección de la ecuación de búsqueda se tomó debido a que el objetivo era obtener un panorama general del tema de las biorefinerías.

La base de datos obtenida fue de 2134 registros (artículos), esta base de datos fue revisada para verificar la existencia de cada uno de los registros y de la información completa para cada uno de los campos requeridos para el estudio. Los registros encontrados en *SCOPUS* fueron exportados al software *The Vantage Point*, el cual permitió un mejor tratamiento de los datos obtenidos y realizar algunas correlaciones. Por medio de este software se realizó un proceso de "limpieza" donde se revisaron y unificaron los nombres de los autores de las publicaciones; puesto que se daba el caso de ser citado al mismo autor de diferentes formas. El mismo procedimiento de limpieza se realizó para los países y las palabras clave. Posteriormente, la base de datos se filtró y se depuró eliminando los registros duplicados o que no se consideraron relevantes y así excluirlos del análisis, esto se realizó utilizando el título y en casos específicos el resumen para excluir o admitir el registro. Como resultado se obtuvo una base de datos depurada de 1580 registros, con la cual se realizó la descripción y el análisis de la información.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución de las publicaciones del tema de biorefinerías entre el año 1999 y 2005.

La evolución de los registros se muestra en la figura 1. La cual presenta la primera publicación registrada en la base de datos obtenida en el año 1999, esto indica que este concepto no es algo nuevo y que a través de los años se ha venido desarrollando, estudiando y materializando. Un ejemplo de la materialización de las biorefinerías es la inaugurada en el 2014 en Alberta (Canadá) que convierte los residuos domésticos en biocombustibles y químicos renovables [6]. En el año 2004 se observa una producción académica importante con aproximadamente 50 artículos publicados, pero es en el año 2010, donde se observa un incremento significativo (257) y que continua aumentando hasta el año 2013 donde se obtuvo el número máximo de publicaciones (350). En el 2015 se han publicado hasta la fecha de consulta 81 artículos. Este crecimiento permite observar la importancia del tema, la cual busca obtener productos de valor agregado sustitutos del petróleo que sean sostenibles ambientalmente, económicamente y socialmente.

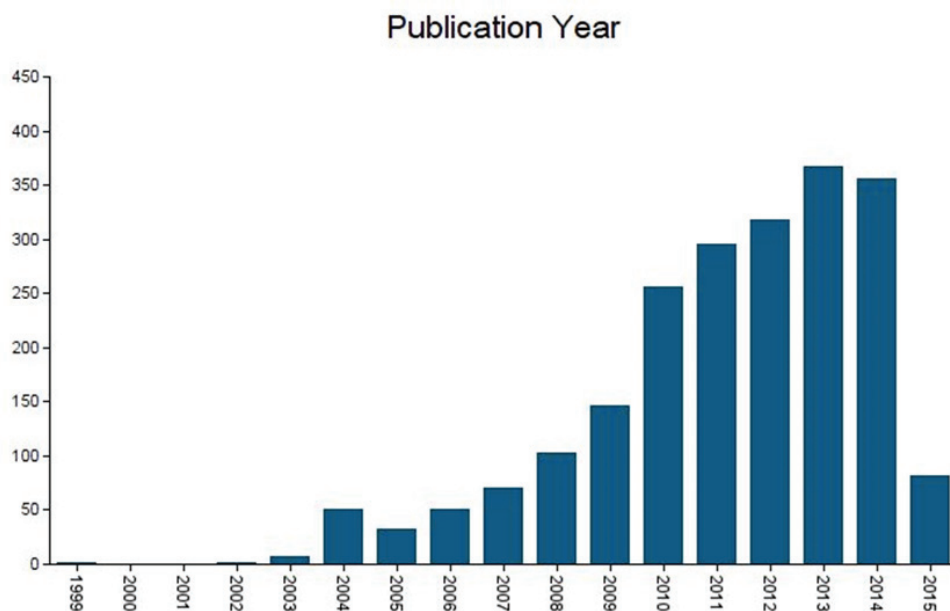


Figura 1. Número de registros en el área con su correspondiente año de publicación.

Las principales áreas donde se presentaron las publicaciones fueron en ingeniería química, energía, ciencias ambientales, química, bioquímica, genética y biología molecular. Áreas que también se han venido desarrollando al tiempo que las biorefinerías, como la ingeniería química que ha girado su entorno industrial y de optimización de procesos hacia procesos biológicos y aprovechamiento de los subproductos. El área de la energía ha sido el principal tema de optimización a nivel industrial, llevado de las políticas y costos ambientales. La bioquímica, genética y biología molecular han crecido como herramientas de monitoreo y de investigación en este tipo de procesos biológicos.

Distribución mundial de las publicaciones del área de biorefinerías.

El concepto de las biorefinerías se ha estado estudiando y desarrollando, tanto en el continente americano como a nivel mundial, la figura 2 muestra la distribución de las publicaciones a nivel mundial. El país con el mayor número de pu-

blicaciones registradas es Estados Unidos. Un ejemplo claro del amplio desarrollo en el tema por parte de este país son los estudios ya consolidados para la producción de etanol a base de maíz [7][8][9][10][11] (siendo este el mayor productor de este cereal en el mundo) y las publicaciones sobre la producción de biocombustibles de segunda generación, plantean una gasolina y diésel a partir de recursos renovables, etanol celulósico y residuos [12][13].

Basándose en la densidad de publicaciones que se registran sobre el concepto de biorefinerías para cada país en el mundo, la figura 2 muestra como este concepto se ha estado investigando en una amplia cantidad de países y como Colombia con 17 publicaciones realizadas hasta el momento, se proyecta como una potencia para el continuo desarrollo del área. En el continente Asiático el país que sobresale es China con una densidad de producción significativa. Por otro lado se observa que en el continente europeo se destacan países como España, Suecia, Reino Unido, Alemania, Finlandia y Holanda.

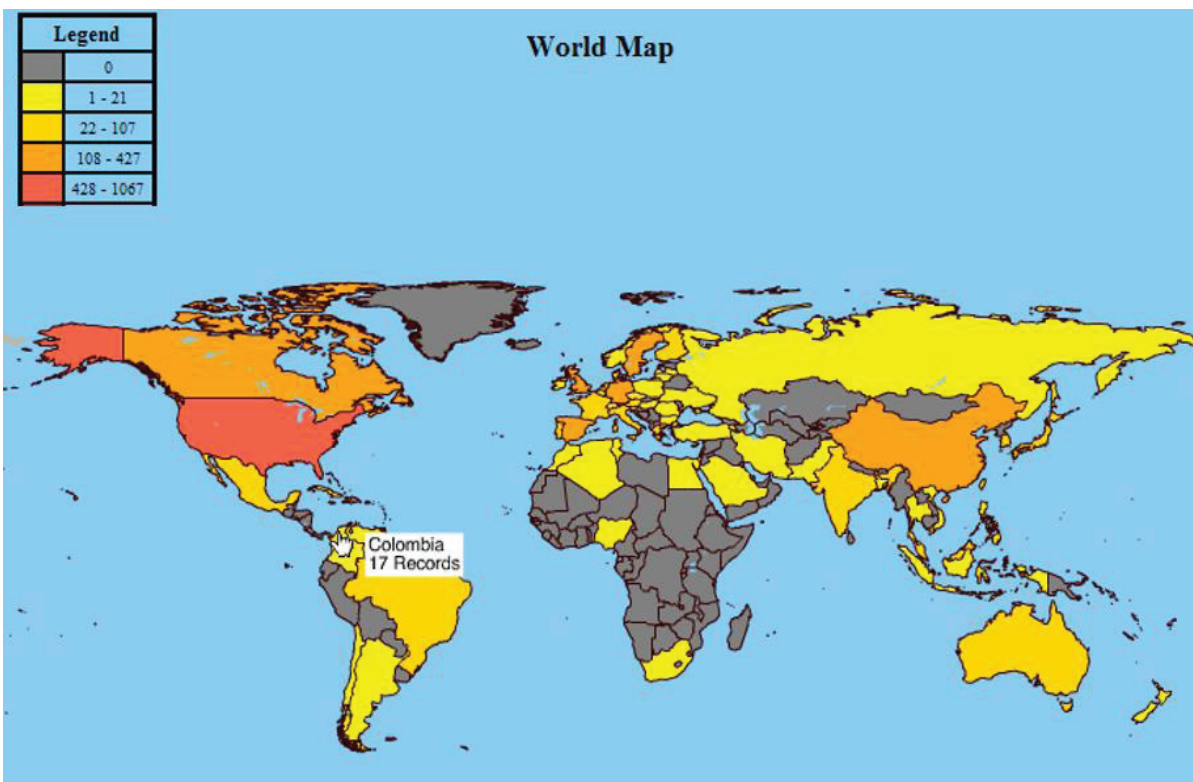


Figura 2. Distribución mundial de las publicaciones sobre las biorefinerías.

La figura 3 muestra el número de registros por país, se encontró que 65 países contribuyen a este tema. Los países latinoamericanos que hacen presencia con sus estudios son Brasil, Colombia, Chile y Venezuela. Brasil ocupa el décimo lugar a nivel mundial y el primero a nivel de Latinoamérica con 78 investigaciones publicadas. Esto demuestra la experiencia que tiene este país suramericano en el desarrollo y la producción de etanol como combustible a partir de la caña de azúcar (modelo de biorefinería). En los recientes años se han estado realizando análisis sobre los requisitos técnicos e institucionales para la producción sostenible de etanol de segunda generación [14] y etanol a partir de biomasa lignocelulósica. Por otra lado, también se registran estudios dirigidos por instituciones brasileras sobre el potencial de pastos y cortezas de árboles de este país para la producción de biocombustibles [15].

De la figura 2 es de destacar también que los países del medio oriente no tienen ninguna publicación en el tema de biorefinerías, lo cual indica posiblemente no tienen interés en el área debido a las reservas de petróleo que poseen. Además un alto porcentaje de países del continente africano tampoco han desarrollado investigaciones, una de las causas puede ser

la falta de desarrollo, porque serían unos de los países más beneficiados por este tipo de tecnología. En Centro América, los únicos países que cuentan con registros son México y Cuba, siendo México el líder de Centro América lo cual lleva a pensar que puede ser por la cercanía con Estados Unidos, por su parte Cuba presenta 3 publicaciones que se basan en biorefinerías a partir de la caña de azúcar [16] [17] [18], la cual es una de las fortalezas de la economía de este país, además es de interés que las tres publicaciones son realizadas en conjunto con Brasil, quien es otro productor de caña de azúcar reconocido en el mundo. Por otro lado en Suramérica los países que no cuentan con publicaciones son Ecuador, Perú, Bolivia, Paraguay y Uruguay.

La tabla 1 presenta los países con más de 10 publicaciones, donde Estados Unidos se muestra como el país líder en la producción de documentos académicos sobre biorefinerías con 774 publicaciones hasta el momento. Evidenciando una diferencia bien significativa con Canadá en segundo lugar con 123 documentos publicados. En los registros encontrados se muestra a España como tercer país con 122 publicaciones sobre las biorefinerías, las instituciones educativas en este país han hecho estudios sobre el planteamiento y desa-

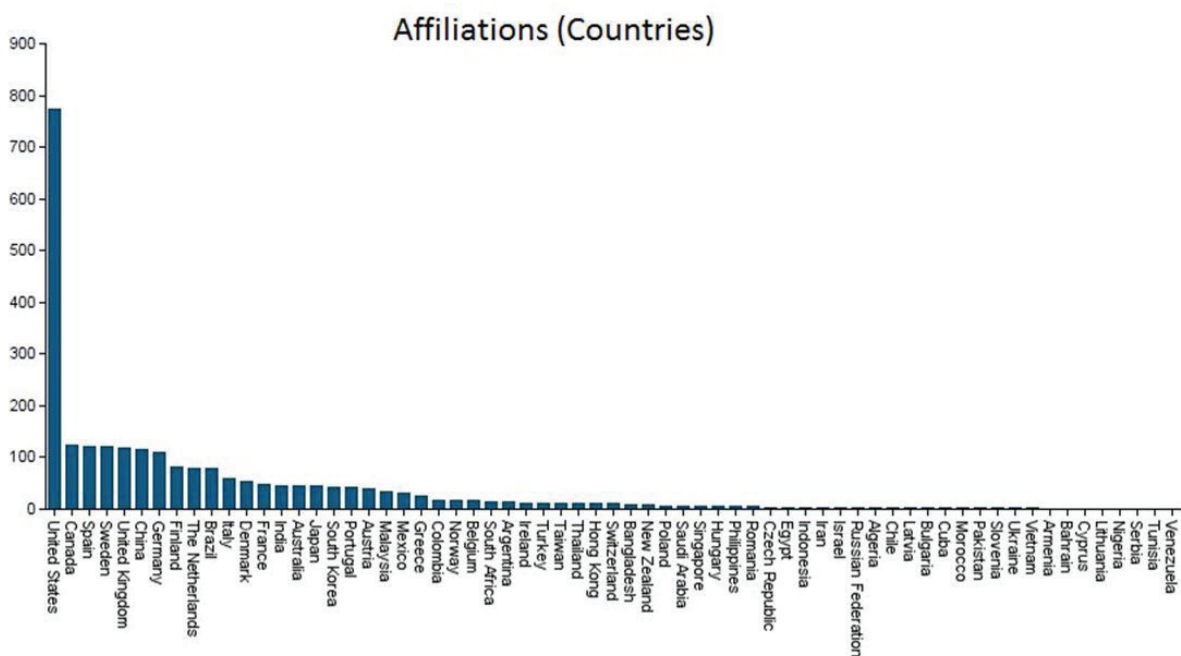


Figura 3. Relaciona el número de publicaciones con el país de las afiliaciones.

Tabla 1. Países con registros iguales o mayores a 10 publicaciones en el área.

Registros Publicaciones	Países	Registros Publicaciones	Países
774	Estados Unidos	41	Portugal
123	Canadá	39	Austria
122	España	34	Malasia
121	Suecia	32	México
119	Reino Unido	26	Grecia
116	China	17	Colombia
109	Alemania	17	Noruega
81	Finlandia	16	Bélgica
80	Holanda	15	Sur África
78	Brasil	13	Argentina
60	Italia	12	Irlanda
53	Dinamarca	12	Turquía
49	Francia	11	Taiwán
45	India	11	Tailandia
44	Australia	10	Hong Kong
44	Japón	10	Suiza
43	Corea del sur		

rollo de la conversión de biomasa por medio de tratamientos termoquímicos (pirólisis y gasificación) para la producción de gas de síntesis [19] o bioaceites a partir de residuos [20], Colombia se sitúa en el puesto 23 con 17 publicaciones en segundo lugar de Suramérica con buenas iniciativas en investigaciones en biocombustibles.

La figura 4, presenta la correlación de colaboración que existe entre los diferentes países que han registrado publicaciones. Donde se observa que Estados Unidos ha realizado la mayoría de sus publicaciones principalmente con China,

Canadá, México y Finlandia, que son países que reportan más de 30 registros (Tabla 1), lo que le agrega valor a las publicaciones realizadas en conjunto debido a su experiencia en el estudio y desarrollo del área. La figura 4, también muestra que Colombia ha publicado en conjunto con Estados Unidos, España, Brasil y Portugal. Un trabajo realizado en conjunto entre afiliaciones de Colombia, Brasil y Portugal fue el publicado en el 2013 donde se realizó un análisis técnico económico del uso del bagazo de la cerveza (residuo) bajo el concepto de biorefinería para el caso brasilero. En este trabajo se evaluó la sostenibilidad económica y ambiental del proceso[21].

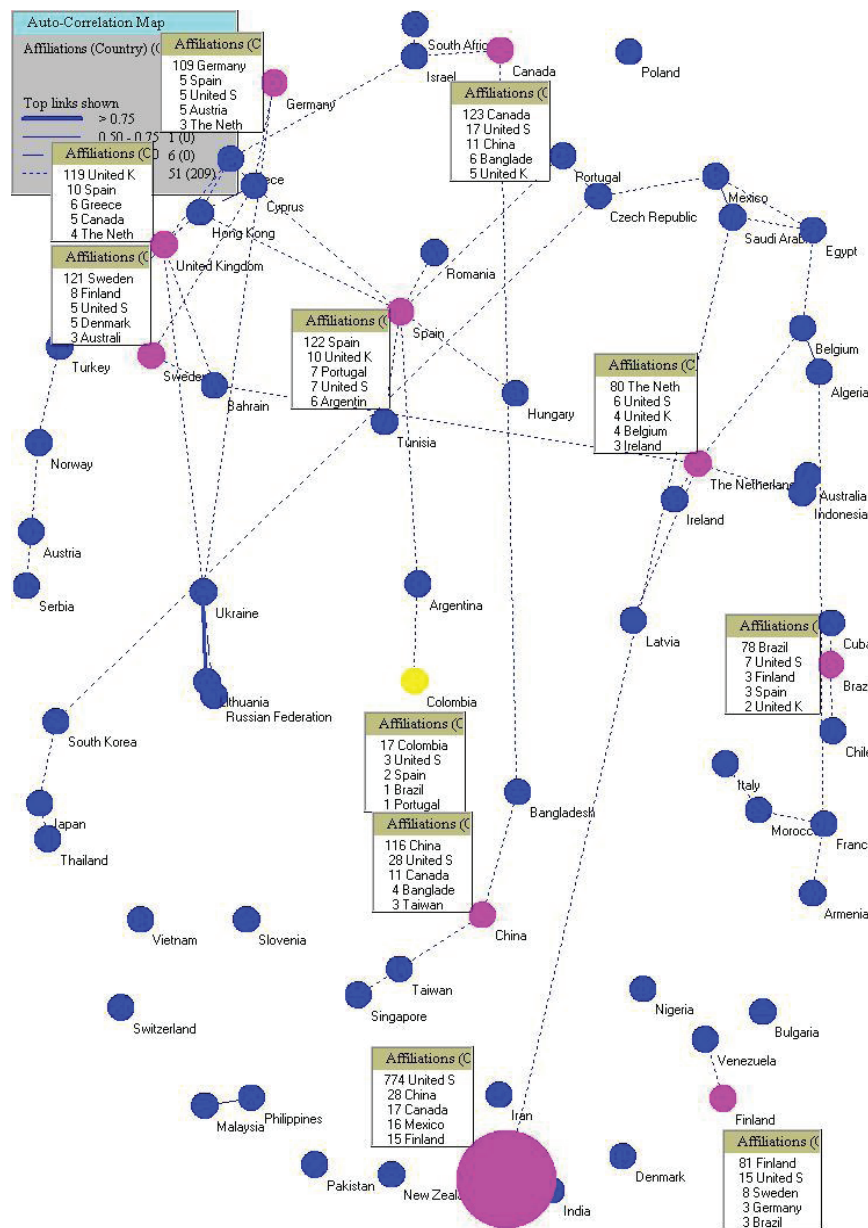


Figura 4. Correlación entre países.

Autores destacados en el tema de biorefinerías.

En la figura 5, se muestran los autores con más registro en el tema de biorefinerías, según los resultados obtenidos de la base de datos con la ecuación de búsqueda “biorefineries”. El autor con la mayor producción académica registrada es Dale, Bruce E. quien pertenece al Departamento de Ingeniería Química y Ciencia de los Materiales en la Universidad Estatal de Michigan, en East Lansing, USA. Ha desarrollado investigaciones en biorefinerías a partir de biomasa lignocelulósica [22] [23] [24] con un enfoque hacia biocombustibles desde el año 2006 [25] integrando el concepto de sostenibilidad a partir del análisis de ciclos de vida [26] [27]. En segundo lugar se muestra al autor El-Halwagi, M.M. quien actualmente su afiliación figura de la Facultad de Química y al Departamento de Ingeniería de los Materiales, en Jeddah, Arabia Saudita pero todas las publicaciones fueron registradas utilizando la afiliación del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Texas A&M en Estados Unidos. Este autor ha trabajado en el desarrollo de biorefinerías integradas [28] [29] [30] y la evaluación económica, ambiental y económica de las biorefinerías [31] [32] [33]. Por otro lado

es importante destacar al autor colombiano Cardona, C.A. quien registra su afiliación en la Universidad Nacional de Colombia en la sede de Manizales, en el grupo de los autores con 10 publicaciones. La mayoría de sus trabajos han sido realizados en la producción de biocombustibles [21] [34] [35] [33] [36] [41]. En los estudios sobre las biorefinerías realizados por el colombiano; a base de materias primas como aceites obtenidos a partir de la palma africana [39], maíz, jatrofa, ricino, microalgas, nuez de aceituna [37] (combustión directa del residuo, para la producción de bioenergía) y glicerol [34] [35] (como subproducto de la producción de biodiesel), han sido en su mayoría con base al margen de beneficio económico, el impacto ambiental potencial y la huella de carbono, para la evaluación de la viabilidad económica y ambiental de los procesos. Otro trabajo a resaltar de Cardona, C.A. es el estudio para la producción del biopolímero polihidroxibutirato (PHB) a partir de residuos de banano bajo el concepto de una biorefinería integrada multiproducto. Lo anterior evidencia el desarrollo significativo del concepto de las biorefinerías liderado por Cardona en Colombia y su potencial para su desarrollo e investigación.

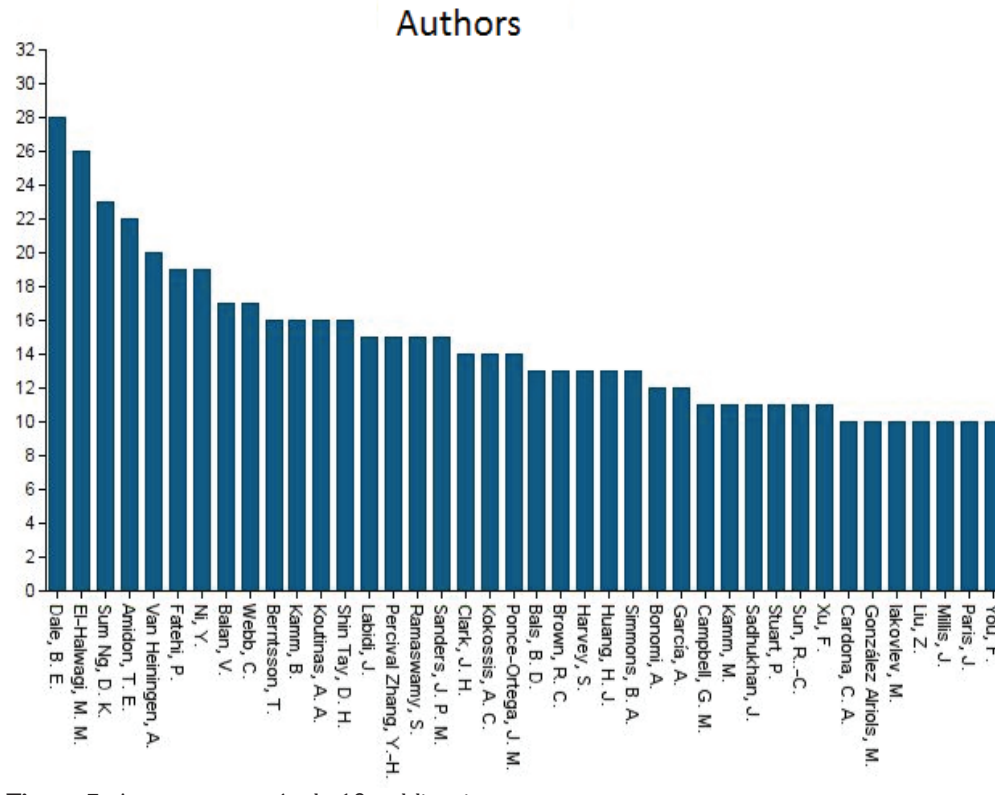


Figura 5. Autores con más de 10 publicaciones.

Finalmente, la figura 6 permite observar que Adriaan Van Heiningen; quien figura como afiliación en la Facultad de Ingeniería Química y Biológica en *The University of Maine* en Orono, Estados Unidos, y quien ha dirigido investigaciones hacia la producción de químicos, materiales y combustibles de base biológica, ha trabajado en conjunto con Dale, B (quien registra el mayor número de publicaciones), Balan, V, Bals,

B, Chundawa y Da costa. Produciendo la mayoría de textos académicos sobre las biorefinerías con los autores antes nombrados. Además es de destacar que Cardona, C.A. tiene relación directa con El-Hawagi M.M en una publicación [33], resaltando el impacto que tiene este autor colombiano en el área de biorefinerías, posicionando a Colombia como un país importante en este tema de investigación.

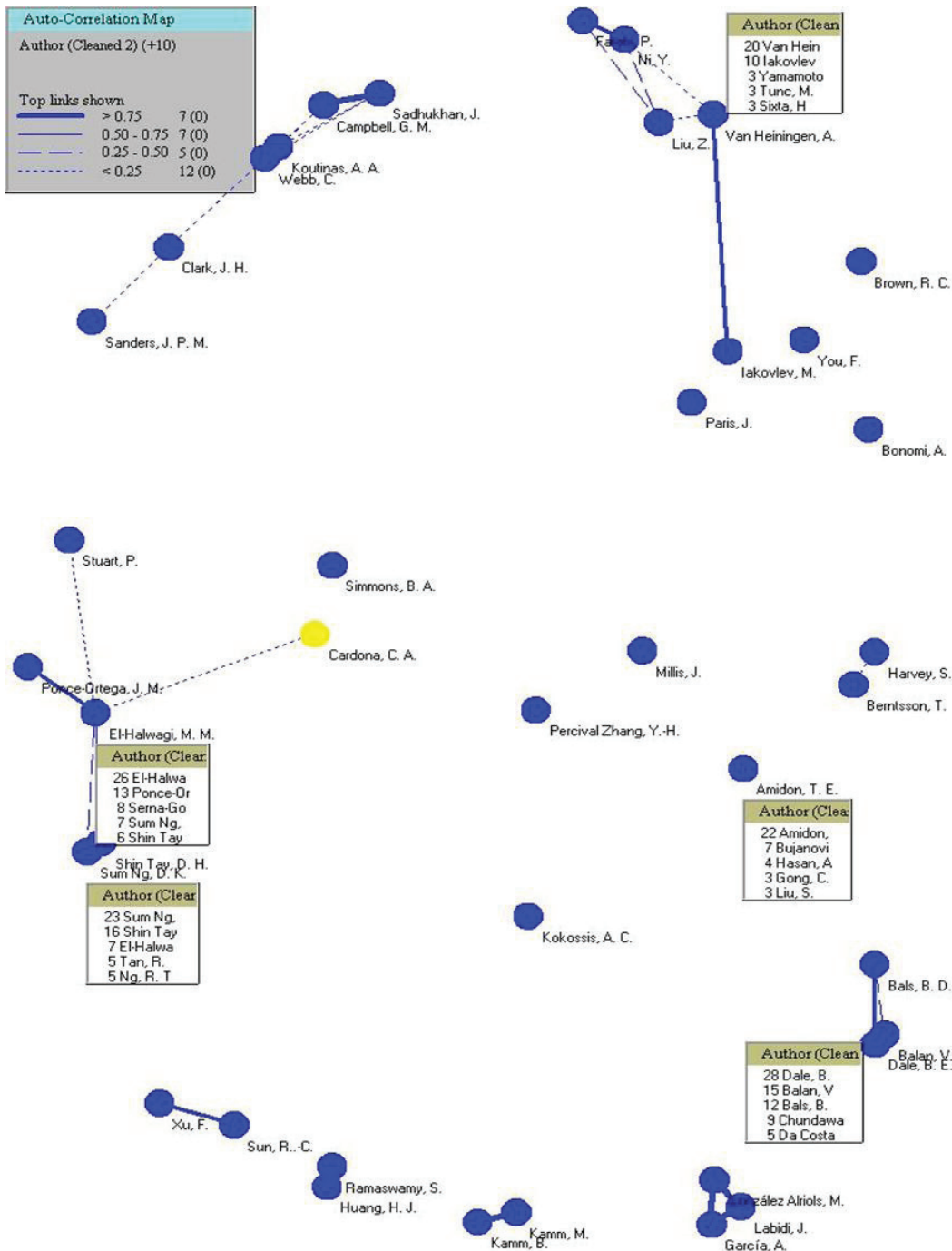


Figura 6. Correlación entre autores destacados.

CONCLUSIONES

Este estudio utilizando la metodología de revisión sistemática para el tema de biorefinerías permitió identificar los siguientes aspectos a partir de una sencilla ecuación de búsqueda:

- Conocer el desarrollo del tema desde el año 1999 hasta el año 2005. Donde se evidenció la viabilidad tanto económica como ambiental y social de las biorefinerías; por tanto la necesidad de su continuo estudio, desarrollo y materialización, la cual presentó un aumento significativo a partir del año 2010, identificando un avance significativo en el área de biocombustibles y un posible desarrollo en el área de biomateriales y bioquímicos a partir de diferentes residuos y un desarrollo importante a partir de residuos lignocelulósicos.
- Identificar a Estados Unidos como el país con más publicaciones en el área, a Brasil como el país suramericano con mayor número de publicaciones sobre las biorefinerías ubicándose como el décimo país en el mundo con estudios en el campo y a Colombia como un país suramericano en desarrollo en el tema de biorefinerías.
- Identificar los principales autores que han publicado en este tema y la importancia de Colombia en este tema de investigación.

El estudio también permitió establecer la importancia de la metodología de revisión sistemática como tema de aplicación para identificar las prioridades en el tema de biorefinerías y establecer a Colombia como un país líder en la región y en búsqueda nuevos desarrollos en investigación en el área de estudio propuesta.

BIBLIOGRAFIA

1. R. Parajuli, T. Dalgaard, U. Jørgensen, A. Peter, S. Adamson, M. Trydeman, M. Birkved, M. Gylling, and J. Kofod, "Biorefining in the prevailing energy and materials crisis: a review of sustainable pathways for biorefinery value chains and sustainability assessment methodologies," vol. 43, pp. 244–263, 2014.
2. B. Kamm and M. Kamm, "Principles of biorefineries.," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 64, no. 2, pp. 137–45, Apr. 2004.
3. B. Kitchenham and S. Charters, "Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering," *Engineering*, vol. 2, p. 1051, 2007.
4. P. Mayring, "Qualitative content analysis," *Forum Qual. Soc. Res.*, no. December, 2000.
5. S. Seuring and M. Müller, "From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management," *J. Clean. Prod.*, vol. 16, no. 15, pp. 1699–1710, Oct. 2008.
6. Canadianbiomassmagazine, "No Title," *U.S. DOE funds Enerkem's Mississippi biorefinery*, 2009. .
7. A. Elmekawy, L. Diels, H. De Wever, and D. Pant, "Valorization of cereal based biorefinery byproducts: reality and expectations.," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 47, no. 16, pp. 9014–27, Aug. 2013.
8. M. R. Schmer, K. P. Vogel, G. E. Varvel, R. F. Follett, R. B. Mitchell, and V. L. Jin, "Energy potential and greenhouse gas emissions from bioenergy cropping systems on marginally productive cropland.," *PLoS One*, vol. 9, no. 3, p. e89501, Jan. 2014.
9. R. Jenkins and C. Alles, "Field to fuel: developing sustainable biorefineries," *Ecol. Appl.*, vol. 21, no. 4, pp. 1096–1104, Jun. 2011.
10. G. S. Mishra and S. Yeh, "Life cycle water consumption and withdrawal requirements of ethanol from corn grain and residues.," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 45, no. 10, pp. 4563–9, May 2011.
11. S. Kim and B. E. Dale, "Regional variations in greenhouse gas emissions of biobased products in the United States—corn-based ethanol and soybean oil," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 14, no. 6, pp. 540–546, Jun. 2009.
12. B. A. Thorp, B. A. Thorp IV, and L. D. Murdock-Thorp, "A compelling case for integrated biorefineries (Part I)," *Paper360*, vol. 3, no. 3, pp. 14–15, 2008.
13. B. A. Thorp, B. A. Thorp IV, and L. D. Murdock-Thorp, "A compelling case for integrated biorefineries (Part II)," *Paper360*, vol. 3, no. 4, pp. 20–22, 2008.
14. A. Corrêa do Lago, A. Bonomi, O. Cavalett, M. Pereira da Cunha, and M. A. Pinheiro Lima, "Sugarcane as a carbon source: The Brazilian case," *Biomass and Bioenergy*, vol. 46, pp. 5–12, Nov. 2012.
15. M. A. Lima, L. D. Gomez, C. G. Steele-King, R. Simister, O. D. Bernardinelli, M. A. Carvalho, C. A. Rezende, C. A. Labate, E. R. Deazevedo, S. J. McQueen-Mason, and I. Polikarpov, "Evaluating the composition and processing potential of novel sources of Brazilian biomass for sustainable biorenewables production.," *Biotechnol. Biofuels*, vol. 7, no. 1, p. 10, Jan. 2014.

16. M. L. G. Renó, O. A. D. Olmo, J. C. E. Palacio, E. E. S. Lora, and O. J. Venturini, "Sugarcane biorefineries: Case studies applied to the Brazilian sugar-alcohol industry," *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, pp. 981–991, 2014.
17. M. H. L. Silveira, M. Siika-Aho, K. Kruus, L. M. Garriga, and L. P. Ramos, "The essential role of plant cell wall degrading enzymes in the success of biorefineries: Current status and future challenges," in *Biofuels in Brazil: Fundamental Aspects, Recent Developments, and Future Perspectives*, 2014, pp. 151–172.
18. G. Jackson de Moraes Rocha, C. Martin, I. B. Soares, A. M. Souto Maior, H. M. Baudel, and C. A. Moraes de Abreu, "Dilute mixed-acid pretreatment of sugarcane bagasse for ethanol production," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 1, pp. 663–670, 2011.
19. D. Beneroso, J. M. Bermúdez, A. Arenillas, and J. A. Menéndez, "Integrated microwave drying, pyrolysis and gasification for valorisation of organic wastes to syn-gas," *Fuel*, vol. 132, pp. 20–26, 2014.
20. M. Amutio, G. Lopez, J. Alvarez, R. Moreira, G. Duarte, J. Nunes, M. Olazar, and J. Bilbao, "Flash pyrolysis of forestry residues from the Portuguese Central Inland Region within the framework of the BioREFINA-Ter project.," *Bioresour. Technol.*, vol. 129, pp. 512–8, Feb. 2013.
21. S. I. Mussatto, J. Moncada, I. C. Roberto, and C. A. Cardona, "Techno-economic analysis for brewer's spent grains use on a biorefinery concept: the Brazilian case.," *Bioresour. Technol.*, vol. 148, pp. 302–10, Nov. 2013.
22. Q. Shao, S. P. Chundawat, C. Krishnan, B. Bals, L. D. C. Sousa, K. D. Thelen, B. E. Dale, and V. Balan, "Enzymatic digestibility and ethanol fermentability of AFEX-treated starch-rich lignocellulosics such as corn silage and whole corn plant," *Biotechnol. Biofuels*, vol. 3, 2010.
23. Q. Shao, S. P. S. Chundawat, C. Krishnan, B. Bals, L. Da Costa Sousa, K. D. Thelen, B. E. Dale, and V. Balan, "Research enzymatic digestibility and ethanol fermentability of AFEX-treated starch-rich lignocellulosics such as corn silage and whole corn plant," *Biotechnol. Biofuels*, vol. 3, no. 1, 2010.
24. M. W. Lau, B. D. Bals, S. P. S. Chundawat, M. Jin, C. Gunawan, V. Balan, A. D. Jones, and B. E. Dale, "An integrated paradigm for cellulosic biorefineries: Utilization of lignocellulosic biomass as self-sufficient feedstocks for fuel, food precursors and saccharolytic enzyme production," *Energy Environ. Sci.*, vol. 5, no. 5, pp. 7100–7110, 2012.
25. M. Laser, S. Sokhansanj, D. Bransby, R. L. Martin, H. Jin, L. R. Lynd, E. D. Larson, and B. E. Dale, "Considering advanced biorefineries in context," in *2006 AIChE Annual Meeting*, 2006.
26. L. Eranki and B. E. Dale, "Land allocation in a sustainable landscape and a comparative life cycle assessment of distributed vs. centralized biorefinery pre-processing systems," in *10AIChE - 2010 AIChE Annual Meeting, Conference Proceedings*, 2010.
27. P. L. Eranki and B. E. Dale, "Comparative life cycle assessment of centralized and distributed biomass processing systems combined with mixed feedstock landscapes," *GCB Bioenergy*, vol. 3, no. 6, pp. 427–438, 2011.
28. B. Bao, D. K. S. Ng, M. M. El-Halwagi, and D. H. S. Tay, "Synthesis of technology pathways for an integrated biorefinery," in *Conference Proceedings - 2009 AIChE Annual Meeting, 09AIChE*, 2009.
29. B. Bao, D. K. S. Ng, M. M. El-Halwagi, and D. H. S. Tay, "Synthesis of technology pathways for an integrated biorefinery," in *AIChE Annual Meeting, Conference Proceedings*, 2009.
30. P. E. Murillo-Alvarado, I. L. Raso, J. M. Ponce-Ortega, M. Serna-González, and M. El-Halwagi, "Integrated pathway optimization for biorefineries," in *AIChE Annual Meeting, Conference Proceedings*, 2012.
31. J. E. Santibañez-Aguilar, J. B. González-Campos, J. M. Ponce-Ortega, M. Serna-González, and M. M. El-Halwagi, "Optimal planning of a biomass conversion system considering economic and environmental aspects," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 50, no. 14, pp. 8558–8570, 2011.
32. J. E. Santibañez-Aguilar, J. Betzabe González-Campos, J. M. Ponce-Ortega, M. Serna-González, and M. M. El-Halwagi, "Optimal Multi-Objective Planning of Distributed Biorefinery Systems Involving Economic, Environmental and Social Aspects," *Computer Aided Chemical Engineering*, vol. 31. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia 58060, Mexico, pp. 470–474, 2012.

33. J. Moncada, M. M. El-Halwagi, and C. A. Cardona, "Techno-economic analysis for a sugarcane biorefinery: Colombian case.," *Bioresour. Technol.*, vol. 135, pp. 533–43, May 2013.
34. J. A. Posada, J. M. Naranjo, J. A. López, J. C. Higueta, and C. A. Cardona, "Design and analysis of poly-3-hydroxybutyrate production processes from crude glycerol," *Process Biochem.*, vol. 46, no. 1, pp. 310–317, Jan. 2011.
35. J. A. Posada, L. E. Rincón, and C. A. Cardona, "Design and analysis of biorefineries based on raw glycerol: addressing the glycerol problem.," *Bioresour. Technol.*, vol. 111, pp. 282–93, May 2012.
36. J. M. Naranjo, C. A. Cardona, and J. C. Higueta, "Use of residual banana for polyhydroxybutyrate (PHB) production: case of study in an integrated biorefinery.," *Waste Manag.*, vol. 34, no. 12, pp. 2634–40, Dec. 2014.
37. V. Hernández, J. M. Romero-García, J. A. Dávila, E. Castro, and C. A. Cardona, "Techno-economic and environmental assessment of an olive stone based biorefinery," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 92, pp. 145–150, Nov. 2014.
38. L. E. Rincón, J. Moncada, and C. A. Cardona, "Analysis of potential technological schemes for the development of oil palm industry in Colombia: A biorefinery point of view," *Ind. Crops Prod.*, vol. 52, pp. 457–465, Jan. 2014.
39. L. E. Rincón, V. Hernández, and C. A. Cardona, "Analysis of technological schemes for the efficient production of added-value products from Colombian oleochemical feedstocks," *Process Biochem.*, vol. 49, no. 3, pp. 474–489, Mar. 2014.
40. J. Moncada, J. Tamayo, and C. a. Cardona, "Evolution from biofuels to integrated biorefineries: Techno-economic and environmental assessment of oil palm in Colombia," *J. Clean. Prod.*, vol. 81, pp. 51–59, 2014.
41. J. Moncada, J. A. Tamayo, and C. A. Cardona, "Integrating first, second, and third generation biorefineries: Incorporating microalgae into the sugarcane biorefinery," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 118, pp. 126–140, Oct. 2014.