

ANEXO 3

Ecuación Búsqueda #4: (lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)

En la Tabla 1 se sintetiza la información con respecto a las patentes más relevantes para la ecuación de búsqueda “***lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose***” la cual arrojó como resultado 18 patentes aprobadas para el rango de 6 años que está comprendido del año 2015 al 2020, se sintetizó la información con el fin de ubicar las patentes más relevantes para la investigación, arrojando como resultado 3 patentes. La primera patente lleva por código **EA026271B1** y lleva por título “**Métodos de procesamiento de biomasa lignocelulósica utilizando auto-hidrólisis de una sola etapa de hidrólisis enzimática con bypass c5 y post-hidrólisis**” esta patente tiene por objetivo un método de procesamiento de biomasa lignocelulósica que busca proporcionar materia prima de biomasa lignocelulósica blanda. En este método se utiliza residuos de maíz como materia prima, la cual es ingresada a un biorreactor en donde se le realiza un pre tratamiento hidrotermal, el cual tiene una temperatura aproximada de 180 °C y un rango de pH que varía entre 3,0 y 9,0 lo que permite que la biomasa pase por una etapa de baja rigidez, facilitando la ruptura de la estructura lignocelulósica. Este tipo de pretratamientos favorece el aumento en la producción de azúcar a temperaturas muy bajas, dando resultados hasta de un 53% [1].

La segunda patente lleva por código **WO2016181392A1** y lleva por título “**Producción de biogás y/o etanol a partir de material de desecho**”. Este tratamiento busca aprovechar los residuos lignocelulósicos para la producción de biocombustibles. El primer paso consiste en realizar una separación por fases de la biomasa, sometiendo a un proceso de gravedad específica con el fin de obtener fracciones de lignocelulosa separada, ya que este es material principal para la producción de biogás. La separación se realiza al sumergir la materia prima en una solución acuosa en donde una parte se sedimenta mientras que la otra permanece a flote en donde la primera fracción es de baja densidad, mientras que la segunda es la de alta densidad, necesaria para el pretratamiento. Posteriormente la segunda fracción es sometida a un pretratamiento por ultrasonido, en donde la aplicación de ondas de vibraciones genera la ruptura de la estructura lignocelulósica, y luego pasa a un biorreactor a 50 °C en donde se realiza el proceso de digestión a anaeróbica, en donde microorganismos se encargan de digerir la materia prima con una estructura más débil. Este último proceso registra una eficiencia en la producción de biogás de 35 % con respecto a la fracción de biomasa con menor densidad [2]. La última patente tiene por código **US10233570B2** y lleva por título “**Proceso para aumentar la accesibilidad enzimática de una materia prima de biomasa lignocelulósica tratada térmicamente**” tiene como objetivo aumentar la digestibilidad de la celulosa durante la hidrólisis enzimática y el rendimiento general de biogás, en donde se estudia una combinación de pretratamiento de ácido diluido sulfúrico de baja gravedad, El proceso comprende un paso de reducción de escalofríos de fibra, para reducir la cantidad de escalofríos largos. La biomasa lignocelulósica tratada térmicamente después de la reducción de los escalofríos de la fibra se caracteriza por tener una mayor accesibilidad a los glucanos y formar una suspensión que tiene una baja viscosidad [3].

Consolidación de patentes para ecuación de búsqueda #4

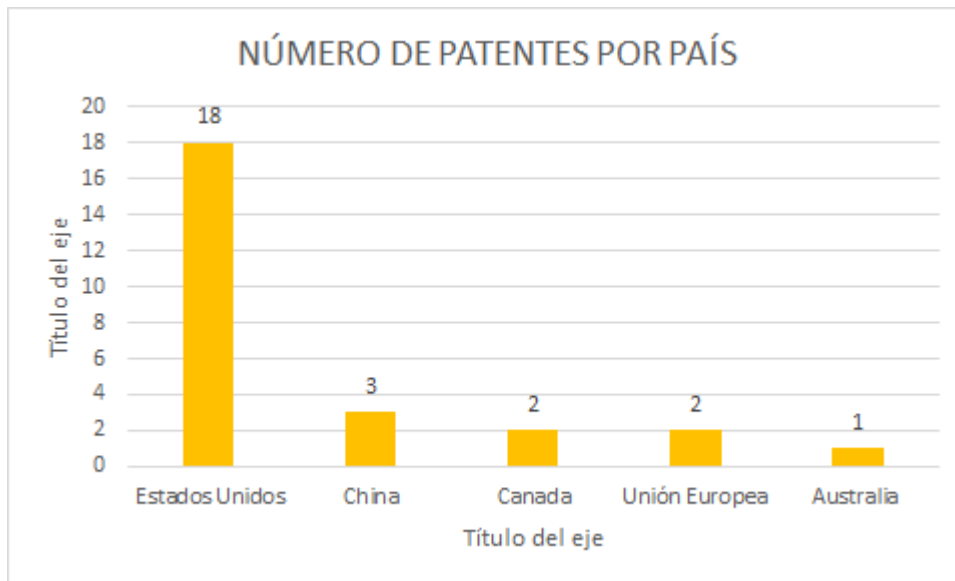
Ecuación de Búsqueda	Código de la Patente	Resumen
(lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)	EA026271B1	La presente invención se refiere, en general, a los métodos de procesamiento de biomasa lignocelulósica a azúcares fermentables y a métodos que dependen del pretratamiento hidrotérmico.

(lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)	WO2016181392A1	El método comprende someter el material de desecho a separación de acuerdo con la gravedad específica, para obtener así una fracción que es una lignocelulosa separada y procesar la lignocelulosa separada para obtener el biogás y / o etanol. Un sistema de biorreactor o biorreactor configurado para procesar la lignocelulosa separada para obtener así el biogás y/o etanol.
(lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)	US10233570B2	Se revela un proceso para aumentar la accesibilidad enzimática de una materia prima de biomasa lignocelulósica tratada térmicamente con un factor de gravedad. El proceso comprende un paso de reducción de escalofríos de fibra, para reducir la cantidad de escalofríos largos. La biomasa lignocelulósica tratada térmicamente después de la reducción de los escalofríos de la fibra se caracteriza por tener una mayor accesibilidad a los glucanos y por formar una suspensión que tiene una baja viscosidad.

Tabla 1. Listado de patentes para la cuarta ecuación de búsqueda
Fuente: Autores

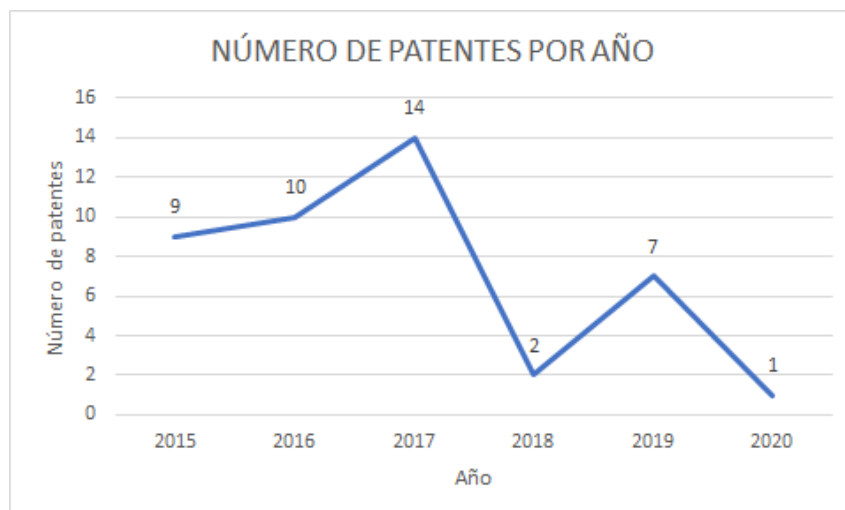
Gráficas para las patentes en Espacenet : Ecuación de Búsqueda # 4

Mediante la ecuación de búsqueda **(lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)** se obtuvieron los datos correspondientes a los países con mayor cantidad de patentes aprobadas como se evidencia en la gráfica 1, arrojando como principales resultados que el país más relevante en investigación es Estados Unidos con 18 patentes aprobadas, seguido por China con 3 patentes aprobadas y por último Canadá y la Unión Europea, cada uno con 2. El país con menor número de patentes, pero que aún así ha estado realizando avances es Australia, al tener 1 sola patente registrada. Lo anterior evidencia que Estados Unidos es el país con la capacidad tecnológica necesaria para poder registrar un gran número de patentes.



Gráfica 1: Cantidad de patentes por país
Fuente: Autores

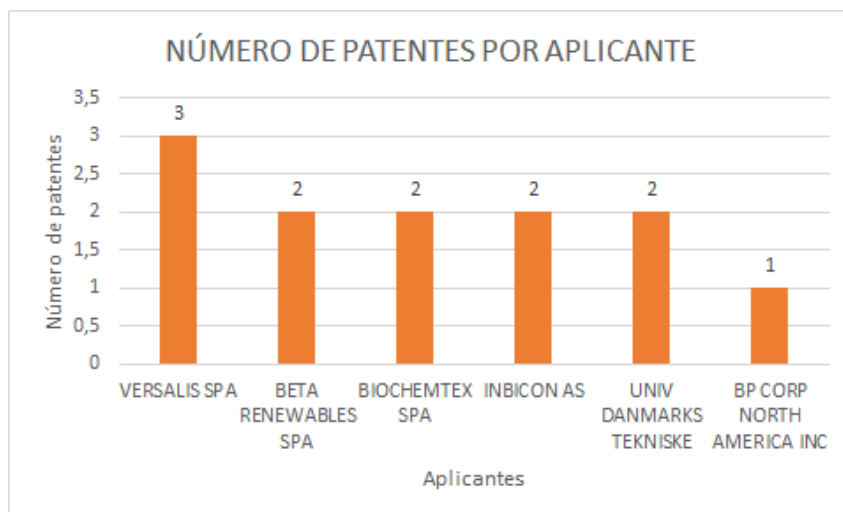
Mediante la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic residues AND pre-treatments AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)***) se obtuvieron los datos de los países con mayor cantidad de patentes aprobadas en un rango de búsqueda de cinco años, que comprende desde el 2015 hasta el 2020 como se evidencia en la gráfica 2. Para esta búsqueda se sintetiza la ecuación de búsqueda con el fin de que los datos de investigación sea mucho más rigurosa, como resultado se obtiene que el año en donde se registró el mayor número de patentes fue 2017 con un total de 14. En el periodo comprendido entre 2015 y 2020 se evidencia un aumento de 9 a 14 durante los primeros 2 años seguido por un descenso drástico para el año 2018, en donde solo se registraron 2 patentes. Posteriormente se evidencia un aumento considerable para el 2019 con 7 patentes registradas y vuelve a disminuir para 2020 en donde solo se realizó 1 registro. La disminución de registros en el último año podría estar relacionada con la pandemia presentada en dicho año, la cual imposibilita la mayoría de las investigaciones o estudios que se estaban llevando a cabo.



Gráfica 2: Cantidad de patentes por aplicantes
Fuente: Autores

Mediante la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic residues AND pre-treatments AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)***) se obtuvieron los datos correspondientes al número de patentes de cada aplicante durante un periodo de 5 años comprendido entre 2015 y 2020 como se evidencia en la gráfica 3, en donde podemos observar que **Versalis Spa** es la entidad con el mayor registro de patentes con un total de 3, esta entidad tiene por objetivo la interacción con los mercados ofreciendo estrategias globales y una cartera de productos

orientada a satisfacer un mercado en constante evolución, centrándose en las actividades de I + D y Licencias y expandiendo aún más su influencia tecnológica y comercial a nivel mundial de la misma manera es una empresa que basa su conocimiento en la bioconversión química de residuos agroindustriales, la siguiente entidad lleva por nombre **Beta Renewables spa** con 2 patentes registradas esta entidad tiene por objetivo producir biomasa celulósica no alimentaria. La Compañía convierte biomasa no alimentaria en azúcares para la producción de bioetanol o bioquímicos. Beta Renewables sirve a sus clientes a nivel internacional. Otra entidad con 2 patentes registradas lleva por nombre **Biochemtex Spa** la cual tiene objetivo generar tecnologías para procesos químicos industriales de recuperación de biomasa agroindustrial, la última entidad tiene 1 patente registrada y lleva por nombre **BP CORP NORTH AMERICA** la cual tiene por objetivo la bioconversión de biomasa lignocelulósica para la producción de biocombustibles de la misma manera enfoca su patente en uno de los tratamiento más eficientes para la bioconversión.



Gráfica 3: Cantidad de patentes por aplicantes
Fuente: Autores

PUBLICACIONES INVESTIGATIVA BASE DATOS SCOPUS :

4. (lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)

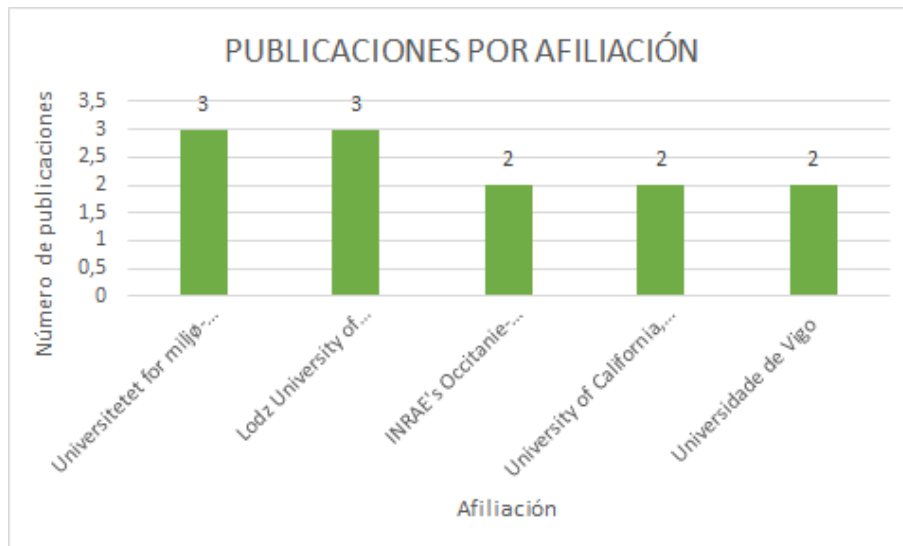
Mediante la ecuación de búsqueda ***lignocellulosic residues AND pre-treatments AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)*** obtuvimos los resultados correspondientes a la cantidad de publicaciones por año como se evidencia en la gráfica 4. Según lo anterior podemos observar en el gráfico 16 que el año con mayor cantidad de publicaciones es 2020 con un total de 5, luego 2016, 2017 y 2019 con 4 publicaciones.



Gráfica 4: Cantidad de publicaciones por año
Fuente: Autores

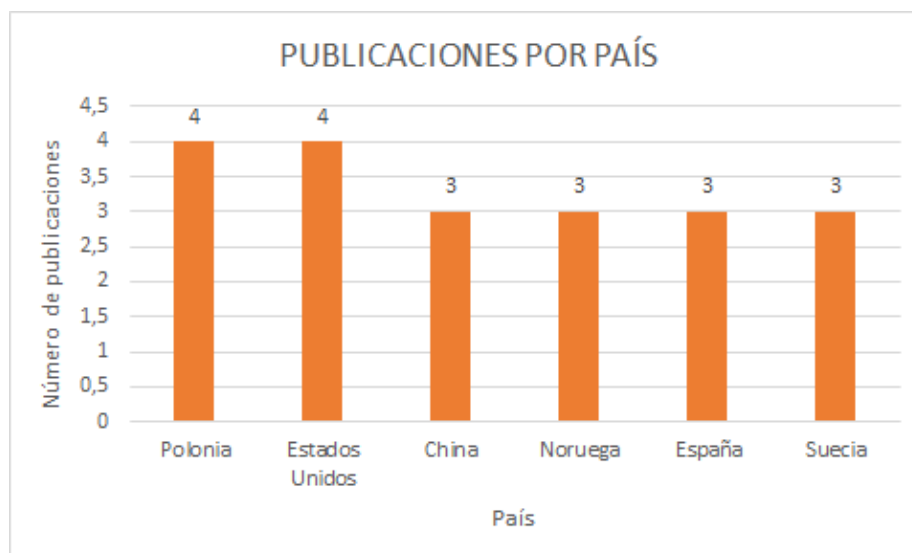
Mediante la ecuación de búsqueda ***(lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)*** obtuvimos los

resultados correspondientes a la cantidad de entidades encargadas de realizar proyectos de investigación y de publicar dichos resultados durante el periodo de tiempo definido como se evidencia en la gráfica 5, arrojando como resultado que la entidad con mayor cantidad de publicaciones es **Universitetet for miljø- og biovitenskap** la cual su línea de investigación principal va enfocada a la innovación de tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa residual, la siguiente entidad tiene por nombre **INRAE OCCITANIE** el centro lleva a cabo investigaciones en biología, biotecnología y agronomía, en ciencias vegetales y animales y gestión de la salud, y en ciencias económicas, sociales y de la información.



Gráfica 5: Cantidad de publicaciones por afiliación
Fuente: Autores

Mediante la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic residues OR pre-treatments***) AND (***biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin OR cellulose OR hemicellulose***) obtuvimos los resultados correspondientes a la cantidad de publicaciones registradas en cada uno de los países dentro de un intervalo de tiempo correspondiente a 5 años. Como se evidencia en la gráfica 6, Polonia y Estados Unidos son los países con mayor cantidad de publicaciones con un total de 4, seguido por China, Noruega, España y Suecia con 3 publicaciones registradas.

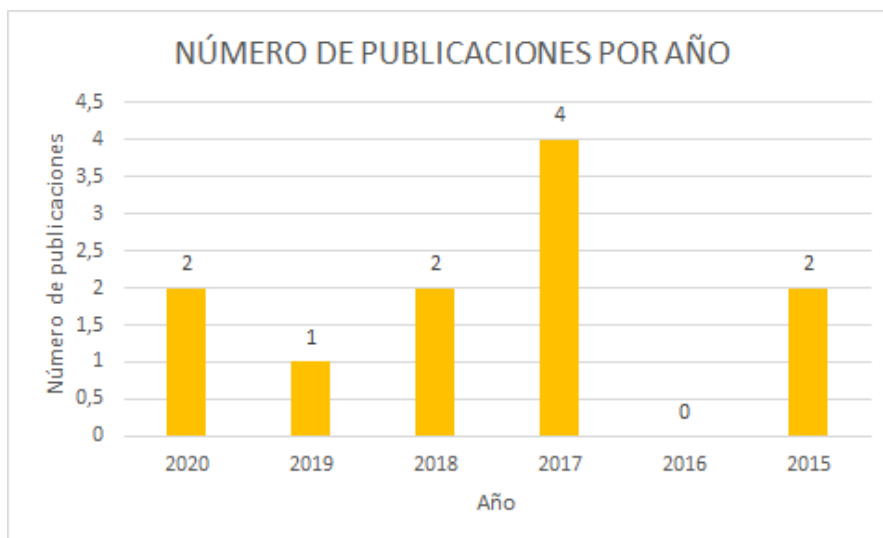


Gráfica 6: Cantidad de publicaciones por país
Fuente: Autores

Gráficas para las publicaciones de la base de datos "DIRECTORY OF OPEN ACCESS JOURNALS"

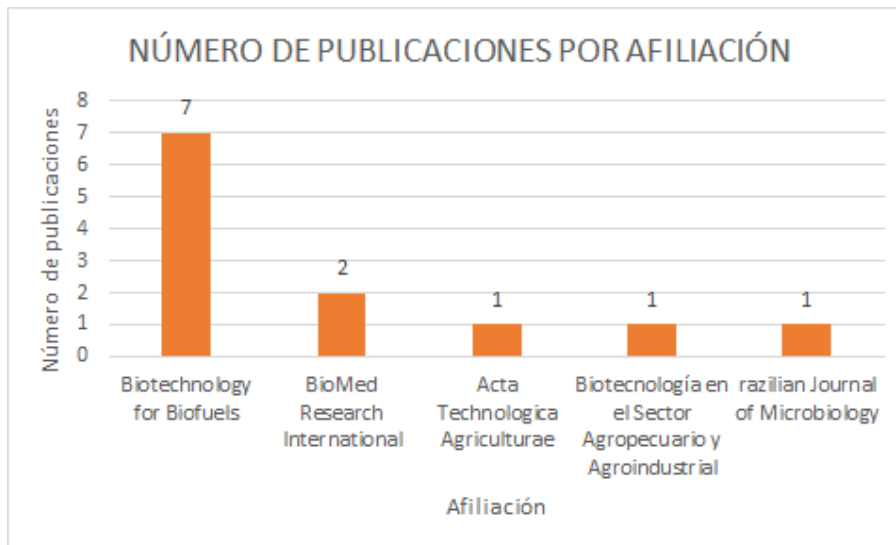
(lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)

Mediante la ecuación de búsqueda **(lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)** se obtuvieron los resultados correspondientes a la cantidad de publicaciones por año como se evidencia en la Gráfica 7. Según lo anterior podemos observar que en el año 2020 hubo un aumento en las publicaciones, ya que se registraron 2 resultados, con respecto al 2019 en donde solo se tiene registro de 1 publicación realizada. Anteriormente en el año 2018 se publicaron 2 documentos registrando una disminución considerable, ya que el el 2017 se registraron 4 documentos. Entre el año 2016 y 2017 se puede observar un gran cambio en el comportamiento de la gráfica debido a un crecimiento considerable de las 4 publicaciones del 2017 en comparación del 2016, en donde no se registró ninguna.



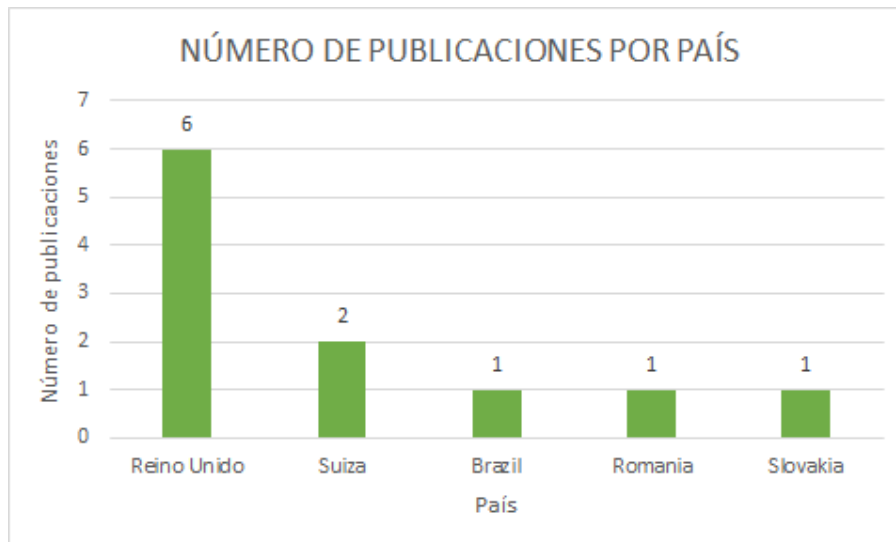
Gráfica 7: Número de publicaciones por año
Fuente: Autores

Mediante la ecuación de búsqueda **(lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)** obtuvimos los resultados correspondientes a la cantidad de revistas científicas encargadas de publicar proyectos de investigación y sus resultados durante el periodo de tiempo definido como se evidencia en la gráfica 8, arrojando como resultado que la revista con el mayor número de publicaciones, al igual que en la ecuación anterior fue **“Biotechnology for Biofuels”**, con un total de 7 publicaciones. La siguiente revista es **“BioMed Research International”** con 2 publicaciones, esta revista es de acceso abierto y realiza publicaciones de artículos relacionados con la investigación, artículos de revisión y estudios clínicos de ciencias de la vida y medicina, seguida por **“Acta Technologica Agriculturae”**, con 1 publicación, la cual es una revista científica internacional centrada en la ingeniería agrícola. La revista es multidisciplinaria y publica una amplia gama de artículos originales de investigación y revisión en ingeniería, ciencias agrícolas y biológicas y ciencia de materiales. Por último se encuentran **“Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial”** una revista enfocada en temas investigativos en el campo de la ciencia, la ingeniería y la tecnología, que hayan tenido impacto en los sectores agrarios, regionales, nacionales e internacionales en temas relacionados a la agroindustria alimentaria y no alimentaria, ciencias agrícolas y pecuarias, ciencias forestales, energía y medio ambiente, biotecnología, equipos y procesos y administración industrial y **“Brazilian Journal of Microbiology”** que es una revista internacional, la cual cubre las investigaciones sobre aspectos fundamentales y aplicados de la microbiología. Los documentos publicados están registrados bajo las siguientes temáticas: Patogénesis bacteriana y fúngica, Biología molecular bacteriana, fúngica y viral, Biotecnología y microbiología industrial, Microbiología clínica, Microbiología medioambiental, Microbiología alimentaria, Fisiología fúngica y bacteriana, Microbioma humano y Microbiología veterinaria.



Gráfica 8: Número de publicaciones por afiliación
Fuente: Autores

Mediante la ecuación de búsqueda ***(lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)*** se obtuvieron los resultados correspondientes a la cantidad de publicaciones registradas en cada uno de los países dentro de un intervalo de tiempo correspondiente a 5 años, como se evidencia en la gráfica 9 arrojando como resultado que el país con mayor número de publicaciones es **Reino Unido** con 6 publicaciones. Reino Unido se caracteriza por su investigación en el aumento de la producción de biogás a partir del forraje ensilado, así como el ensilado de maíz y el estiércol de cerdo, utilizando pretratamientos efectivos como la explosión de vapor, la digestión anaeróbica y la pirólisis rápida, esta última se realiza en un reactor fluidizado, el cual se calienta de manera eléctrica. Posteriormente se encuentra **Suiza**, con 2 publicaciones reportadas, las cuales proponen la aplicación de un pretratamiento fúngico a la biomasa, en donde se utilizan hongos en descomposición para romper la estructura de la lignina y mejorar la digestión, optimizando la producción de biogás, además de una estrategia basada en el aumento de los rendimientos de la sacarificación enzimática producida en biomasa pretratada. Luego se encuentra **Brasil** con 1 publicación, la cual nos habla de la forma en que se produce el hidrógeno fermentativo a partir de sustratos lignocelulósicos agroindustriales. Para esto se deben considerar los residuos derivados de actividades agroindustriales, ya que estos se caracterizan por ser materiales económicos. En esta revisión se presentan los datos obtenidos en condiciones termofílicas, en donde el rendimiento obtenido de H₂ es aproximadamente un 75% más alto que el obtenido en condiciones mesofílicas utilizando sustratos lignocelulósicos no tratados, ya que si el material estuviera pretratado el resultado sería aproximadamente un 50% más alto en comparación con el rendimiento medio alcanzado. Por último podemos encontrar a Rumanía y Eslovaquia, con 1 sola publicación para ambos casos. La publicación realizada en **Rumanía** se trata de una revisión realizada a los pretratamientos más eficaces para la optimización de la degradación de desechos lignocelulósicos al realizarse la digestión anaeróbica, mientras que para **Eslovaquia** se habla en un contexto más general acerca de los diversos pretratamientos físicos y químicos que han venido utilizando para la producción de bioetanol a partir de biomasa o residuos lignocelulósicos.



Gráfica 9: Número de publicaciones por país
Fuente: Autores

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO VOSviewer: Base datos Scopus

Ecuación Búsqueda #4: (*lignocellulosic residues AND pre-treatments*) AND (*biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose*)

Para la ecuación de búsqueda (*lignocellulosic residues AND pre-treatments*) AND (*biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose*) se realizó un análisis bibliométrico con el programa VOSviewer como se muestra en la figura 1, en donde se puede observar que el país con el mayor número de citas es **Irlanda**, con un total de 231 citas para el único documento publicado por este país. Dicho documento habla sobre las ventajas y los obstáculos que se producen en la planeación y aplicación de las estrategias de pretratamientos para la producción de biogás. Este artículo habla acerca de la estructura de la lignocelulosa y cómo su resistencia ante la eficacia de los pretratamientos influye en la degradación enzimática, por esta razón es necesario hacer énfasis en el descubrimiento de nuevos pretratamientos o las optimizaciones de los ya existentes para mejorar la producción de biogás [4]. Para concluir, el artículo habla sobre los inhibidores producidos después del pretratamiento y las estrategias necesarias para eliminarlos.

El segundo país con el mayor número de citas es **India** con 103 citas para el único documento publicado por este país, en donde se realiza una investigación acerca de las formas en las que puede ser reutilizada la paja de arroz, uno de los residuos lignocelulósicos más abundantes en este país. Al ser utilizada para la generación de energía, en este caso mediante la producción de biogás, se presenta la problemática relacionada a la estructura de la lignina y su dificultad para digerir. Este estudio plantea el uso de la especie *Orpinomyces joyonii*, un hongo de tipo anaeróbico capaz de digerir la biomasa, como método de pretratamiento para optimizar la producción de biogás y metano [5]. Como resultado se obtiene un aumento en la eficacia de la producción de 25,04% para el biogás y 38,41% para el metano.

Luego se encuentra **España** con 57 citas para los 3 documentos publicados. Este país realiza una investigación acerca de cómo los residuos lignocelulósicos provenientes de actividades agrícolas pueden ser utilizados como materia prima para la producción de biogás. Para el caso concreto de España se utilizan los residuos de maíz, pero debido a su estructura son muy complejos de digerir anaeróbicamente. Debido a esto se plantea realizar un pretratamiento de extrusión, combinado con pretratamiento alcalino para lograr un aumento en la eficacia de la producción de biogás [6]. Como resultado se obtiene que la producción de biogás aumenta en un 22,3% para los residuos lignocelulósicos pretratados en comparación a aquellos sin pretratamiento.

El siguiente país con mayor número de publicaciones es **Francia**, que cuenta con un total de 51 documentos registrados. En donde se realiza un estudio acerca de la recuperación de las pajitas de colza, ya que estas presentan un gran potencial como materia prima para la producción de biocombustibles. Para esto es necesario que las enzimas tengan fácil acceso a los azúcares presentes en el residuo lignocelulósico que se está utilizando, por lo que es necesario aplicar un pretratamiento efectivo. En este estudio se evalúan 3 tipos de pretratamientos distintos: por

microondas, por descargas eléctricas y por ultrasonidos, todos en dos rango de tiempo correspondientes a 10 y 40 minutos [7]. Como resultado se obtiene que en el rango de 10 minutos, el proceso de eliminación de lignina aumenta satisfactoriamente en 28,3% para microondas, 28,6% para las descargas eléctricas y 31,2% para los ultrasonidos, al igual que en el rango de 40 minutos, en donde los resultados aumentaron en 38,4%, 41,5% y 42,3% respectivamente.

Por último tenemos a **Estados Unidos**, que cuenta con un total de 19 documentos publicados. En donde se lleva a cabo un estudio que tiene como objetivo principal examinar los efectos de la aplicación de dos pre tratamientos de cavitación, uno acústico y el otro hidrodinámico, esto con el fin de optimizar la digestión enzimática. El pretratamiento de cavitación acústica es aplicado a celulosa microcristalina y bagazo de caña de azúcar tratado con cal, mientras que el pretratamiento acústico hidrodinámico se aplica a bagazo de caña de azúcar tratado con cal, solo que este se encuentra crudo [8]. Como resultado se obtuvo que la cavitación acústica fue satisfactoria para la celulosa microcristalina, aumentando un 37 % la digestión enzimática, mientras que para el bagazo de caña no se observa diferencia alguna, y para el pretratamiento de cavitación hidrodinámica, el resultado fue un aumento de 46%.

Red bibliométrica “Citaciones Vs País”



*Figura 1: Red bibliométrica Citaciones Vs País
Fuente: Autores*

Para la ecuación de búsqueda (**lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)** se realizó un análisis bibliométrico con el programa VOSviewer como se muestra en la figura 2, Para realizar dicho análisis se tuvo en cuenta el parámetro relacionado con citas y documentos, arrojando como resultado que el documento más citado lleva por nombre **“A comprehensive review on pre-treatment strategy for lignocellulosic food industry waste: Challenges and opportunities”** con 231 citas en total. El cual hace énfasis en todos los obstáculos que se pueden llegar a presentar al aplicar algún tipo de pretratamiento para el aumento de la efectividad de la digestión anaeróbica de la biomasa lignocelulósica, pero también sobre las ventajas que tiene aplicar dichos pretratamientos. Entre los más relevantes se encuentra el pretratamiento de oxidación acuosa. Este pretratamiento se aplica con el fin de descomponer la estructura de los residuos lignocelulósicos. Esta técnica tiene el mismo fundamento que el pretratamiento por explosión de vapor, en donde la biomasa se somete a altas presiones y temperaturas, a diferencia de que esta se realiza en condiciones acuosas que puedan facilitar la digestión enzimática. En este estudio se realiza la prueba de aplicación del pretratamiento a la hierba de centeno como materia prima, la cual alcanzó a lograr un aumento del

93,6% en el proceso de hidrólisis enzimática y 75,5% en la producción de azúcares y un rendimiento en la producción de biogás de 38,3% [9]. El segundo documento con más citaciones fue “**Recent trends in the pretreatment of lignocellulosic biomass for value-added products**” con 102 citaciones, en donde se habla acerca de la biomasa, y como ha sido considerada como una de las fuentes biológicas más abundantes, con una producción aproximada de 1.300 millones de toneladas por año [10]. En este estudio se realiza el análisis de la aplicación de un pretratamiento fundamentado en el uso de hongos de podredumbre blanca para facilitar la digestión anaeróbica de los residuos lignocelulósicos. Para el desarrollo de este estudio se utilizan los tallos de bambú como materia prima para la evaluación del pretratamiento, aplicando una cepa de **Ceriporiopsis subvermispora** para la digestión de la biomasa. Como resultados se obtuvo que la eficiencia en el proceso de degradación de la lignina aumentó un 50% y un aumento en la producción de biogás de 32%. El siguiente documento con la mayor cantidad de citaciones es “**Extrusion and enzymatic hydrolysis as pretreatments on corn cob for biogas production**” con 86 citaciones, el cual habla acerca de los residuos agrícolas con mayor capacidad para la producción de biogás, pero su estructura no permite que este proceso sea realizado de una manera tan sencilla por tanto requiere de la aplicación de un pre tratamiento. En este estudio se analizan las posibles formas en las cuales los residuos de maíz pueden ser utilizados y aprovechados para la producción de biocombustibles. En este estudio se plantea la aplicación del pretratamiento de extrusión, mediante el cual se busca modificar la composición de la biomasa lignocelulósica [11]. Como resultado se obtiene que la producción de biogás aumenta en un 25,8 % para los residuos lignocelulósicos pretratados en comparación a aquellos sin pretratamiento.

Red bibliométrica “Citaciones Vs Documentos”

bundhoo m.a.z. (2015)

pérez-rodríguez n. (2017)

ravindran r. (2016)

baruah j. (2018)



nitsos a. (2015)

Figura 2: Red bibliométrica Citaciones Vs Documentos
Fuente: Autores

Para la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic residues AND pre-treatments***) AND (***biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose***) se realizó un análisis bibliométrico con el programa VOSviewer como se muestra en la figura 16. Como se puede evidenciar en la figura 3, al igual que en la ecuación anterior el autor con el mayor número de citaciones es **Carrere. H** con un total de 259 citaciones. El trabajo realizado por esta autora está enfocado en otorgar un valor agregado a la biomasa lignocelulósica mediante procesos de aprovechamiento, así como la generación de propuestas en investigación de tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica con sus respectivos rendimientos enfocados hacia la producción de biogás. El siguiente autor más citado es **Antonopoulou. G** con 307 citaciones. Esta autora, ingeniera química, ha desarrollado gran parte de su trabajo en el campo de la investigación para la producción de biocombustibles como biogás, biohidrógeno, metano, bioetanol y biodiesel a partir de la mejora en la digestión anaeróbica del material lignocelulósico. Y por último está **Lyberatos G**, también con 307 citaciones, quien ha desarrollado estudios representativos sobre la generación de biocombustibles utilizando material lignocelulósico como materia prima, la producción de hidrógeno fermentativo, la digestión anaeróbica de la biomasa para generar un aumento en la

producción de biogás y los efectos de la temperatura y el pH sobre la tasa de crecimiento específica máxima efectiva de bacterias nitrificantes.

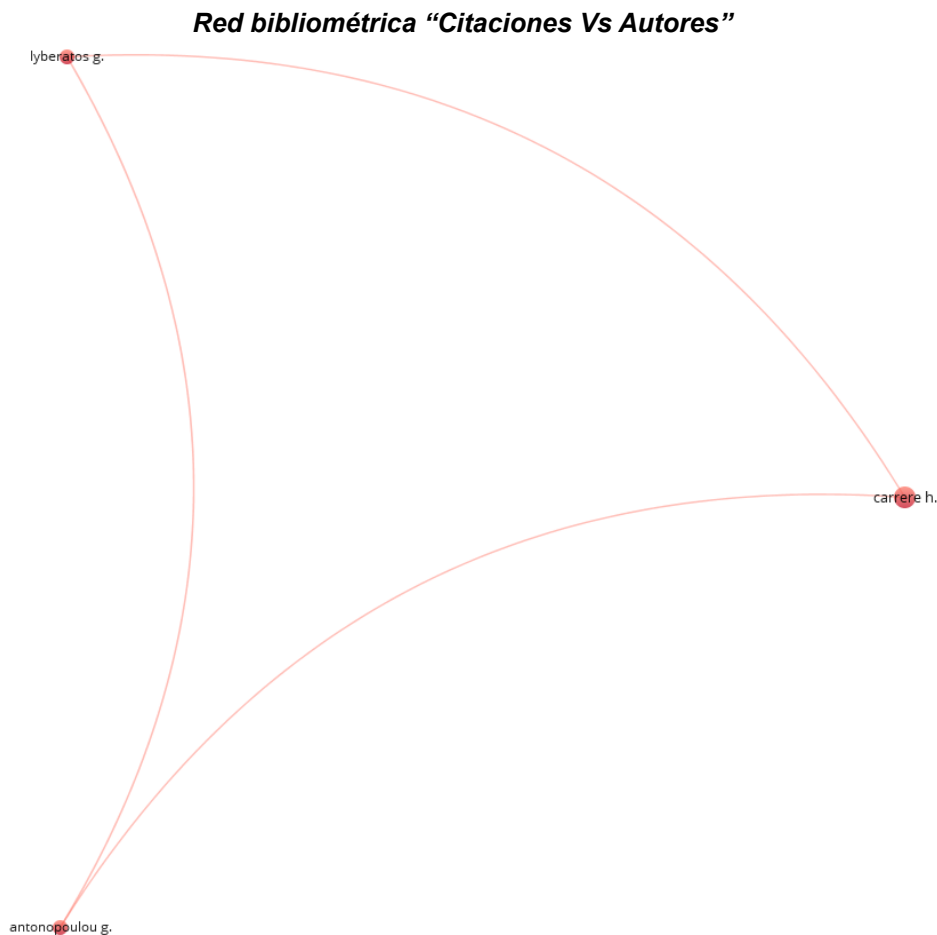


Figura 3: Red bibliométrica Citaciones Vs Autores
Fuente: Autores

Para la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic residues AND pre-treatments) AND (biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose)*** se realizó un análisis bibliométrico con el programa VOSviewer como se muestra en la figura 4, Para realizar dicho análisis se tuvo en cuenta el parámetro relacionado con Incidencia y Palabras claves arrojando como resultado que las más mencionadas fueron, **Lignin** con un total de 18 citaciones, **Biogás** con 16 citaciones, posteriormente está **Hydrolysis** con un total de 15 citaciones y por último se encuentra **Cellulose** con 14 citaciones y por último **Lignocellulose** con 12 citaciones en total.

Red bibliométrica "Incidencia Vs Palabras Claves"

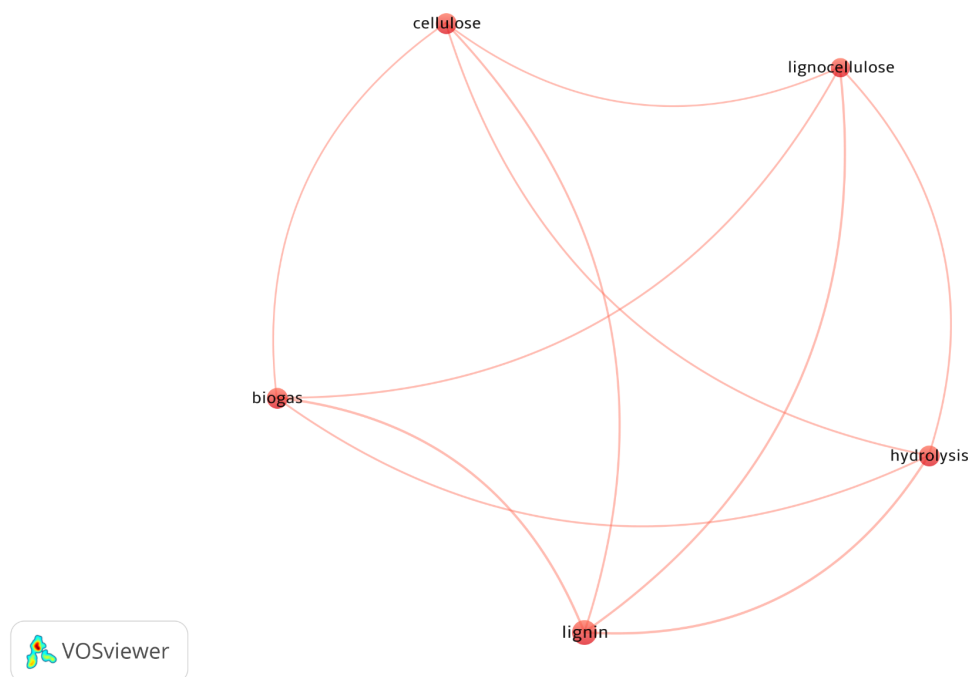


Figura 4: Red bibliométrica Incidencia Vs Palabras Claves
Fuente: Autores

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO EXCEL : Base de datos DOAJ

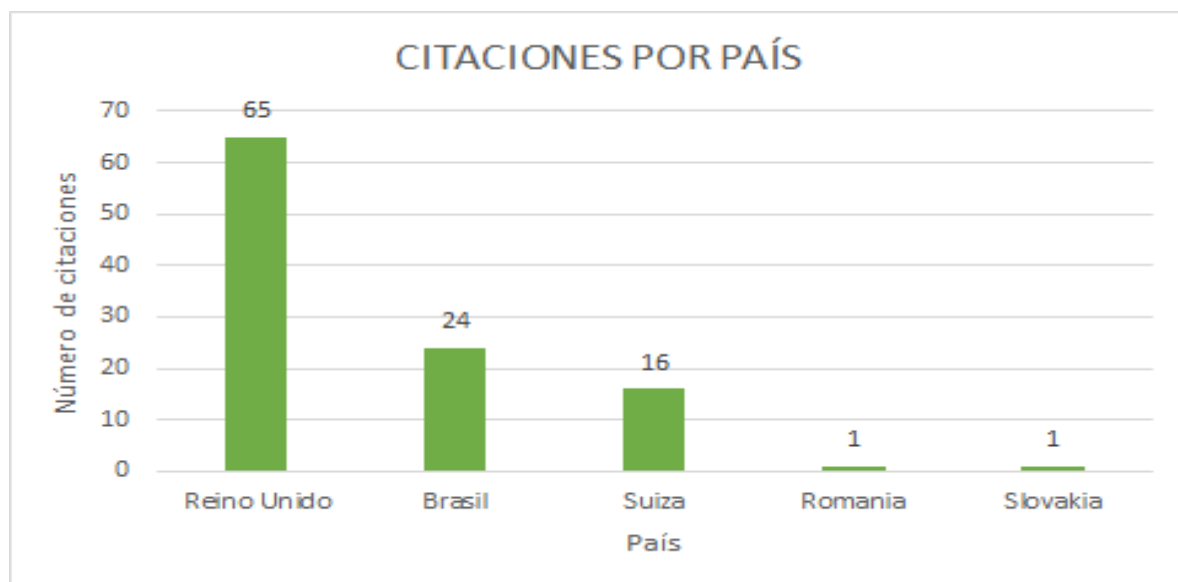
Ecuación Búsqueda #4: (*lignocellulosic residues AND pre-treatments*) AND (*biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose*)

Para la ecuación de búsqueda (*lignocellulosic residues AND pre-treatments*) AND (*biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose*) se realizó un análisis bibliométrico como se muestra en la gráfica 9. Como resultado se obtuvo que el país con el mayor número de citas, con un total de 65, es **Reino Unido**. Al igual que la ecuación anterior se denota el enfoque de este país por realizar estudios en donde se combina pretratamientos, entre mecánicos y termo alcalino para poder pretratar la biomasa y así aumentar la eficiencia de la producción de biogás. Para la obtención de resultados se realiza una comparación entre biomasa pretratada y sin pretratar, en donde se evidencia un aumento del 49,2% más alto en la muestra con pretratamiento. También se realiza el análisis cromatográfico para verificar el aumento, el cual da como resultado que el contenido de CH₄ y CO₂ de ambos experimentos era de 65 ± 1,5%; 21 ± 3% y 53,5 ± 2,5%; 26 ± 3%, respectivamente. Como resultado se obtiene que la combinación de diferentes métodos de pretratamiento mejora de manera efectiva el rendimiento de biogás de los sustratos digeridos. También se realiza un pretratamiento enzimático de material lignocelulósico mediante el cual se genera un aumento en la producción de biogás, mediante la combinación entre enzimas, y diferentes pretratamientos fisicoquímicos para poder mejorar el resultado, pero para esto se debe modificar la estructura de la lignina, ya que esta es recalcitrante y disminuye la eficiencia del biogás, por lo que es recomendable aplicar un tratamiento con digestores anaeróbicos in situ más simple, esto con el fin de examinar el efecto producido por las enzimas endógenas dentro de las comunidades microbianas metanogénicas [12]. Como resultado se obtiene un aumento significativo en la tasa y rendimiento de producción de biometano, debido a que la solución de enzima tiene un efecto instantáneo sobre el material celulósico más fácilmente disponible y también afecta la tasa de producción de biogás a partir de material celulósico.

El siguiente país es **Brasil** con 24 citas. En este país se pretende lograr un aumento en la producción de hidrógeno biológico. Para poder realizarlo es necesario considerar los residuos de sustratos lignocelulósicos derivados de actividades agroindustriales como los materiales económicos. Es posible emplear materiales lignocelulósicos que no tengan ningún tipo de pretratamiento o que ya hayan pasado por una etapa de pretratamiento o hidrolizados que hayan sido originados en una etapa de pretratamiento seguida de hidrólisis enzimática. De acuerdo con los datos, bajo condiciones termofílicas adecuadas, la producción de H₂ es aproximadamente un 75% más alta que la obtenida en condiciones mesofílicas utilizando sustratos lignocelulósicos no tratados, ya que en el material

pretratado la producción media es de $3,17 \pm 1,79$ mmol de H₂ / g de sustrato, que es aproximadamente un 50% más alto en comparación con el rendimiento medio alcanzado con materiales no tratados, donde el resultado es de $2,17 \pm 1,84$ mmol de H₂ / g de sustrato. Al ser tan efectivo este pretratamiento, se puede determinar que la producción aproximada de biogás tiene una eficiencia de 53,6% [13].

El siguiente país, con un total de 16 citaciones, es **Suiza**, en donde se realizó un estudio acerca de las mezclas de enzimas celulolíticas. Ya sean adquiridas por medio de un proveedor comercial o sean aisladas de un secretoma microbiano celulolítico único, las enzimas no hidrolizan de manera eficiente los residuos de cultivos agrícolas lignocelulósicos pretratados con amoníaco, en este caso el rastrojo de maíz en azúcares fermentables. La carga enzimática necesaria para poder lograr un rendimiento mayor al 90% en un lapso de tiempo de 24 a 48 horas es de 30 a 100 mg de proteína / g de glucano, sin embargo, este enfoque está limitado por la selección de enzimas heterólogas disponibles o el trabajo requerido para aislar enzimas de baja abundancia directamente de los secretomas microbianos. Para realizar este estudio se adquirieron catorce enzimas celulolíticas y hemicelulolíticas obtenidas en mercados correspondientes a compañías de enzimas líderes como Novozymes, Genencor y Biocatalysts, luego se realizó una mezcla para generar varios cientos de combinaciones únicas de cócteles [14]. Las combinaciones óptimas de mezclas de enzimas identificadas a partir de estos ensayos de selección se enriquecieron en varias hemicelulosas de baja abundancia y enzimas accesorias que normalmente están ausentes en la mayoría de los cócteles comerciales de celulasas y permitieron una reducción drástica en los requerimientos de enzimas totales con un resultado de 30 a 7.5 mg de enzima / g de carga de glucano .



Gráfica 9: Número de citaciones por país
Fuente: Autores

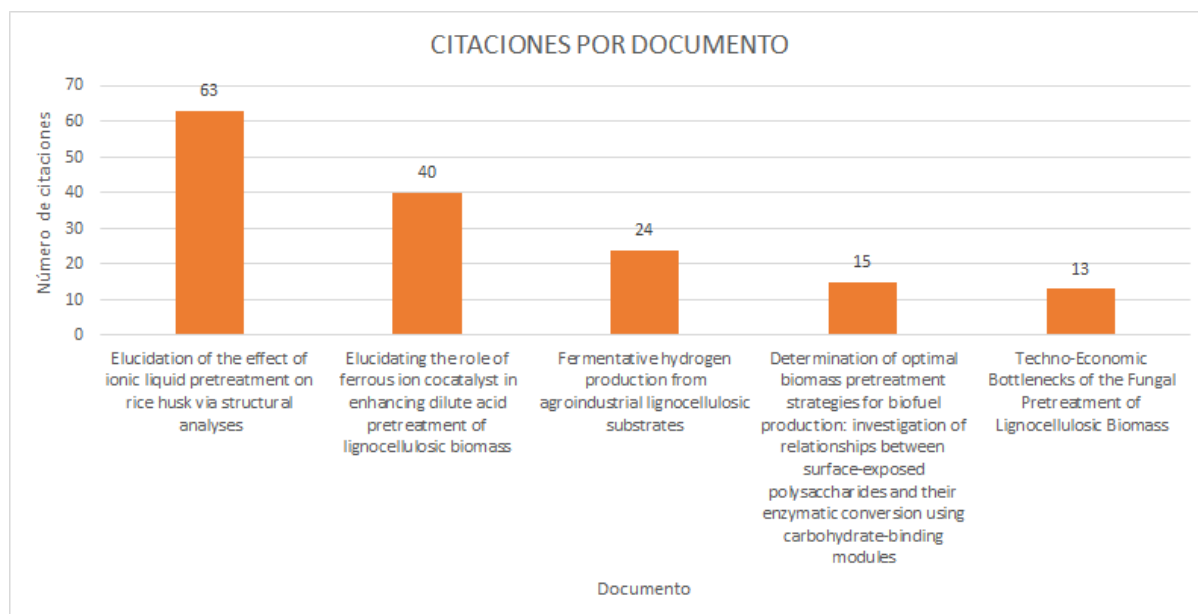
Para la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic residues AND pre-treatments***) AND (***biogas AND enzymatic hydrolysis AND lignin AND cellulose AND hemicellulose***) se realizó un análisis bibliométrico con la plataforma Excel como se muestra en la gráfica 10, Para realizar dicho análisis se tuvo en cuenta el parámetro relacionado con citaciones y documentos, arrojando como resultado que el documento más citado lleva por nombre “**Elucidation of the effect of ionic liquid pretreatment on rice husk via structural analyses**” con 63 citaciones. En este estudio se evalúa la aplicación del pretratamiento de aplicación de líquidos iónicos, este caso fueron cloruro de 1-butil-3-metilimidazolio ([BMIM] Cl), acetato de 1-etil-3-metilimidazolio ([EMIM] OAc) y dietilfosfato de 1-etil-3-metilimidazolio ([EMIM] DEP), los cuales se utilizan para realizar una disolución parcial de la cáscara de arroz con el fin de luego regenerar la celulosa mediante la adición de agua. El principal objetivo de esta investigación es estudiar cuales son las posibles implicaciones de la aplicación de líquidos iónicos en la composición y estructura de la cáscara de arroz. Para el análisis de resultados se emplea la espectroscopia de infrarrojo transformada de Fourier de reflectancia total atenuada (ATR FT-IR), difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Al realizar la electroscopia se determina que la celulosa regenerada presenta alteraciones en su estructura y una figura más amorfa en comparación a la cáscara de arroz sin tratar, y que el principal componente de la celulosa que se regenera en los pretratamientos de [BMIM] es el material rico en celulosa,

mientras que para la celulosa regenerada a partir de [EMIM] fue una matriz de celulosa y lignina. La estructura resultante en la cáscara de arroz luego de la aplicación de los pretratamientos pueden ser usados para la fermentación o derivación posterior de compuestos celulósicos o bio combustibles, en este caso para la producción de biogás, en donde se presenta una eficiencia de 42,1% [15].

El siguiente documento lleva por nombre **“Integrated waste treatment system combining biogas technology and pyrolysis”** y cuenta con 24 citaciones. En este estudio se evalúa la producción de biocombustibles teniendo en cuenta los residuos de sustratos lignocelulósicos producto de diferentes actividades agroindustriales como materiales económicos. Estos materiales pueden ser utilizados sin pretratamiento alguno, después de alguna etapa de pretratamiento o hidrolizados resultantes de un proceso de hidrólisis. La producción aproximada obtenida a partir de material pretratado es de $3,17 \pm 1,79$ mmol de H_2 / g de sustrato, lo que corresponde aproximadamente a un rendimiento 50% más eficiente en comparación con el obtenido a partir de materiales sin tratar, en donde los resultados fueron $2,17 \pm 1,84$ mmol de H_2 / g de sustrato. En el caso de la aplicación de un pretratamiento biológico el rendimiento más alto que se obtiene es de $4,54 \pm 1,78$ mmol de H_2 / g de sustrato en comparación con el resultado obtenido al aplicar un pretratamiento ácido y básico, en donde el rendimiento fue de $2,94 \pm 1,85$ y $2,41 \pm 1,52$ mmol de H_2 / g de sustrato. Como conclusión realizar la conversión de los sustratos lignocelulósicos mediante el uso de microorganismos fermentativos es una buena opción para producir biogás de manera sostenible, ya que presenta un aumento en la producción de biogás de 43,8% [16].

El siguiente documento lleva por nombre **“Determination of optimal biomass pretreatment strategies for biofuel production: investigation of relationships between surface-exposed polysaccharides and their enzymatic conversion using carbohydrate-binding modules”** el cual cuenta con 15 citaciones. En este estudio se evalúa el pretratamiento de agua caliente y extrusión de álcali para residuos lignocelulósicos de rastrojo de alfalfa y los residuos provenientes de cultivos de maíz. Para la aplicación del primer pretratamiento se realiza una mezcla entre el agua y una determinada cantidad de residuo lignocelulósico, en este caso solo el 10%, durante un lapso de 1 hora a una temperatura constante de $121\text{ }^\circ\text{C}$ y 1.02069 atm. Para poder aplicar el segundo pretratamiento, es necesario el uso de una extrusora, en donde se realiza una mezcla entre un 20% de la biomasa y una solución de NaOH al 5%, posteriormente se realiza el proceso de extrusión durante un tiempo de 30 minutos a 200 rpm y una temperatura constante de $180\text{ }^\circ\text{C}$. Como resultado se obtuvo que en el pretratamiento de extrusión disminuye el contenido de lignina en un 38,6% y para el de agua caliente se reduce un 34,5%, lo cual facilita la digestión anaeróbica, lo que permite obtener una eficiencia de 25,9 en la producción de biogás [17].

Por último está el documento que lleva por nombre **“Techno-Economic Bottlenecks of the Fungal Pretreatment of Lignocellulosic Biomass”** con 13 citaciones. El objetivo de este estudio es evaluar la eficiencia al aplicar un pretratamiento basado en el uso de hongos en descomposición para optimizar la digestión enzimática y disminuir la recalcitrancia de la estructura de la biomasa lignocelulósica a bajas temperaturas y sin la necesidad de aplicar productos químicos y evitando la generación de aguas residuales. Sin embargo los tiempos de aplicación del pretratamiento es muy larga y el rendimiento de la generación de biogás es mucho menor. También se evalúa la viabilidad económica para una instalación en donde se pueda realizar un pretratamiento a los hongos que se van a utilizar en la producción de azúcares. Esta instalación tendría una superficie de 75.700 m³ y con una capacidad de 20 millones de galones por año. Para realizar este estudio se evaluaron 4 tipos diferentes de material lignocelulósico: rastrojo de maíz, residuos agrícolas, pastos perennes y madera dura. Como resultado se obtiene que el rastrojo de maíz tiene el costo de producción más bajo con un costo de 1,6 \$/kg de material lignocelulósico, en comparación con los demás materiales lignocelulósicos, los cuales tuvieron un costo de 1.7 \$/kg para pastos perennes, 2.0 \$/kg para residuos agrícolas distintos del rastrojo de maíz y 2.8 \$/kg para madera dura. La implementación de esa instalación conlleva un gasto mayor debido a los equipos necesarios para aumentar los rendimientos del azúcar, la cantidad de tiempo necesaria para la descomposición de los hongos y los tiempos necesarios para la aplicación del pretratamiento. Debido a estos inconvenientes, la tecnología de pretratamiento a partir de hongos no es tan viable económicamente con respecto a los pretratamientos convencionales, pese a que se demuestra que este pretratamiento tiene una eficiencia de producción de biogás del 47,2% [18].



Gráfica 10: Número de citaciones por documento
Fuente: Autores

Bibliografía :

- [1] N. Nielsen, D. Jeppensen, J. Larsen, and K. Mogensen, "METHODS OF PROCESSING LIGNOCELLULOSIC BIOMASS USING SINGLE-STAGE AUTOHYDROLYSIS AND ENZYMATIC HYDROLYSIS WITH C5 BYPASS AND POST-HYDROLYSIS," *Espacenet*, 31-Mar-2013. [Online]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/059422105/publication/EA026271B1?q=EA026271B1>. [Accessed: 15-May-2021].
- [2] Y. Tamir, "PRODUCTION OF BIOGAS AND/OR ETHANOL FROM WASTE MATERIAL," *Espacenet*, 17AD. [Online]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/057247803/publication/WO2016181392A1?q=WO2016181392A1>. [Accessed: 15-May-2016].
- [3] D. Giordano, P. Ottonello, P. Pastorino, and P. Torre, "Process for increasing the enzymatic accessibility of a thermally treated ligno-cellulosic biomass feedstock," *Espacenet*, 19-Mar-2019. [Online]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/051982523/publication/US10233570B2?q=US10233570B2>. [Accessed: 15-May-2021].
- [4] H. Carrere, G. Antonopoulou, R. Affes, F. Passos, A. Battimelli, G. Lyberatos, and I. Ferrer, "Review of feedstock pretreatment strategies for improved anaerobic digestion: From lab-scale research to full-scale application," *Bioresource Technology*, 10-Sep-2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852415012754>. [Accessed: 15-May-2021].
- [5] H. Carrere, G. Antonopoulou, R. Affes, F. Passos, A. Battimelli, G. Lyberatos, and I. Ferrer, "Review of feedstock pretreatment strategies for improved anaerobic digestion: From lab-scale research to full-scale application," *Bioresource Technology*, 10-Sep-2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852415012754>. [Accessed: 15-May-2021].
- [6] N. Pérez-Rodríguez, D. García-Bernet, and J. M. Domínguez, "Extrusion and enzymatic hydrolysis as pretreatments on corn cob for biogas production," *Renewable Energy*, 17-Feb-2017. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148117301167>. [Accessed: 15-May-2021].

- [7] M. Brahim, S. E. Kantar, N. Boussetta, N. Grimi, N. Brosse, and E. Vorobiev, "Delignification of rapeseed straw using innovative chemo-physical pretreatments," *Biomass and Bioenergy*, 30-Sep-2016. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953416303166>. [Accessed: 15-May-2021].
- [8] M. Zieliński, M. Dębowski, M. Kisielewska, A. Nowicka, M. Rokicka, and K. Szwarc, "Cavitation-based pretreatment strategies to enhance biogas production in a small-scale agricultural biogas plant," *Energy for Sustainable Development*, 17-Jan-2019. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082618306410>. [Accessed: 15-May-2021].
- [9] R. Ravindran and A. K. Jaiswal, "A comprehensive review on pre-treatment strategy for lignocellulosic food industry waste: Challenges and opportunities," *Bioresource Technology*, 04-Aug-2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852415010779>. [Accessed: 15-May-2021].
- [10] J. Baruah, B. K. Nath, R. Sharma, S. Kumar, R. C. Deka, D. C. Baruah, and E. Kalita, "Recent trends in the pretreatment of lignocellulosic biomass for value-added products," *Mendeley*, 01-Jan-1970. [Online]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/db6551f2-e9cc-3c70-aa8e-98e7781886d1/>. [Accessed: 15-May-2021].
- [11] N. Pérez-Rodríguez, D. García-Bernet, and J. M. Domínguez, "Extrusion and enzymatic hydrolysis as pretreatments on corn cob for biogas production," *Renewable Energy*, 17-Feb-2017. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148117301167>. [Accessed: 15-May-2021].
- [12] H. Wei, B. S. Donohoe, T. B. Vinzant, P. N. Ciesielski, W. Wang, L. M. Gedvilas, Y. Zeng, D. K. Johnson, S.-Y. Ding, M. E. Himmel, and M. P. Tucker, "Elucidating the role of ferrous ion cocatalyst in enhancing dilute acid pretreatment of lignocellulosic biomass," *Biotechnology for Biofuels*, 10-Nov-2011. [Online]. Available: <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/1754-6834-4-48>. [Accessed: 15-May-2021].
- [13] V. Reginatto and R. V. Antônio, "Fermentative hydrogen production from agroindustrial lignocellulosic substrates," *CORE*, 01-Jan-1970. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/display/246288562>. [Accessed: 15-May-2021].
- [14] S. P. S. Chundawat, N. Uppugundla, D. Gao, P. G. Curran, V. Balan, and B. E. Dale, "Shotgun Approach to Increasing Enzymatic Saccharification Yields of Ammonia Fiber Expansion Pretreated Cellulosic Biomass," *Frontiers*, 19-Apr-2017. [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2017.00009/full>. [Accessed: 15-May-2021].
- [15] T. N. Ang, G. C. Ngoh, A. S. M. Chua, and M. G. Lee, "Elucidation of the effect of ionic liquid pretreatment on rice husk via structural analyses," *Biotechnology for Biofuels*, 07-Sep-2012. [Online]. Available: <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/1754-6834-5-67>. [Accessed: 15-May-2021].
- [16] R. Isemin, D. Klimov, O. Larina, A. Mikhalev, and V. Zaitchenko, "Integrated Waste Treatment System Combining Biogas Technology and Pyrolysis," *Chemical Engineering Transactions*. [Online]. Available: <https://www.cetjournal.it/index.php/cet/article/view/CET1867085>. [Accessed: 15-May-2021].
- [17] V. Khatri, F. Meddeb-Mouelhi, K. Adjallé, S. Barnabé, and M. Beauregard, "Determination of optimal biomass pretreatment strategies for biofuel production: investigation of relationships between surface-exposed polysaccharides and their enzymatic conversion using carbohydrate-binding modules," *Biotechnology for Biofuels*, 18-May-2018. [Online]. Available: <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-018-1145-5/figures/4>. [Accessed: 15-May-2021].

[18] J. Vasco-Correa and A. Shah, "Techno-Economic Bottlenecks of the Fungal Pretreatment of Lignocellulosic Biomass," *MDPI*, 29-Mar-2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2311-5637/5/2/30>. [Accessed: 15-May-2021].