

ANEXO 2

Ecuación Búsqueda #3: *Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas*

En la Tabla 1 se sintetiza la información con respecto a las patentes más relevantes para la ecuación de búsqueda "***Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas***" la cual arrojó como resultado patentes 86 aprobadas para el rango de 6 años comprendidos entre el año 2015 y 2020, se sintetizó la información con el fin de ubicar las patentes más relevantes para la investigación, arrojando como resultado 4 patentes. La primera patente tiene como código **US2020277637A1** y lleva por título "**Conversión de biomasa lignocelulósica en biogás**" su objetivo es el tratamiento de biomasa para la producción de biogás. Este método habla acerca de los entornos necesarios para realizar una conversión de la materia prima en biogás. un entorno de digestión anaeróbica biológica a alta temperatura por microorganismos anaerobios termófilos se disponen en un reactor tipo UASB y se le agrega una solución sólida al 6% de estiércol lácteo a una temperatura de 75 grados durante 48 horas, el ataque debe tener un rango PH para el crecimiento bacteriano entre 4,5 y 8,5 y para controlar este rango de alcalinidad se utiliza bicarbonato de sodio en distintas dosis, el otro entorno de pasteurización de microorganismo anaerobios mesofílicos, donde se utiliza una cepa de bacteria **C. bescii** para su degradación la cual se deja con la materia prima por un tiempo entre 12 y 72 horas con un rango de temperatura entre 15 y 42 grados y se mantiene un pH entre 6,5 y 8,5. Como resultado se obtuvo un incremento en la producción de biogás del 74 % [1].

La siguiente patente tiene como código **AU2017216491A1** y lleva por título "**Método de planta para la producción de biogás a partir de biomasa lignocelulósica**" en primer lugar se realiza la fermentación de estiércol líquido y materias primas sostenibles (SRM) para llevar a cabo lo anterior se procesa la biomasa lignocelulósica y se le agrega un porcentaje de agua, posteriormente se ejecuta la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis con el fin de llegar a una fermentación anaeróbica. Los resultados de este tratamiento son la ruptura y degradación de las paredes celulares de la lignina, también se encontró que la celulosa y la hemicelulosa contenidas dentro de la biomasa son más accesibles para la degradación anaeróbica microbiana. Este método tiene como objetivo la producción de biogás a partir de biomasa lignocelulósica. Como materia prima se utiliza residuos de paja, el cual es sometido a un proceso de fermentación con el fin de facilitar la separación de la fase líquida y la fase sólida, la cual se realiza por medio de hidrólisis a una temperatura de 1700 °C y una presión de 1 MPa aproximadamente durante 10 minutos. Posteriormente se desarrolla una digestión anaeróbica en donde se logra degradar y convertir en biogás un 40% de la materia prima [2]. La última patente tiene como código **US2020181662A1** y lleva por título "**Método para la hidrólisis de la biomasa lignocelulósica**" esta patente tiene por objetivo presentar un método que facilite la eliminación de la lignina en residuos sólidos municipales, esto se realizó utilizando ácido acético y clorito de sodio en los RSU obtenidos de forma natural y en los RSU extraídos con acetona, en ambos casos se realizó una molienda para reducir el tamaño a 0,5 mm y de esta manera aumentar la cantidad de materia prima apta para la aplicación de un proceso de hidrólisis enzimática. Durante la hidrólisis se registran aumentos en los rendimientos de producción de azúcares con porcentajes entre 55 y 83%, los cuales pasan a un proceso de fermentación en un biorreactor con temperaturas entre los 40 y 70 °C donde son oxidados. Esto registra un aumento en la producción de biogás del 43% [3].

Consolidación de patentes para ecuación de búsqueda #3

Ecuación de Búsqueda	Código de la Patente	Resumen
----------------------	----------------------	---------

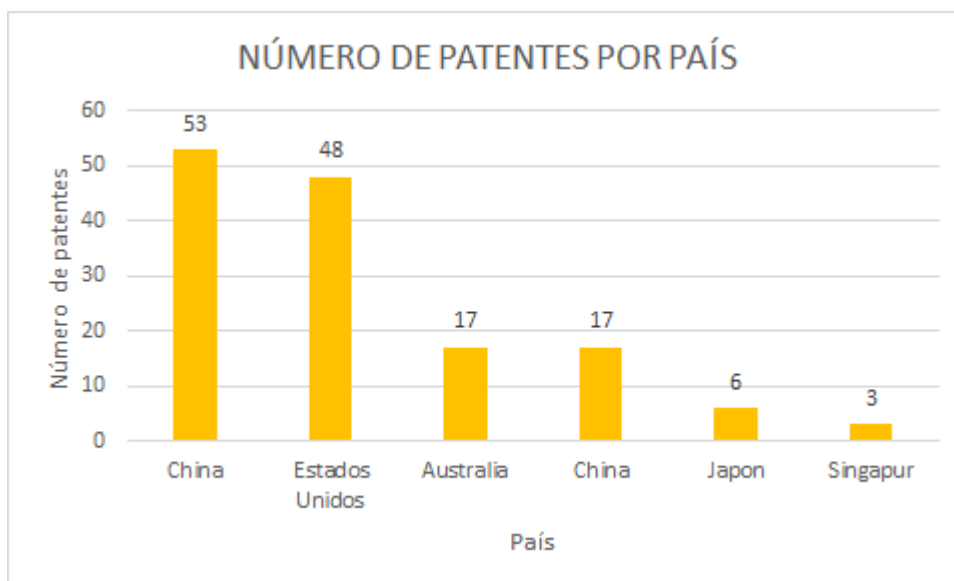
<i>Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas</i>	US2020277637A1	Un sistema de digestión anaeróbica para producir biogás a partir de biomasa, en particular biomasa que es lignocelulósica, e incluye dos entornos de reactores anaeróbicos separados e interactivos para solubilizar materiales lignocelulósicos y ponerlos a disposición para su conversión a biogás.
<i>Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas</i>	AU2017216491A1	La invención se refiere a un método para producir biogás a partir de biomasa lignocelulósica, preferiblemente a partir de paja y a una planta para llevar a cabo esta invención se realiza un tratamiento mecánico, se somete la materia prima a una explosion a vapor para su posterior digestions anaerobia, en esta patente se registran las condiciones óptimas de trabajo para aumentar el rendimiento de metano.
<i>Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas</i>	US2020181662A1	La presente invención se relaciona con el campo de la biotecnología industrial y en particular con un método de hidrólisis mejorado para aumentar la producción de azúcar a partir de una alta concentración sólida de biomasa lignocelulósica, especialmente una derivada de residuos sólidos municipales (MSW) por hidrólisis enzimática de biomasa lignocelulósica para obtener una suspensión y aumentar la producción de biogás,

<i>Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas</i>	CN104271752A	El método incluye compresiones repetidas de la biomasa en una prensa de pistón alternativo, donde la biomasa suelta se introduce continuamente en una cámara de pistón frente a un pistón que mueve la biomasa suelta a una cámara de reacción tubular en la que la biomasa se comprime para producir una explosión de vapor y autohidrólisis bajo desplazamiento simultáneo de biomasa comprimida a través de la cámara de reacción. Después de la compresión, la biomasa se puede agregar estiércol de ganado fluido, lodo de agua de desecha líquida, etc. en una planta de biogás para un proceso de biogás posterior.
---	--------------	--

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

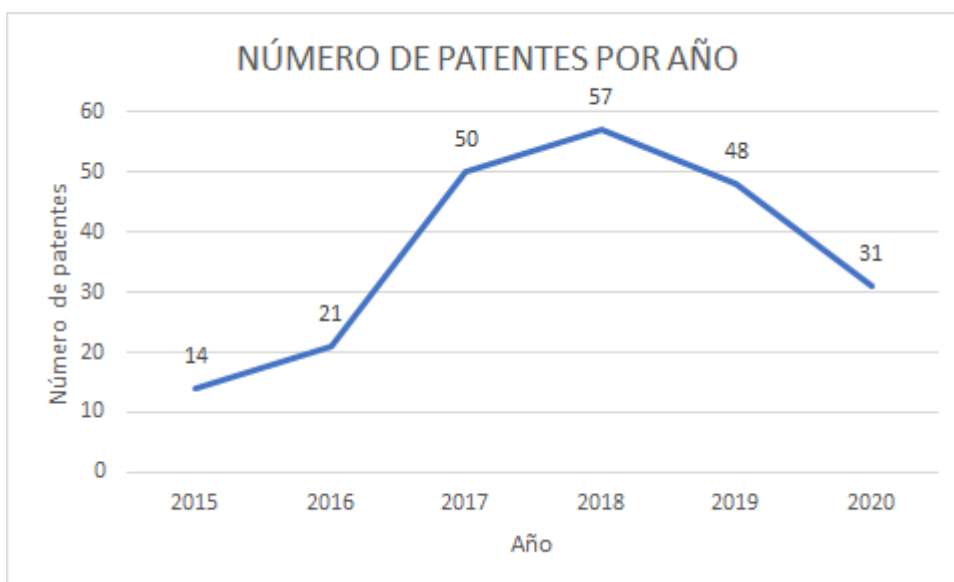
Gráficas para las patentes en Espacenet : Ecuación de Búsqueda #3

Mediante la ecuación de búsqueda (***Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas***) 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 los países pioneros en investigación son China con 53 patentes aprobadas, seguido por Estados Unidos con 48 patentes aprobadas y por último Australia y China, cada uno con 17. El país con menor número de patentes, pero que aún así ha estado realizando avances es Singapur, al tener 3 patentes registradas. Lo anterior evidencia que los países más comprometidos con la investigación acerca de la producción de biogás son aquellos en donde las tecnologías son más accesibles.



Gráfica 1: Cantidad de patentes por país
Fuente: Autores

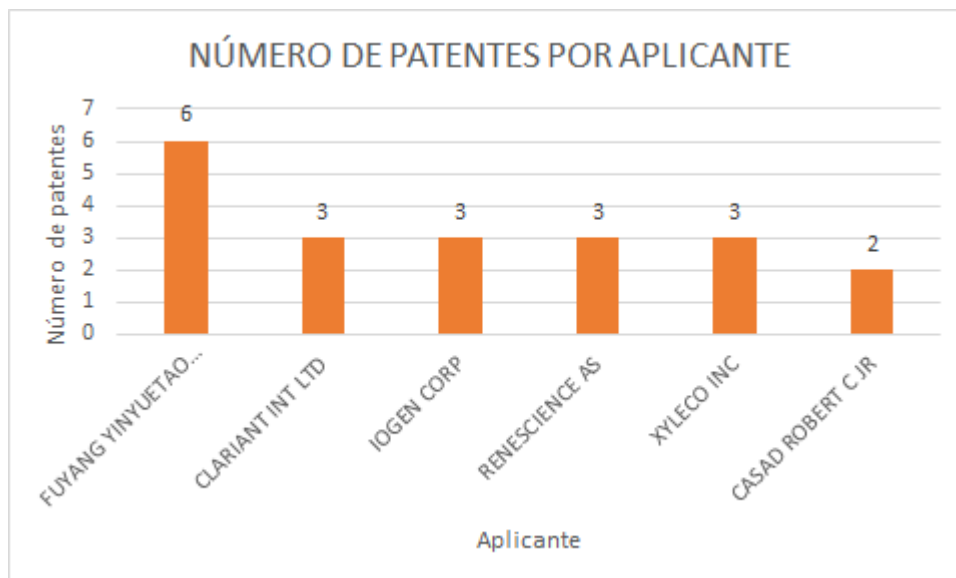
Mediante la ecuación de búsqueda (***Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas***) se obtuvieron los datos de los países con mayor cantidad de patentes aprobadas en un rango de búsqueda de cinco años, que comprende desde el 2015 hasta el 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 realizaron la mayoría de investigaciones y se aprobó el mayor número de patentes fue 2018 con un total de 57. En el periodo comprendido entre 2015 y 2020 se evidencia una variación ascendente para los primeros 4 años y descendente para los últimos dos, esto pudo haber ocurrido debido a que en los años comprendidos entre 2015 y 2018 las investigaciones previas dieron paso a la investigación de energías alternativas hasta el punto que para los años 2019 y 2020 la cantidad de temáticas disponibles para la investigación eran muy pocas, lo que detuvo el crecimiento en el número de patentes aprobadas.



Gráfica 2: Cantidad de patentes por año
Fuente: Autores

Mediante la ecuación de búsqueda (***Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas***) 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

FUYANG YINYUETAO PLANTING SPECIALIZED COOPERATIVE es la que cuenta con el número más alto con un total de 6 patentes, seguido por **CLARIANT INT LTD**, **IOGEN CORP**, **RENESCIENCE AS** y **XYLECO INC** con 3 patentes cada una de ellas. Lo anterior evidencia que **FUYANG YINYUETAO PLANTING SPECIALIZED COOPERATIVE** es la industria que va a la cabeza en cuanto a desarrollo investigativo enfocado en la producción de biogás a partir de sustratos lignocelulósicos. Esta industria se especializa en la producción de fertilizantes específicamente para el árbol de nectarina, una fruta producida a partir de una mutación del durazno.



Gráfica 3: Cantidad de patentes por aplicantes
Fuente: Autores

PUBLICACIONES INVESTIGATIVA BASE DATOS SCOPUS :

Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas

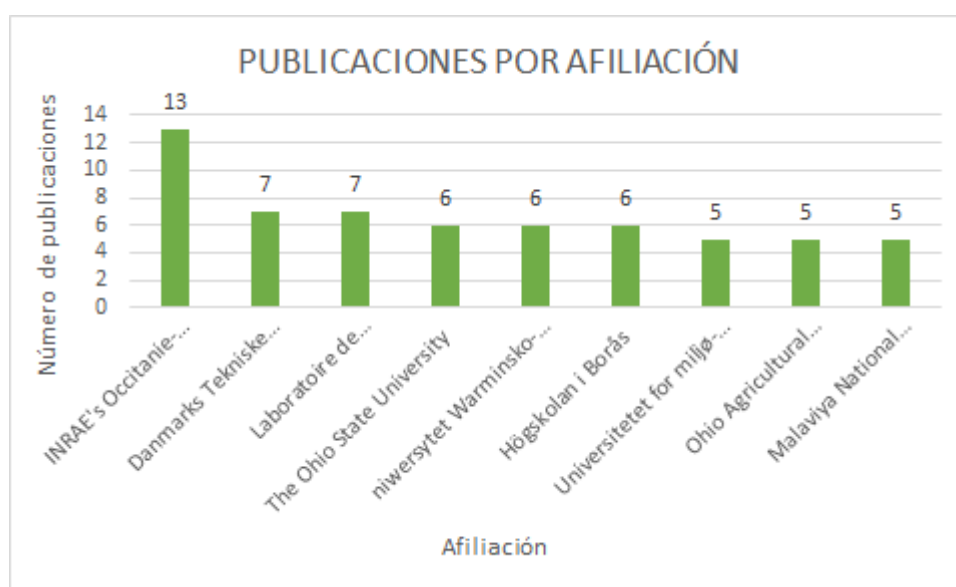
Mediante la ecuación de búsqueda ***Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas*** se obtuvieron los datos correspondientes a la cantidad de publicaciones durante el intervalo de años de 2015 a 2020 como se evidencia en la Gráfica 4, arrojando como resultados 187 publicaciones a lo largo de este intervalo de tiempo, siendo el 2020 el año con mayor número de publicaciones con un total de 46, seguido del año 2019 con un total de 43 y por último el año 2018 con un total de 33 publicaciones.



Gráfica 4: Cantidad de publicaciones por año

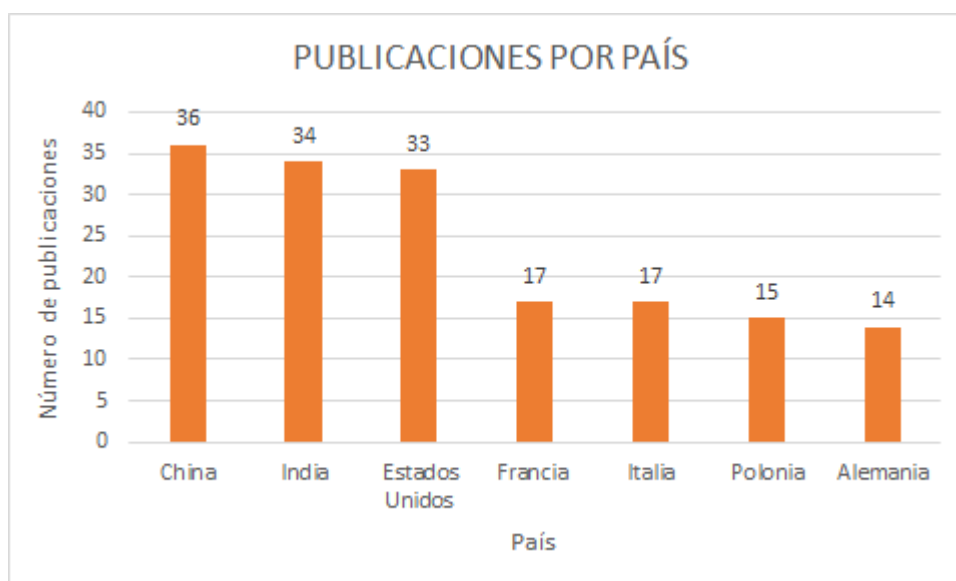
Fuente: Autores

Mediante la ecuación de búsqueda ***Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas*** obtuvimos los resultados correspondientes a la cantidad de entidades que encargadas de realizar proyectos de investigación y de publicar dichos resultados durante el periodo de tiempo definido como se evidencia en la Gráfica 4, arrojando como resultado que la entidad con mayor cantidad de publicaciones es **INRAE's Occitanie-Montpellier Centre** con 13 publicaciones esta entidad se encarga de lograr avances conceptuales, tecnológicos y sociales, informar las políticas públicas e impulsar transiciones agrícolas, dietéticas y ambientales cruciales, la segunda entidad con mayor numero de publicacion es **Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement LBE** con 7 publicaciones esta entidad basa sus investigaciones en desarrollar el concepto de biorrefinería ambiental que consiste en tratar subproductos de las actividades humanas (residuos, residuos agrícolas, efluentes) y valorarlos en recursos de interés industrial (bioenergía, biomoléculas, enmienda orgánica) al tiempo que minimiza su impacto ambiental y sanitario y por último tenemos la entidad **The Ohio State University** con 6 publicaciones esta entidad posee una línea de investigación para el aprovechamiento de residuos orgánicos con una gran potencial energético.



Gráfica 4: Cantidad de publicaciones por afiliación
Fuente: Autores

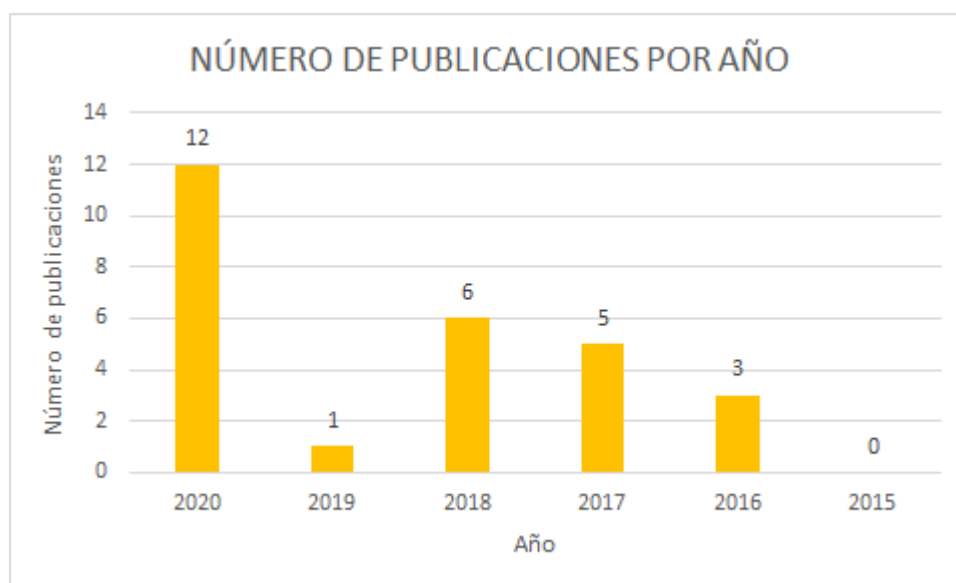
Mediante la ecuación de búsqueda ***Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas*** obtuvimos los resultados correspondientes a la cantidad de publicaciones registradas en cada uno de los países dentro de un intervalo de tiempo correspondiente a 5 años. Como se puede observar en el Gráfica 5, China es el país con amyor cantidad de publicaciones con un total de 36, seguido por India con 34 y Estados Unidos con 33 y por último esta República Alemania con 14 publicaciones registradas.



Gráfica 5: Cantidad de publicaciones por país
Fuente: Autores

Gráficas para las publicaciones de la base de datos “DIRECTORY OF OPEN ACCESS JOURNALS” *Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas*

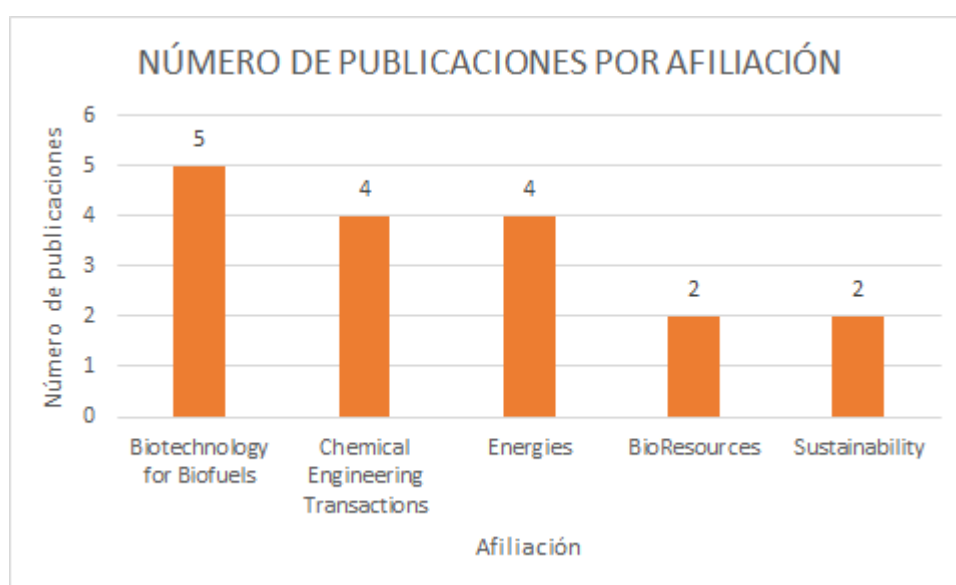
Mediante la ecuación de búsqueda (***Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas***) se obtuvieron los resultados correspondientes a la cantidad de publicaciones por año como se evidencia en la Gráfica 6. Según lo anterior podemos observar que el año con menos publicaciones fue el 2015, con un total de 0 y fue aumentando de manera progresiva con 3 resultados para el año 2016, 5 en el 2017, 6 para el año 2018 y luego, para el 2019, se presenta una disminución bastante drástica en el número de publicaciones al solo registrarse 1. El año 2020 es el que presenta el número más alto de publicaciones, con un total de 12, lo que podemos evidenciar es un aumento en las investigaciones, esto está directamente relacionado con los avances en el aprovechamiento energético y la preocupación por el aumento de residuos orgánicos



Gráfica 6: Número de publicaciones por año
Fuente: Autores

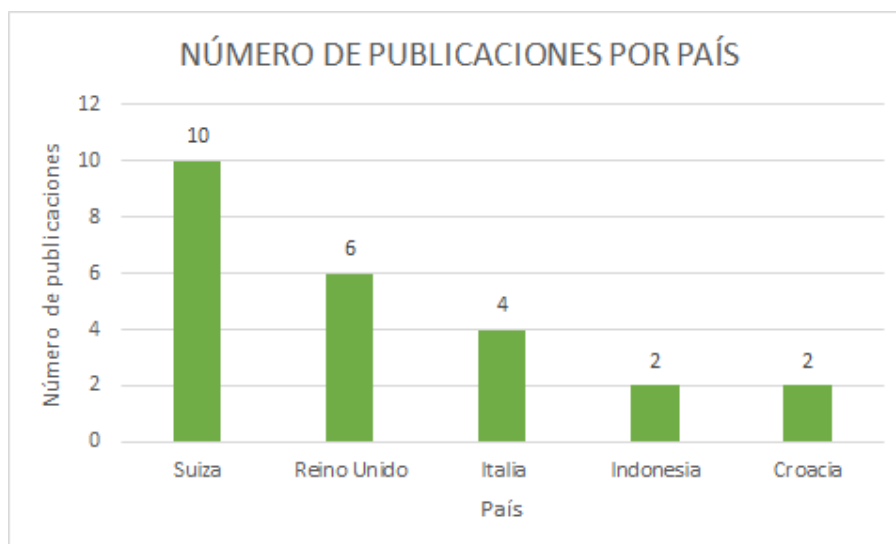
Mediante la ecuación de búsqueda (***Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas***) obtuvimos los resultados

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 7, arrojando como resultado que la revista con el mayor número de publicaciones, con un total de 5 es **“Biotechnology for Biofuels”**, una revista de acceso abierto especializada en presentar estudios mediante los cuales se describen los avances en la y las capacidades tecnológicas de la evaluación tecno económica y del ciclo de vida de la producción de biocombustibles, bioquímicos y biomateriales. Seguida a esta se encuentran **“Chemical Engineering Transactions”**, una revista de nivel internacional en donde se presentan artículos originales de investigación y revisión en ingeniería química, alimentaria, de procesos y medioambiental y **“Energies”**, una revista de acceso abierto que cuenta con 4 publicaciones; esta revista realiza publicaciones acerca del desarrollo de tecnología, ingeniería y estudios sobre políticas y gestión. Por último se encuentran **“BioResources”**, con dos publicaciones, la cual es una revista de acceso abierto dedicada a la ciencia de los materiales lignocelulósicos, la producción de químicos y sus aplicaciones. Las áreas de investigación de interés incluyen productos de madera, papel, energía lignocelulósica, productos químicos de materiales celulósicos, biocomposites y materiales de usos novedosos derivados de material leñoso, y **“Sustainability”** que es una revista internacional, académica y de acceso abierto que habla sobre la sostenibilidad ambiental, cultural, económica y social de los seres humanos. Además proporciona un foro avanzado para estudios relacionados con la sostenibilidad y el desarrollo sostenible.



Gráfica 7: Número de publicaciones por afiliación
Fuente: Autores

Mediante la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic AND biomass AND pretreatment AND biogas***) 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 8, arrojando como resultado que el país con mayor número de publicaciones es **Suiza** con un total de 10 publicaciones. Suiza se caracteriza por enfocarse en la búsqueda e investigación para el aprovechamiento de la biomasa de segunda generación, lo que quiere decir que se utiliza la biomasa resultante de los cultivos más importantes a nivel nacional. El siguiente país con mayor cantidad de publicaciones es **Reino Unido** con 6 publicaciones. Desde el año 2016 se ha registrado un aumento de la presencia de plantas de biogás, lo que ha ayudado a que la revolución de “gas verde” tome mucha más fuerza; esto a su vez ha promovido la investigación en temas de producción de energías alternativas provenientes de fuentes renovables, lo que hace a este país uno de los más importantes en cuanto a avances se refiere. Posteriormente se encuentra **Italia** con 4 resultados, el cual se caracteriza por ser el segundo mayor productor europeo de biogás, pero a pesar de ser pionero en investigación, y que la producción y uso de biogás pasó de ser algo marginal a ser una de las mejores formas de obtener biocombustibles a partir de material lignocelulósico, no ha logrado ser aceptada del todo. Por último se encuentran **Indonesia** con 2 resultados, en donde se está implementado el programa BIRU (Biogás RUMah), el cual está presente desde el 2009 y consiste en aprovechar de los residuos animales para producir bioenergía, lo cual contribuye con la disminución en la dependencia de combustibles fósiles, y **Croacia**, también con 2 resultados, en donde la mayoría de los productores de biogás son las granjas, en donde aprovechan los residuos animales y vegetales para la generación de ingresos extras.



Gráfica 8: Número de publicaciones por país
Fuente: Autores

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO VOSviewer: Base datos Scopus

Ecuación Búsqueda #3: *Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas*

Para la ecuación de búsqueda *Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas* se realizó un análisis bibliométrico mediante el programa VOSviewer, como se muestra en la figura 1. Como resultado se obtuvieron los países que pretenden utilizar tecnologías de aprovechamiento de biomasa para promover el desarrollo energético, ya que este tipo de tecnología ataca directamente el problema de acumulación de residuos y al mismo tiempo contribuye al tratamiento de residuos sólidos urbanos, además aportar productos como biogás y digestato los cuales, siendo tratados correctamente, pueden generar energía eléctrica en el caso de biogás o fertilizantes orgánicos y de lodos para así poder generar ingresos que hagan de este un proceso económicamente viable. Para realizar este análisis bibliométrico se tomaron en cuenta dos criterios de selección, número de citaciones y países, dando como resultado que el país con mayor número de citaciones fue **Estados Unidos**, con un total de 651 citaciones asociadas a los 20 documentos registrados durante los años comprendidos entre el 2015 y el 2020. Este país plantea un estudio para el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos, para este caso se realiza un pretratamiento térmico combinado con un pretratamiento alcalino, el cual consiste en añadir hidróxido de sodio en una concentración del 3%. Como resultado de la aplicación de este pretratamiento se obtuvo que las fibras contenidas en el estiércol de cerdo lograron degradarse con una efectividad del 43,6% [4], otro beneficio obtenido fue la optimización en la eficiencia del metano, al aumentar su producción hasta un 143% cuando el proceso se realiza en condiciones mesófilas y un 180,2% cuando es llevado a cabo en condiciones termófilas. Se determinó que la aplicación de este pretratamiento resulta ser efectiva debido a los aumentos que se presentan en el proceso de digestión y de producción de metano.

El siguiente país con mayor número de citaciones fue **India**, con un total de 612, estas provenientes de los 23 documentos publicados durante los años comprendidos entre 2015 y 2020. En donde se estudia la aplicación de un pretratamiento biológico con el fin de lograr un aumento en la eficacia de la degradación microbiana para residuos lignocelulósicos. Este pretratamiento está fundamentado en el uso de biometano. Como resultado a la aplicación de este pretratamiento en la caña de azúcar se obtiene una eliminación completa de la lignina, lo que ayuda a que el proceso de digestión anaerobia se desarrolle con mayor eficacia [5]. Lo anterior se puede observar en los porcentajes de producción de biogás, ya que se obtiene un rendimiento del 37,7% para los residuos lignocelulósicos pre tratados, lo que corresponde a casi el doble de eficiencia de los residuos sin pretratamiento.

Otro de los países más relevantes fue **España**, con 515 citaciones. En donde se realiza un estudio acerca de cómo los residuos provenientes de los brotes de corte de vid y del maíz pueden llegar a

ser aprovechados y valorizados al ser sometidos a un proceso de digestión aeróbica para así producir biogás. Para este estudio se aplica un pretratamiento de hidrólisis enzimática y otro previamente implementado en Estados Unidos, el cual consiste en el uso de ultrasonidos para lograr una modificación en la estructura del residuo lignocelulósico y así facilitar la digestión [6]. Como resultado se obtiene una disminución considerable en la cantidad de lignina presente en la estructura, lo que aumentó la eficiencia de la producción de biogás en 59,8% para los brotes de corte de vid y 14,6% para los residuos de maíz.

Por último se encuentra **Francia** con 469 citaciones con 12 documentos publicados, en donde se realiza un estudio acerca de cómo los hongos pueden llegar a cumplir una función de gran importancia como método de pretratamiento de residuos lignocelulósicos. Una de las características de los pretratamientos con hongos es su bajo costo en la producción de bioetanol, pero muy pocas veces en la producción de biogás. En este estudio se le aplica el pretratamiento a residuo lignocelulósico de paja, dando como resultado un aumento en la producción de biogás del 43% en comparación con biomasa no tratada [7].

Red bibliométrica “Citaciones Vs País”



Figura 1: Red bibliométrica Citaciones Vs País
Fuente: Autores

Para la ecuación de búsqueda **Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas** 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 citaciones y documentos, arrojando como resultado que el documento más citado lleva por nombre **“Review of feedstock pretreatment strategies for improved anaerobic digestion: From lab-scale research to full-scale application”** con 258 citaciones. Este documento habla acerca de la optimización en la eficiencia de los procesos de pretratamiento cuando estos están bien desarrollados, por lo que se muestran una serie de lineamientos que son necesarios para un correcto diseño de los pre tratamientos llevados a cabo en plantas de producción de biogás. También se realizan recomendaciones teniendo en cuenta el tipo de residuo lignocelulósico que se quiere utilizar, como por ejemplo la explosión de vapor como forma de pretratamiento en las plantas de lodos residuales, el cual consiste en la aplicación de altas temperaturas y presiones al residuo lignocelulósico que se quiere pretratar, seguida por una descompresión y enfriamiento repetidos, lo cual genera un rompimiento en la estructura lignocelulósica [8]. En este estudio se realiza la prueba del pretratamiento en residuos de fibra de maíz, los cuales son sometidos a una explosión de vapor

del 6% de SO₂ a 190°C. Como resultado se obtiene una alta efectividad, la cual se ve reflejada en el aumento de 81% en el proceso de conversión de polisacáridos.

El siguiente documento más citado es **“A comprehensive review on pre-treatment strategy for lignocellulosic food industry waste: Challenges and opportunities”** con 231 citaciones. En este documento se evalúa el pretratamiento con ácido diluido, el cual busca lograr una modificación de la hidrólisis de la hemicelulosa, lo que facilita el proceso de digestión enzimática. Este pretratamiento se fundamenta en la aplicación de algunos ácidos al sumergir las muestras de residuo lignocelulósico que quieren ser pretratadas, el proceso de aplicación se realiza a 160°C durante un periodo de tiempo de 10 minutos. Como resultado se obtiene una eficiencia del 70% de conversión del residuo lignocelulósico para su aprovechamiento, otro de los pretratamientos mencionados en el documento se realiza con ácido-acetona a altas temperaturas seguida de un choque frío. Se mezcla una cantidad cuantificada de biomasa con ácido fosfórico concentrado a no menos del 85% y se mantiene en un baño de aire rotatorio durante 1 hora a 120 rpm y 50°C, posteriormente la suspensión se mezcla con acetona pre enfriada, luego se centrifuga y se deja espesar durante 10 minutos a 8000 rpm, se recoge el sobrenadante para el análisis del azúcar reductor mientras que los sólidos se lavan de nuevo tres veces en agua destilada y luego se utilizan para la hidrólisis enzimática [9]. Se obtuvo que más del 99% del contenido total de celulosa en lignocelulosa pretratada con ácido-acetona estaba disponible para la hidrólisis enzimática para obtener glucosa, dando como resultado un aumento en el rendimiento para producción de biogás de un 88,1%.

El siguiente documento con más citaciones tiene como título **“Solid-state anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Recent progress and perspectives”** y cuenta con 143 citaciones. En este documento se habla acerca de cómo la digestión anaerobia de la biomasa se ha convertido en una de las tecnologías ecológicas más rentables en los últimos años para la producción de energía. Teniendo en cuenta los datos relacionados con la capacidad que tiene la biomasa para la producción de biogás, se determinó que el país con mayor capacidad para la producción es Estados Unidos, debido a sus desechos forestales y cultivos energéticos, en donde se realiza un pretratamiento de tipo alcalino. Este pretratamiento se realiza mediante la aplicación de NaOH/tiourea a residuos lignocelulósicos de madera blanda, en este caso madera de abeto, la cual, sin pretratamiento, presenta un rendimiento de 30 L/kg de VS o en términos de porcentaje el equivalente a un 11%, debido a que su estructura está conformada por un 29% de lignina, dificultando la digestión anaeróbica. Luego de ser aplicado el pretratamiento, se obtiene como resultado un aumento de la producción a 210 L/kg de VS o 57% de rendimiento [10].

Red bibliométrica “Citaciones Vs Documentos”

ravindran.r. (2016)

yang l. (2015)

abraham a. (2020)

paudel s.r. (2017)



carrera h. (2016)

Figura 2: Red bibliométrica Citaciones Vs Documentos
Fuente: Autores

Para la ecuación de búsqueda ***Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas*** se realizó un análisis bibliométrico con el programa VOSviewer como se muestra en la figura 3. Para realizar dicho análisis se tuvo en cuenta el parámetro relacionado con citas y autores arrojando como resultado que el autor con más citas es ***Carrere. H*** con un total de 259 citas como se puede evidenciar en la ecuación de búsqueda #1. Este autor plantea en sus líneas de investigación el aprovechamiento de la biomasa para generar un valor agregado, de la misma manera propone distintas 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 citas. Esta autora ha dedicado gran parte de su carrera como ingeniera química a la investigación en 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 citas, quien ha enfocado la mayoría de sus investigaciones hacia la generación de biocombustibles a partir de material lignocelulósico, la producción de hidrógeno fermentativo y digestión anaeróbica de la biomasa para aumento en la producción de biogás. Otro de los temas tratados por este autor es el efecto que tiene la temperatura y el pH sobre la tasa de crecimiento específica máxima efectiva de bacterias nitrificantes y la revisión de las estrategias de pretratamiento de la materia prima para mejorar la digestión anaeróbica desde la investigación a escala de laboratorio hasta la aplicación a escala completa.

Red bibliométrica “Citas Vs Autores”

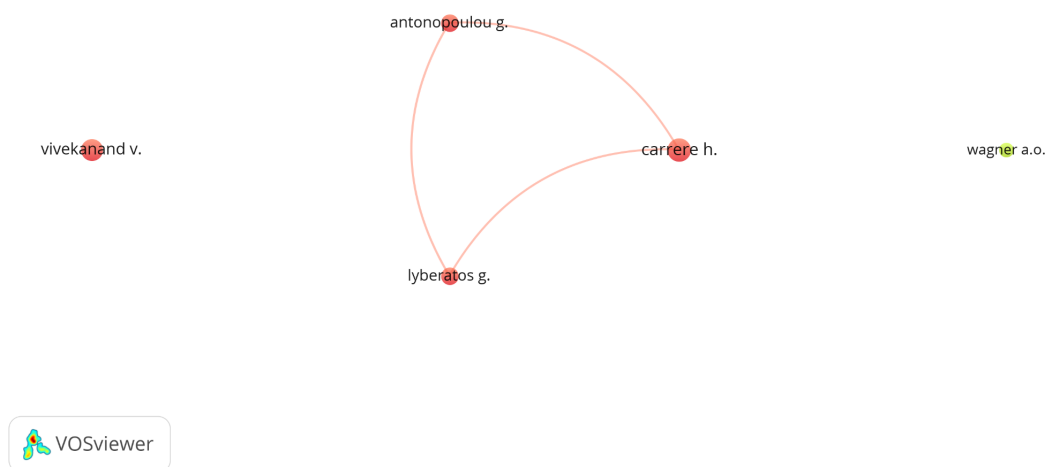


Figura 3: Red bibliométrica Citaciones Vs Autores
Fuente: Autores

Para la ecuación de búsqueda ***Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas*** 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, ***Biogás*** con un total de 357 citas, ***Anaerobic digestion*** con un total de 308 citas, ***Biomass*** con 295 citas, ***Cellulose*** y ***Lignin***, ambas con un total de citas de 248.

Red bibliométrica “Incidencia Vs Palabras Claves”

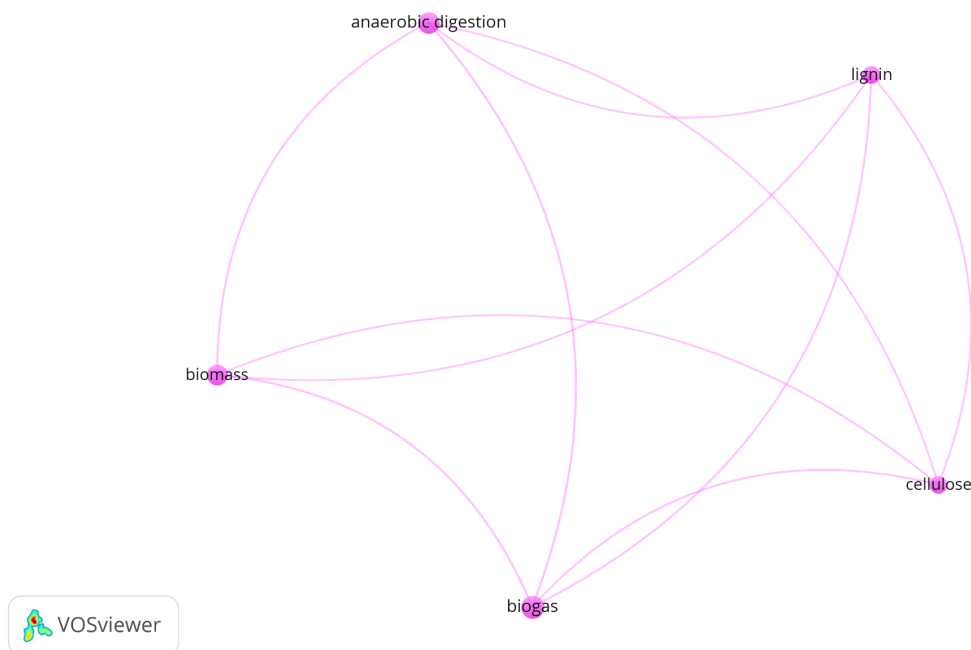


Figura 4: Red bibliométrica Incidencia Vs Palabras Claves
Fuente: Autores

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO EXCEL : Base de datos DOAJ

Ecuación Búsqueda #3: *Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas*

Para la ecuación de búsqueda *Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas* se realizó un análisis bibliométrico como se muestra en la gráfica 9. Como resultado se obtuvieron los países que han implementado el aprovechamiento de la biomasa o los residuos lignocelulósicos, con el fin de promover el desarrollo energético, ya que este tipo de aplicaciones contribuye con la disminución en la problemática de acumulación de residuos y al mismo tiempo promueve el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos, aportando productos como biogás y digestato, los cuales pueden generar energía eléctrica.

Se puede observar que el país con el mayor número de citas realizadas es **Reino Unido** con un total de 106. Este país se caracteriza por realizar estudios en donde se aplican combinaciones de pretratamientos mecánicos y termo alcalinos para el tratamiento de la biomasa lignocelulósica. En este estudio se tienen en consideración dos muestras, una muestra base y una con pretratamiento combinado, como resultado se obtuvo un rendimiento de 100% y 99% respectivamente. Además de esto se observó que en la muestra pretratada se produjo un aumento en la producción de biogás de un 49,2%, lo que indica que la combinación de diferentes métodos de pretratamiento mejoró en gran manera el rendimiento de biogás de los sustratos digeridos. Otro de los pretratamientos implementados en este país es el pretratamiento enzimático, este tiene como objetivo implementar un tratamiento con biodigestores anaeróbicos in situ que sea más simple y con menor consumo de energía por parte de las enzimas [11]. Este estudio arrojó como resultado que a partir de la adición de enzimas endógenas al ambiente se obtiene un aumento significativo en el rendimiento de la producción de biometano, debido a que la solución de enzima tuvo un efecto instantáneo sobre el material celulósico más accesible.

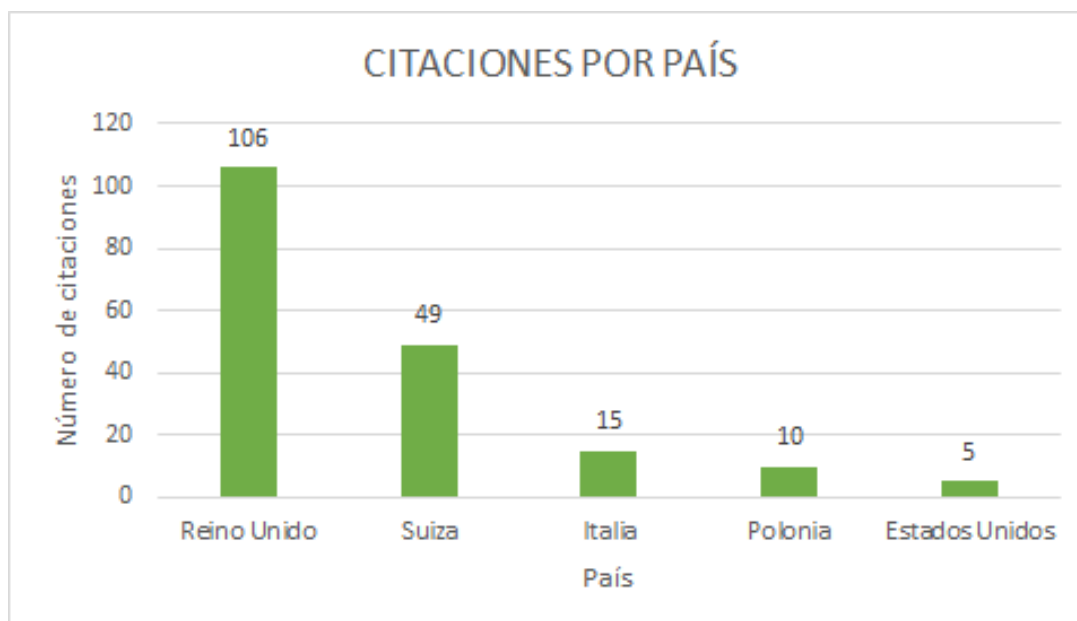
El siguiente país es **Suiza**, el cual cuenta con 49 citas. En este país se utiliza el caña gigante para la producción de biogás, debido a su baja eficiencia se realiza un pretratamiento termoquímico basado en el uso de KOH para poder optimizar la producción de biogás. Como resultado de la aplicación de este pretratamiento se obtiene un aumento en el rendimiento de metano de 232 mL de CH₄ g – 1 VS lo que corresponde a un 21% en comparación con la biomasa no tratada; la tasa

máxima diaria de producción se mejoró en un 42% ya que la concentración de metano en el biogás se incrementó en un 23%. Luego se examinó el pretratamiento de co-ensilado, el cual es considerado como una alternativa de bajo costo, por lo que se analizaron los resultados en comparación a otros pretratamientos de alto costo. Como resultado se obtuvo que el pretratamiento de co-ensilado mejoró la producción de metano en un 34,7%, mientras que un pretratamiento químico e hidrotermal combinado solo aumentó la producción de metano en un 25,4%. Por último se realizó el análisis del pretratamiento enzimático, en donde se utilizó como materia prima la paja de maíz, almidón y celulosa microcristalina los cuales fueron sometidos a la digestión anaeróbica. Al comparar los resultados obtenidos se obtuvo una mejora de la hidrólisis enzimática, una disminución en la cristalinidad y un aumento del 33,2% en el rendimiento de producción de metano y en el almidón se reportó un aumento del 16,0% [12]. Se determinó que los enlaces lignocelulósicos deben romperse para que los pre tratamientos enzimáticos puedan tener un gran potencial de producción de biogás.

El siguiente país con mayor número de citaciones es **Italia** con un total de 15, en donde los residuos lignocelulósicos son una de las materias primas más abundantes y potenciales para la digestión anaeróbica, pero la eficiencia energética está limitada por la composición lignocelulósica de los mismos, ya que esta es recalcitrante a la biodegradación, y por este motivo en este estudio se pretende determinar la vía de pretratamiento y postratamiento más rentable y eficaz para el tratamiento de los residuos lignocelulósicos mediante el pretratamiento refino mecánico, el cual se emplea en el tratamiento de los residuos lignocelulósicos provenientes de las industrias de papel. El principal objetivo de este pretratamiento es generar cambios físicos en la materia prima para aumentar la eficiencia de la hidrólisis enzimática. Este pretratamiento aporta varios beneficios en su aplicación , ya que su costo es relativamente bajo en comparación a los pretratamientos convencionales y tiene un requerimiento energético mucho menor. Como resultado se obtiene que la aplicación de este pretratamiento aumenta en un 87% el rendimiento en cuanto a la producción de biogás [13].

Posteriormente se encuentra **Polonia**, que cuenta con 10 citaciones y se especializa en el estudio de la eficacia al aplicar un pretratamiento por extrusión a sustratos lignocelulósicos como el ensilaje de maíz y el ensilaje de paja de maíz, además de estudiar la manera como se ve impactada la producción y el rendimiento del biogás. Para esto se realizó una comparación entre los resultados obtenidos antes y después de aplicar el pretratamiento. La prueba de aplicación fue realizada en una extrusora corta de un solo tornillo con una relación de longitud y el diámetro de 6: 1 y una velocidad de rotación de 200 rpm. Luego se realizó una prueba de rendimiento de biogás en un laboratorio, utilizando 15 biofermentadores operados de manera periódica, a una temperatura constante de 39 ° C y condiciones de pH controladas. En donde se observó que al aplicar el pretratamiento por extrusión la cantidad de metano generado aumenta de manera óptima, ya que para el ensilaje de maíz pretratado, el rendimiento de metano fue 16,48% mayor que el del ensilado sin tratar, mientras que para el ensilado de paja de maíz después de la extrusión dio un 35,30% más de metano que el mismo material no extruido [14].

Por último se encuentra **Estados Unidos**, con 5 citaciones. En este país se busca lograr una reducción en el costo del pretratamiento de la biomasa lignocelulósica aplicando álcali para poder alterar su estructura y así aumentar la eficacia en la producción de biogás. Para lograr esto es necesario aplicar una solución de KOH al 1.5% para pretratar rastrojo de maíz a 20 °C con el fin de mejorar la digestión anaeróbica (DA). Como resultado se obtuvo que el proceso de aplicación de KOH produjo un aumento considerable en el rendimiento del metano en un 52,4% en comparación con los residuos sin tratar, que dio como resultado 135,2 ml/gVS, además, el proceso generó un ahorro en el consumo de agua y KOH del 56,2% y 57,4%. Como resultado se sugirió reciclar y reutilizar el KOH ya que resultó ser un método eficiente para el tratamiento de biomasa lignocelulósica y tiene la capacidad de reducir los costos de entrada en futuros procesos de DA [15].



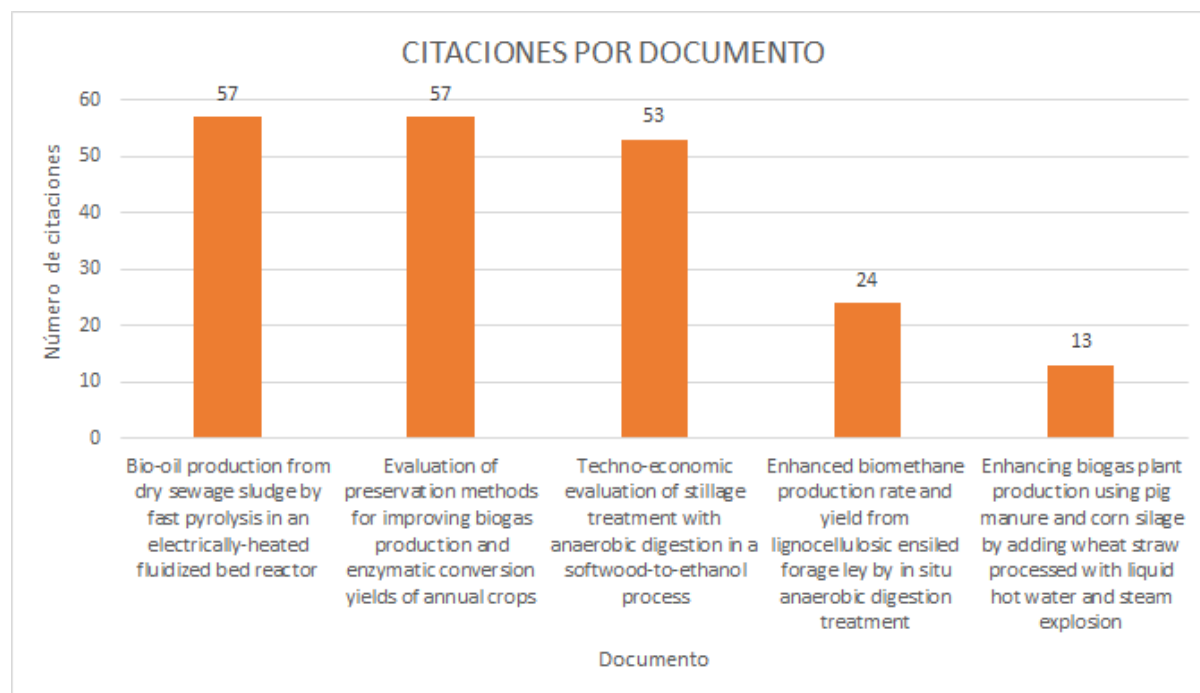
Gráfica 9: Número de citas por país
Fuente: Autores

Para la ecuación de búsqueda ***Lignocellulosic biomass AND Mechanical treatment AND chemical treatment AND physical treatment AND biogas*** 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 citas y documentos, arrojando como resultado que el documento más citado lleva por nombre **“Bio-Oil production from dry sewage sludge by fast pyrolysis in an electrically-heated fluidized bed reactor”** con 57 citas. Este documento tiene como objetivo investigar las formas más apropiadas para lograr una optimización del bio aceite producido a partir de la pirólisis aplicada en lodos de depuradora mediante un reactor de lecho fluidizado. Para esto se tiene en cuenta que la temperatura puede llegar a afectar el tamaño de las partículas de lodo, el rendimiento, las propiedades y la cantidad de humedad presente en el bioaceite. Antes de realizar cada procedimiento es necesario ajustar todos los equipos a las condiciones adecuadas; para este proceso se precalientan los depósitos de carbón junto con el horno y se realiza una purga con nitrógeno en la tolva y el reactor. Posteriormente se toman 300 g de lodo y se introducen en la tolva previamente preparada, para luego ser transportados al reactor de lecho fluidizado calentado eléctricamente mediante un tornillo sinfín. Durante el proceso de pirólisis rápida se producen varios compuestos como bioaceite, biocarbón y gases no condensables. Este proceso cuenta con un sistema de recuperación conformado por 4 Erlenmeyer, cada uno con una capacidad 2L y conectados entre sí, los cuales están sumergidos en hielo para facilitar que el bioaceite se pueda condensar [16]. Como conclusión se puede determinar que el bioaceite alcanza un rendimiento máximo de 35,8% y mínimo de 26,2% al realizar esta optimización.

Luego se encuentra el documento **“Evaluation of preservation methods for improving biogas production and enzymatic conversion yields of annual crops”** con 57 citas. En este estudio se espera que el uso de cultivos energéticos y de los residuos provenientes de agrícolas puedan aumentar para cumplir con la demanda energética. Los métodos de ensilado son los adecuados para asegurar la conservación de los cultivos durante todo el año permitiendo que siempre estén frescos y la producción de biogás sea más óptima y eficaz. Por este motivo investigan varios métodos de conservación del ensilado de maíz de cultivo entero, cáñamo de fibra y habas, con y sin adición de ácido. Se evidenciaron cambios en la composición química de los cultivos frescos, en donde el contenido de lignina y celulosa para el cáñamo aumentaron un 17% y 37% respectivamente, 14% y 23% en el caso del maíz y 12% y 17% para las habas, lo cual indica que la materia prima más difícil para la aplicación de los pretratamientos es el cáñamo. Para los carbohidratos solubles se obtienen porcentajes de 12% en el cáñamo y 27% y 35% para el maíz y las habas respectivamente, mientras que para el contenido de pectina y hemicelulosa los porcentajes fueron de $\pm 0,3\%$ y 6% para el cáñamo, $4\% \pm 0,1\%$ y 10% para las habas y $2\% \pm 0,1\%$ y 18% para el maíz. Como resultado se obtuvo que el ensilado y la conservación alcalina de materiales de cultivo son pretratamientos que sirven para optimizar en gran medida la producción de biogás, ya que se generan aumentos de entre 25% y 42% [17].

El siguiente documento es lleva por nombre **“Enhanced biomethane production rate and yield from lignocellulosic ensiled forage ley by in situ anaerobic digestion treatment with endogenous cellulolytic enzymes”** con 24 citaciones. En este estudio se habla acerca de cómo la mayoría de pretratamientos aplicables a biomasa lignocelulósica han utilizado cada vez más el tratamiento enzimático de la misma, esto con el fin de aumentar la producción de biogás sin la necesidad de combinar enzimas o diferentes pretratamientos. En vez de esto, se realiza un tratamiento con digestores anaeróbicos que resulta ser mucho más sencillo y con un menor consumo energético. En este estudio se analizan los efectos producidos por enzimas endógenas a las comunidades microbianas metanogénicas, que produjeron una solución con actividad de microbios muy alta y enzimas celulolíticas, las cuales se produjeron en exceso y se recolectaron de una comunidad microbiana metanogénica dedicada, lo cual confirmó que el efecto sobre la producción de biogás fue positiva al registrar un aumento del 19% de eficiencia al añadir la enzima a la biomasa [18]. Este aumento se debe a que las enzimas generaron un aumento en la tasa de degradación del sustrato de biogás.

Y por último se encuentra **“Enhancing biogas plant production using pig manure and corn silage by adding wheat straw processed with liquid hot water and steam explosion”** con 13 citaciones. En este estudio se realiza una valoración del uso del estiércol de cerdo como una fuente de producción de biogás, pero debido a la gran cantidad de Nitrógeno que contiene, en comparación con el Carbono orgánico, su eficiencia es bastante baja. Al ser un sustrato de tipo alcalino, tiene la característica de poder eliminar el proceso de metanogénesis y para poder aumentarle la cantidad de carbono orgánico disponible es necesario adicionarle sustratos adicionales. Uno de los sustratos más aptos para aumentar la cantidad de carbono en el estiércol es la paja, pero debido a que cuenta con una gran cantidad de lignina en su estructura, su descomposición es bastante lenta y solo una parte puede llegar a ser transformada en biogás. Este problema ha llevado a la búsqueda de nuevos pretratamientos, que a parte de ser eficaces sean más económicos. Uno de los métodos investigados, y el más rentable, fue la co-fermentación del estiércol mediante la aplicación de ensilaje de maíz, el cual resultó en un aumento de la biodisponibilidad lignocelulósica al combinar el pretratamiento de explosión de vapor con agua caliente. El resultado obtenido fue un aumento en la eficiencia de un 24% a un 34% luego de ser aplicado el pretratamiento. En una planta de biogás a gran escala, las condiciones óptimas fueron $\sim 165^{\circ}\text{C}$, $\sim 2,33\text{ MPa}$ y 10 min en LHW y $\sim 65^{\circ}\text{C}$ y $\sim 0,1\text{ MPa}$ para SE [19]. Como conclusión se obtuvo que los pretratamientos de agua caliente y explosión de vapor para la combinación de estiércol de cerdo y ensilado de maíz aumenta de manera significativa la disponibilidad lignocelulósica.



Gráfica 10: Número de citaciones por documentos
Fuente: Autores

Bibliografia:

- [1] Z. T. Aanderud, C. Hansen, J. Hansen, and L. Hansen, "CONVERSION OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS INTO BIOGAS," *Espacenet*, 03-Sep-2020. [Online]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/072236021/publication/US2020277637A1?q=US2020277637A1>. [Accessed: 14-May-2021].
- [2] J. Horn, M. Schlimbach, G. Pollert, and J. Kuhling, "METHOD AND PLANT FOR PRODUCING BIOGAS FROM LIGNOCELLULOSIC BIOMASS," *Espacenet*, 31-Aug-2017. [Online]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/049779895/publication/AU2017216491A1?q=AU2017216491A1>. [Accessed: 15-May-2021].
- [3] J. Puri, P. Speller, and M. Thompson, "METHOD FOR THE HYDROLYSIS OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS," *espacenet*, 11-Jun-2020. [Online]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/059011168/publication/US2020181662A1?q=US2020181662A1>. [Accessed: 15-May-2021].
- [4] M. U. Khan and B. K. Ahring, "Anaerobic Digestion of Digested Manure Fibers: Influence of Thermal and Alkaline Thermal Pretreatment on the Biogas Yield," *BioEnergy Research*, 10-Sep-2020. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-020-10190-z>. [Accessed: 15-May-2021].
- [5] V. Sharma, B. Bhat, M. Gupta, S. Vaid, S. Sharma, P. Nargotra, S. Singh, and B. K. Bajaj, "Role of Systematic Biology in Biorefining of Lignocellulosic Residues for Biofuels and Chemicals Production: Semantic Scholar," *undefined*, 01-Jan-1970. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Role-of-Systematic-Biology-in-Biorefining-of-for-Sharma-Bhat/b5911e5a77a596d86bb63d7ad5e598f8e289829a>. [Accessed: 15-May-2021].
- [6] 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].
- [7] E. Rouches, S. Zhou, J. P. Steyer, and H. Carrere, "White-Rot Fungi pretreatment of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion: Impact of glucose supplementation," *Process Biochemistry*, 06-Feb-2016. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359511316300150>. [Accessed: 15-May-2021].
- [8] 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].
- [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] X. Ge, F. Xu, and Y. Li, "Solid-state anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Recent progress and perspectives," *Bioresource Technology*, 23-Jan-2016. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852416300268>. [Accessed: 15-May-2021].
- [11] J. Speda, M. A. Johansson, A. Odnell, and M. Karlsson, "Enhanced biomethane production rate and yield from lignocellulosic ensiled forage ley by in situ anaerobic digestion treatment with endogenous cellulolytic enzymes," *Biotechnology for Biofuels*, 16-

- May-2017. [Online]. Available: <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-017-0814-0>. [Accessed: 15-May-2021].
- [12] C. Vasmara, S. Cianchetta, R. Marchetti, E. Ceotto, and S. Galletti, "Potassium Hydroxide Pre-Treatment Enhances Methane Yield from Giant Reed (*Arundo donax* L.)," *MDPI*, 26-Jan-2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/3/630>. [Accessed: 15-May-2021].
- [13] Y. Fan, J. Klemeš, and C. Lee, "[PDF] Pre- and Post-Treatment Assessment for the Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Waste: P-graph: Semantic Scholar," *undefined*, 01-Jan-1970. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Pre-and-Post-Treatment-Assessment-for-the-Anaerobic-Fan-Klemeš/e2ca3de45075451eb5d19540b2985e8c14b4ca28>. [Accessed: 15-May-2021].
- [14] K. Pilarski, A. Pilarska, K. Witaszek, Z. Dworecki, T. Żelaziński, A. Ekielski, A. Makowska, and J. Michniewicz, "[PDF] THE IMPACT OF EXTRUSION ON THE BIOGAS AND BIOMETHANE YIELD OF PLANT SUBSTRATES: Semantic Scholar," *undefined*, 01-Jan-1970. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/THE-IMPACT-OF-EXTRUSION-ON-THE-BIOGAS-AND-YIELD-OF-Pilarski-Pilarska/afafd876bec835148cd810f1bfb0a09ace08de30>. [Accessed: 15-May-2021].
- [15] M. A. H. Siddhu, J. Li, R. Zhang, J. Liu, J. Ji, Y. He, C. Chen, and G. Liu, "[PDF] Potential of Black Liquor of Potassium Hydroxide to Pretreat Corn Stover for Biomethane Production: Semantic Scholar," *undefined*, 01-Jan-1970. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Potential-of-Black-Liquor-of-Potassium-Hydroxide-to-Siddhu-Li/8b797f2e16325caed78cfd039062aaeb6b0013c7>. [Accessed: 15-May-2021].
- [16] R. O. Arazo, D. A. D. Genuino, M. D. G. de Luna, and S. C. Capareda, "Bio-oil production from dry sewage sludge by fast pyrolysis in an electrically-heated fluidized bed reactor," *Sustainable Environment Research*, 18-Nov-2016. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468203916300875>. [Accessed: 15-May-2021].
- [17] A. Pakarinen, P. Majjala, S. Jaakkola, F. L. Stoddard, M. Kymäläinen, and L. Viikari, "Evaluation of preservation methods for improving biogas production and enzymatic conversion yields of annual crops," *Biotechnology for Biofuels*, 19-Jul-2011. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1186/1754-6834-4-20/figures/3>. [Accessed: 15-May-2021].
- [18] J. Speda, M. A. Johansson, A. Odnell, and M. Karlsson, "Enhanced biomethane production rate and yield from lignocellulosic ensiled forage ley by in situ anaerobic digestion treatment with endogenous cellulolytic enzymes," *CORE*, 01-Jan-1970. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/display/192571127>. [Accessed: 15-May-2021].
- [19] M. Gaworski, S. Jabłoński, I. Pawlaczyk-Graja, R. Ziewiecki, P. Rutkowski, A. Wiczyńska, R. Gancarz, and M. Łukaszewicz, "Enhancing biogas plant production using pig manure and corn silage by adding wheat straw processed with liquid hot water and steam explosion," *Biotechnology for Biofuels*, 09-Nov-2017. [Online]. Available: <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-017-0922-x>. [Accessed: 15-May-2021].