

ANEXO 1

Ecuación Búsqueda #2: *lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas*

En la **Tabla 1** se realiza un listado de las patentes más destacadas para la investigación teniendo en cuenta la ecuación de búsqueda ***“lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas”*** como punto de referencia para identificarlas. La primera patente, titulada **“PROCESS FOR ENZYMATIC HYDROLYSIS OF LIGNOCELLULOSIC MATERIAL AND FERMENTATION OF SUGARS”**, con el código **US2020347422A1** se basa en procesos para la preparación de azúcar a partir de material lignocelulósico a través de un proceso que consta de varios pasos hasta lograr una posible recuperación del producto de azúcar. Para la obtención de azúcares es necesario realizar una hidrólisis enzimática en un biorreactor especializado, la cual se realiza a temperaturas que varían entre los 60 y 75 °C, el pH se encuentra entre 4,0 y 5,0 y el tiempo de retención varía entre 15 y 20 horas. Durante este proceso se añade oxígeno en concentraciones de 15% para satisfacer la demanda de los microorganismos encargados. Este método comprueba un porcentaje de fermentación de azúcares del 12% [1]. La siguiente patente lleva por título **“Biological gasification pretreatment method for straw”**, cuenta con el código **CN106086081A** y se basa en un método de pretratamiento de gasificación biológica para material lignocelulósico. Este método utiliza como materia prima, y como primer paso se realiza una pulverización de la biomasa para obtener partículas de 10 mm o menores, como segundo paso esta materia prima molida es calentada a una temperatura de 220°C con una presión de 0,69 MPa durante 15 minutos y luego enfriada a temperatura ambiente para posteriormente ser combinada con cultivos de microorganismos para lograr la formación del ácido necesario para lograr el proceso de hidrólisis. Este método produjo una disminución en la cantidad de lignina y celulosa del 22% y 35% respectivamente [2], por último está la patente de nombre **“Method for enhancing biogas production efficiency of straws by pretreatment of biogas slurry”** la cual está identificada con el código **CN109929881A** la cual consiste en un método para mejorar la eficiencia de producción de biogás de residuos de paja mediante un pretratamiento en el cual son utilizados los lodos de biogás, este método pertenece al campo de la protección del medio ambiente y la energía de biomasa. Este método utiliza desechos de paja como materia prima, la cual es secada en condiciones naturales para luego ser triturada y almacenada. Previamente, en un tanque de biogás, se fermenta el estiércol de animales durante un periodo de tiempo de 1 año y de este tanque se toma la suspensión de biogás para remojar la materia prima. La materia prima pretratada es llevada a un biodigestor a una temperatura de $38 \pm 0,5$ ° C para realizar el proceso de digestión anaeróbica, el cual es agitado tres veces por día durante un tiempo de retención de 4 días. Este método demostró una disminución en la celulosa, hemicelulosa y lignina del 25%, 13% y 6% respectivamente [3].

Consolidación de patentes para ecuación de búsqueda #2

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

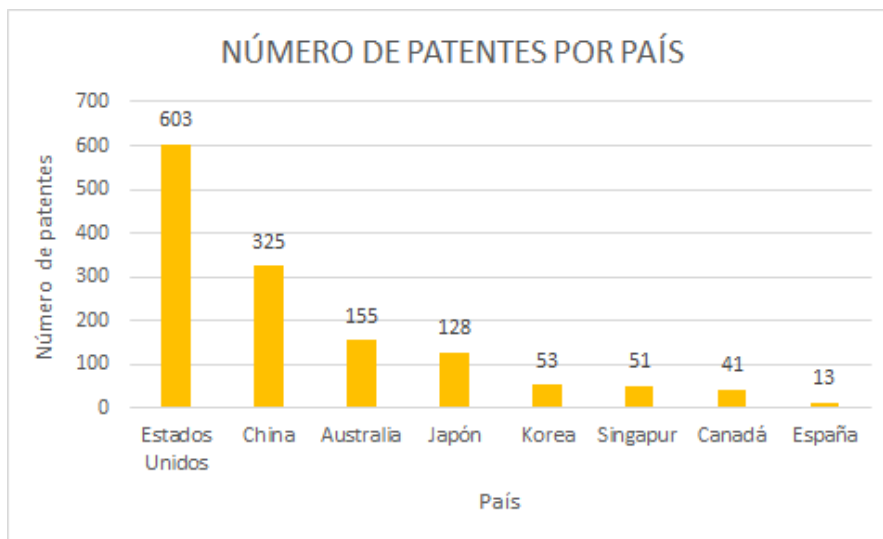
<i>lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas</i>	US2020347422A1	La presente solicitud se refiere a un proceso para la preparación de un producto de azúcar a partir de material lignocelulósico, dicho proceso comprende los pasos de (a) hidrolizar enzimáticamente el material lignocelulósico para obtener el producto de azúcar en un proceso que comprende los pasos de (i) tratar el material lignocelulósico con una composición enzimática que comprende una monooxigenasa lítica de polisacáridos, (ii) adición de oxígeno a la mezcla que comprende el material lignocelulósico y la composición enzimática, y (iii) adición de monooxigenasa de polisacáridos líticos a la mezcla que comprende el material lignocelulósico y la composición enzimática, y (b) opcionalmente, recuperación del producto de azúcar.
<i>lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas</i>	CN106086081A	La invención describe un método de pretratamiento de gasificación biológica para paja. El método comprende los siguientes pasos: trituración mecánica, pretratamiento de calentamiento y ajuste de la nutrición, donde en el pretratamiento de calentamiento, después de hidrolizarse, la hemicelulosa se enfría a la temperatura normal, se agregan microorganismos, se enfría la mezcla, se agregan bacterias mezcladas y pretratamiento combinado se realiza la descomposición.

<i>lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas</i>	CN109929881A	Un método para mejorar la eficiencia de producción de biogás de pajillas mediante el pretratamiento de lodos de biogás pertenece al campo de la protección del medio ambiente y la energía de biomasa. El método incluye pulverizar pajitas de trigo después de secarlas al aire y mezclar las pajitas de trigo con la suspensión de biogás de manera uniforme. El pretratamiento de inmersión en suspensión de biogás tiene funciones tanto químicas como biológicas, y no se requiere ningún aditivo adicional.
--	--------------	---

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

Gráficas para las patentes en Espacenet : Ecuación de Búsqueda #2

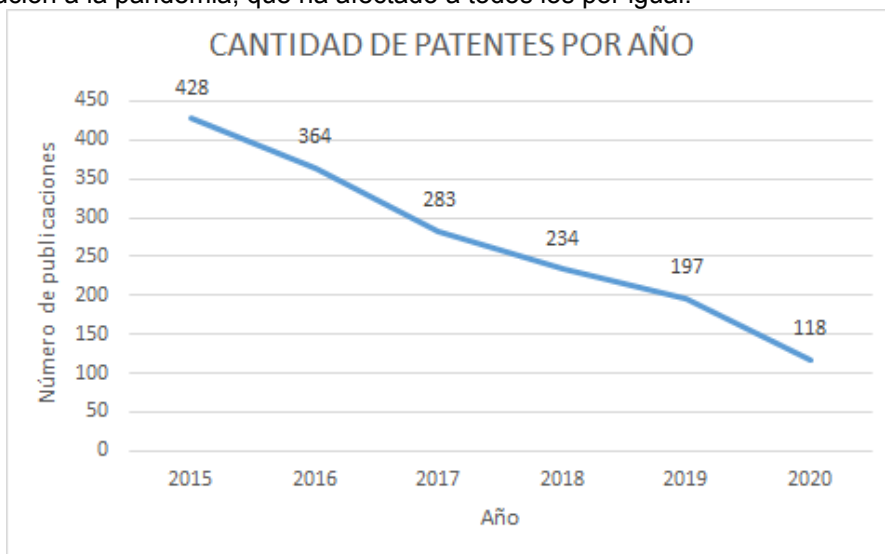
Mediante la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas***) se obtuvieron los datos correspondientes a los países con mayor cantidad de patentes aprobadas como se evidencia en la Gráfica 1, arrojando como principales resultados que los países pioneros en investigación son Estados Unidos con 603 patentes aprobadas, seguido de China con 325 patentes aprobadas, Australia con 155 patentes aprobadas, seguida por Japón con 128 y Corea con 53 por último el país con menor número de patentes aprobadas es España con 13. 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: Número de patentes por país
Fuente: Autores

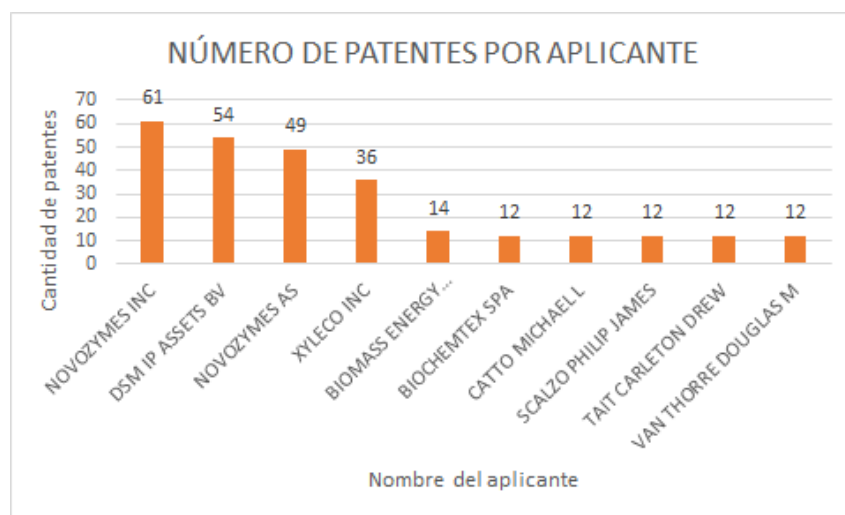
Mediante la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas***) se obtuvieron los datos de los países con mayor cantidad de patentes aprobadas en un rango de búsqueda de cinco años, que abarca desde el 2015 hasta el 2020 como se evidencia en la Gráfica 2, para 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 2015. En el periodo comprendido entre 2015 y 2020 se evidencia una disminución drástica en el número de patentes aprobadas por año, disminuyendo desde 428 en 2015 hasta 118 en 2020, esto se puede deber a

varios factores como la falta de medios para realizar dichas investigaciones, falta de apoyo a diversos proyectos encaminados en la producción de biogás y en el último año se puede dar crédito de la disminución a la pandemia, que ha afectado a todos los por igual.



Gráfica 2: Cantidad de patentes por año
Fuente: Autores

Mediante la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology 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 **NOVOZYMES INC** es la que cuenta con el número más alto con un total de 61 patentes, seguido de **DSM IP ASSETS BV** con 54 y nuevamente **NOVOZYMES AS** con 49. Lo anterior evidencia que NOVOZYMES es la industria que va a la cabeza en cuanto a desarrollo investigativo enfocado en la producción de biogás a partir de sustratos lignocelulósicos corresponde y aquella que ha sido pionera y ha estado a al vanguardia en investigación y descubrimiento de nuevas tecnologías para la producción de biogás.



Gráfica 3: Cantidad de patentes por aplicantes
Fuente: Autores

PUBLICACIONES INVESTIGATIVA BASE DATOS SCOPUS : ***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas***

Mediante la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas***) se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a número de publicaciones por año se refiere. En la Gráfica 4 se puede observar que en el año 2015 se reporta la menor cantidad de

publicaciones realizadas con un total de 1 publicación en total en comparación con los demás años, teniendo en cuenta que en 2016 la cantidad de publicaciones aumentó considerablemente con un total de 5. Los años posteriores el aumento fue mucho más significativo alcanzando un total de 9 publicaciones en 2019 y 8 en el último año.



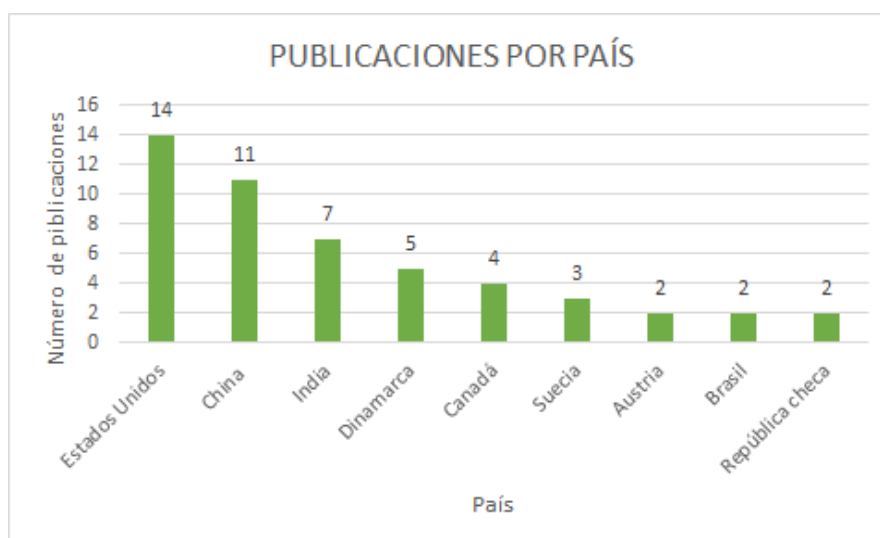
Gráfica 4: Cantidad de publicaciones por año
Fuente: Autores

Mediante la ecuación de búsqueda ***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology 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 5, arrojando como resultado que la entidad con mayor cantidad de publicaciones es ***The Ohio State University*** con un total de 3 y el ***Ohio Agricultural Research and Development Center*** también con 3 publicaciones realizadas, estas basan su línea de investigación en la implementación de tratamientos fúngicos y digestión anaerobia, además proponen oportunidades de mejora en los procesos, posteriormente está la ***University of California*** con 2 publicaciones registradas, esta universidad basa su línea de investigación en el aprovechamiento de los residuos agrícolas para la generación de energías alternativas, así mismo resolver la problemática del cambio climático, por último se presentan las entidades de ***Danmarks Tekniske Universitet, České vysoké učené technické v Praze, Oregon State University y China Agricultural University*** con 2 publicaciones cada una. Estas entidades basan sus investigaciones en el aprovechamiento de residuos de biomasa, proponiendo estrategias de mejora para la producción de biogás.



Gráfica 5: Cantidad de publicaciones por afiliación
Fuente: Autores

Mediante la ecuación de búsqueda ***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology 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 Gráfico 6, Estados Unidos es el país con mayor cantidad de publicaciones con un total de 14, seguido por China con 11 e India con 7 y por último está República Checa con 2 publicaciones registradas.



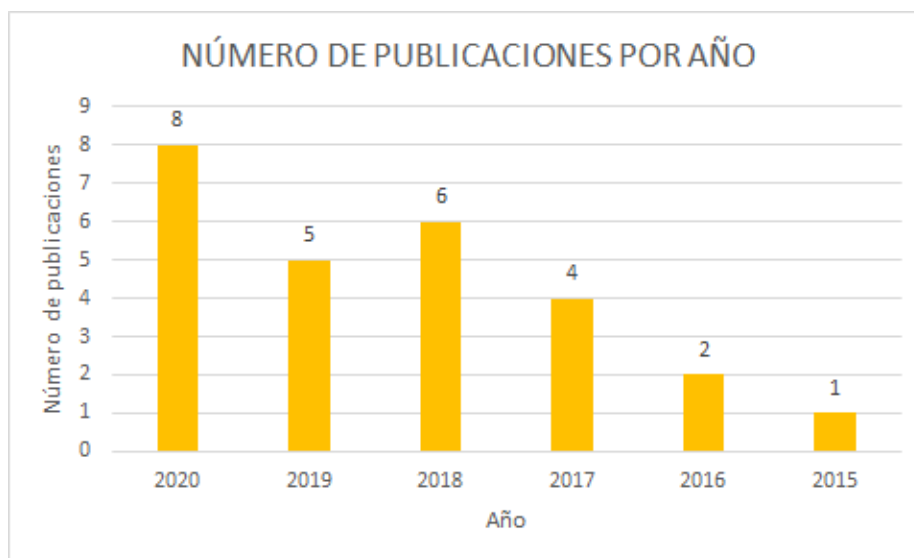
Gráfica 6: Cantidad de publicaciones por país
Fuente: Autores

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

1. *lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas*

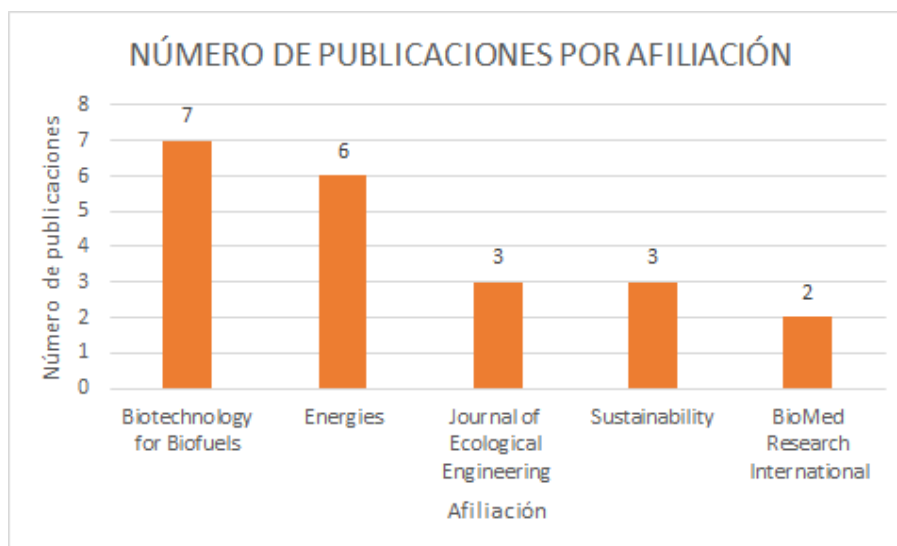
Mediante la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas***) se obtuvieron los resultados correspondientes a la cantidad de publicaciones por año como se evidencia en la Gráfica 7. Según lo anterior podemos observar que el año con menos

publicaciones fue el 2015, con un total de 1 y fue aumentando de manera progresiva con 2 resultados para el año 2016, 4 en el 2017, 6 para el año 2018, para el año 2019 hubo un decrecimiento en la cantidad de publicaciones con un total de 5, por último para el año 2020 arrojó como resultado 8 publicaciones.



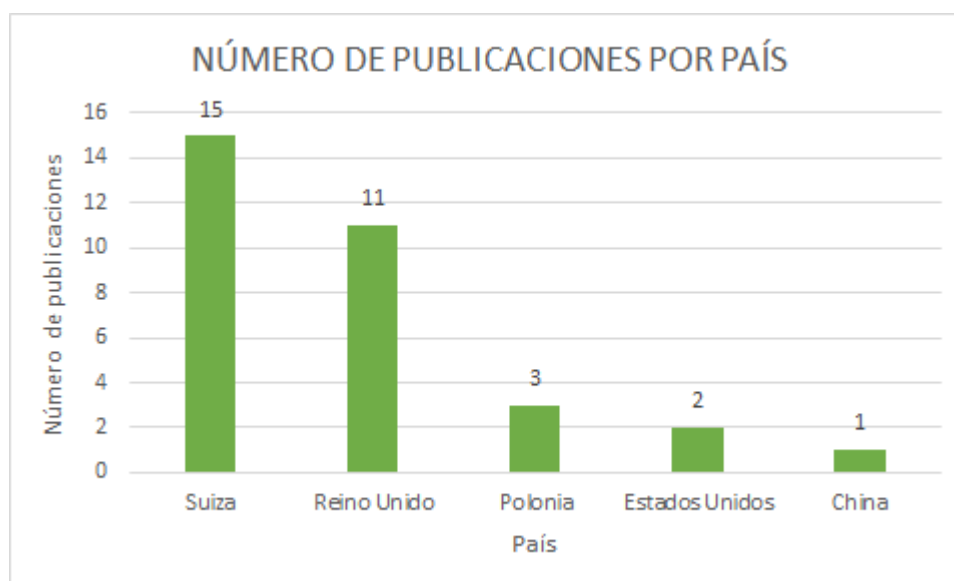
Gráfica 7: Número de publicaciones por año
Fuente: Autores

Mediante la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology 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 8, arrojando como resultado que la revista con el mayor número de publicaciones con un total de 7, es “**Biotechnology for Biofuels**” cuya línea de investigación es la comprensión y el avance de la aplicación de la biotecnología, la bioingeniería y la genética para mejorar las materias primas de plantas, algas y otras materias primas carbonáceas, así como el diseño de los sistemas de conversión. Su mejora es de relevancia crítica para la producción biológica de biocombustibles, bioquímicos y biomateriales derivados de biomasa vegetal o acuática, intermedios derivados de biomasa o CO₂. La siguiente revista con el mayor número de publicaciones lleva por nombre “**Énergies**” con un total de 6 publicaciones, esta revista basa sus publicaciones en temas multidisciplinarios en ingeniería e investigación energética, nos muestra un panorama de artículos relacionados a la conservación de la energía, la eficiencia energética, la biomasa y la bioenergía, la energía renovable, la oferta y la demanda de electricidad, el almacenamiento de energía, la energía en los edificios y sobre cuestiones económicas y políticas, siempre que dichos temas se encuentren en el contexto del alcance multidisciplinario más amplio de la energía. Las siguientes revistas con mayor número de publicaciones llevan por nombre “**Journal Ecological Engineering**”, “**Molecules**” con un total de 3 publicaciones, la primera revista basa su línea en evaluación física de materiales que se pueden utilizar para la restauración ecológica, estudios de modelos pequeños realizados en el laboratorio o invernadero con estudios artificiales (de aguas residuales) o cultivos, o estudios de casos sobre el tratamiento convencional de biomasa residual y eutrofización que no ofrecen un enfoque de restauración de ecosistemas dentro del documento. La segunda revista basa su línea de investigación en la transformación de biomasa residual con pretratamientos químicos con el fin de mejorar la bioconversión para el aumento de la producción de biogás, la última revista lleva por nombre “**Biomed Research International**” con un total de 2 publicaciones, esta revista basa su línea de investigación en la implementación de biotecnología con el fin de aumentar la degradación de la biomasa residual agroindustrial con el fin de generar un valor agregado.



Gráfica 8: Número de publicaciones por afiliación
Fuente: Autores

Mediante la ecuación de búsqueda (***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology 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 9, arrojando como resultado que el país con mayor número de publicaciones es Suiza con 15 publicaciones, este país hace una fuerte investigación en el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos o biomasa residual de cultivos esto con el fin generar un valor agregado mediante el aprovechamiento para la producción de biogás, el segundo país con mayor número de publicación es Reino Unido con un total de 11 publicaciones, este país se caracteriza por ser pionero en la conocida revolución llamada “gas verde” desde el año 2016. Esto ha venido ayudando a la disminución en el uso de combustibles fósiles y el aprovechamiento de biomasa para la producción de biogás y biocombustibles. El siguiente país con mayor número de publicaciones es Polonia con un total de 3 publicaciones, este país posee una gran problemática en cuanto al almacenamiento de residuos sólidos lo que conlleva a generar un aprovechamiento inmediato para la reducción de los mismos, los últimos países con la mayor número de publicaciones son Estados Unidos con 2 publicaciones y por último se encuentra China con 1 publicación.



Gráfica 9: Número de publicaciones por afiliación
Fuente: Autores

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO VOSviewer: Base datos Scopus

Ecuación Búsqueda #2: *lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas*

Para la ecuación de búsqueda ***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas*** se realizó un análisis bibliométrico con el programa VOSviewer como se muestra en la Figura 1. Para realizar dicho análisis se tuvo en cuenta el parámetro relacionado con citaciones y países, arrojando como resultado que el país con mayor número de citaciones es **Estados Unidos** con 391 para esta ecuación de búsqueda se encontró un pretratamiento iónico en el cual la celulosa se solubiliza en una serie de disolventes, por ejemplo, ácido fosfórico concentrado (CPA), N-metilmorfolina-N-óxido (NMMO) y líquidos iónicos (IL), y puede ser regenerada por un antidisolvente sin derivación importante para diversas aplicaciones. Por otro lado, la celulosa regenerada y mucho menos cristalina es altamente reactiva por su conversión biológica a azúcares, combustibles y productos químicos mediados por enzimas y/o microbios [4]. Esta capacidad se puede utilizar como núcleo pretratamiento para mejorar el bioprocesamiento de lignocelulosas. Como resultado de este pretratamiento se obtuvo una mejoría en la producción de biogás de un 37%.

El siguiente país con mayor número de citaciones es **India** con 92 citaciones, este país propone un tratamiento para minimizar una problemática basada en la cantidad de residuos de cultivos esto ha ganado gran atención debido a su exceso de disponibilidad en las zonas rurales, esta materia prima requiere un pretratamiento para aumentar su digestibilidad. Se investiga una combinación de tratamientos químicos (ceniza de cáscara de plátano e hidróxido de calcio) y térmicos (60-90 °C para intervalos de tiempo de 2, 6 y 10 h) Se emplearon varios métodos analíticos como espectroscopia infrarroja, SEM y degradación de la fibra (lignina, celulosa y hemicelulosa) para evaluar la eficacia del pretratamiento. La técnica de mayor duración y temperatura más alta mejoraron la biodegradabilidad en comparación con los tratamientos de corta duración y baja temperatura [5]. Los resultados para este pretratamiento se relacionan en la mejora de la producción de biogás, con una relación de un metro cúbico por unidad de kilogramo de sólidos volátiles de biomasa lignocelulósica, La mayor producción de biogás se dio a 90 °C durante 6 h con hidróxido de calcio esto produjo un incremento de un 62% a 66% en la producción de biogás.

El siguiente país con mayor número de citaciones es **México** con 29 este país propone un tratamiento basado en agregar materia orgánica disuelta la cual ayuda a aumentar la producción de biogás. Para este tratamiento se tiene como materia prima el bagazo de agave semisólido, el cual es sometido a explosión de vapor como pretratamiento. Este pretratamiento investiga la eficiencia de la hidrolización del bagazo de agave a través de la explosión de vapor (aplicando factores de gravedad entre 2,4 y 3,7 con una presión máxima de 0,98 MPa), así como la eficiencia de la bioconversión en ensayos de lotes anaeróbicos [6]. Este pretratamiento arrojó como resultado que la mayor eficiencia se obtuvo con 0,98 MPa de presión de vapor durante 22 minutos seguida de una rápida liberación de presión esto produjo una liberación del potencial bioquímico promedio de metano (BMP) de 290 ml/g con un 74% de producción de biogás en un tiempo de siete días.

Por último el país con mayor cantidad de citaciones es **Dinamarca** con 28 este país es relativamente nuevo en la investigación de biomasa lignocelulósica para la producción de biogás. El objetivo de este estudio fue investigar y evaluar la digestibilidad de las muestras de miscanto que se probaron utilizando tres métodos: ensayo de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), prueba de digestión por lotes anaerobios de alto rendimiento y método de hidrólisis, incluyendo una molienda y un tratamiento hidrotérmico antes del análisis. Se espera que las muestras de miscanto tuvieran diferentes digestibilidades debido a la etapa de madurez, el contenido de materia seca y la implementación de un tratamiento mecánico como la molienda. Arrojando como resultado que el pretratamiento más efectivo se produce con un tratamiento mecánico con ácido diluido generando un rendimiento del 23% en el aumento de la producción de biogás [7].

Red bibliométrica “Citaciones Vs País”



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

Para la ecuación de búsqueda **lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology 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 **“Solid-state anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Recent progress and perspectives”** con 141 este documento es de gran importancia en la vigilancia tecnológica ya que nos muestra datos de los rendimientos de biomasa y metano de las materias primas lignocelulósicas, los residuos de cultivos tienen el mayor potencial de producción de metano en los **Estados Unidos**, seguidos por la fracción orgánica de residuos sólidos municipales, residuos forestales y cultivos energéticos. Se han utilizado varias tecnologías de pretratamiento, como ácido diluido, explosión de vapor, alcalino, agua caliente, oxidación húmeda y métodos biológicos, para mejorar el rendimiento de metano durante la EA de diferentes tipos de biomasa lignocelulósica, incluidos los desechos de procesamiento de alimentos, residuos agrícolas, sólidos municipales. residuos y cultivos energéticos. El pretratamiento alcalino fue particularmente efectivo para maderas blandas, como el abeto, Se reviso un estudio con un pretratamiento alcalino con diferentes reactivos (NaOH / tiourea, NaOH / urea, NaOH / urea / tiourea y NaOH / PEG) a diferentes temperaturas (15, 0, 22 y 80 C), alrededor del 11 al 23% de La lignina del abeto se eliminó en 16 h de pretratamiento [8]. Los pretratamientos mejoraron el rendimiento de glucosa del abeto de 11% a 57%. El mayor rendimiento de glucosa (57%) se obtuvo mediante el pretratamiento con NaOH / tiourea a 15 C el rendimiento de metano a 210 L / kg VS durante el proceso de digestión anaerobia posterior.

Otro pretratamiento mencionado en documento antes mencionado se realizó con hongo de podredumbre blanca, **Ceriporiopsis subvermispora**, se ha utilizado comúnmente para el pretratamiento biológico de biomasa lignocelulósica. Se logró un aumento del 400% en el rendimiento de metano de las astillas de madera de cedro japonés utilizando C. subvermispora para el pretratamiento de hongos, aunque el rendimiento final mejorado de metano fue todavía bajo (43 L / kg VS) [9]. El pretratamiento fúngico de chips de albizia con C. subvermispora logró un aumento del 370% en el rendimiento de metano, que fue más efectivo que el pretratamiento de los recortes de jardín con la misma cepa. Después del pretratamiento, se ha demostrado que la mayoría de la biomasa lignocelulósica obtiene rendimientos de metano superiores a 200 L / kg.

El siguiente documento lleva por título **“Cellulose solvent-based pretreatment for enhanced second-generation biofuel production: a review”** con 67 citaciones, este documento nos ayuda a la vigilancia tecnológica a proponer las tecnologías de fraccionamiento lignocelulósico a base de disolventes para celulosa con el fin de mejorar la hidrólisis enzimática mejorando la producción de biocombustibles y productos químicos renovables. La primera parte se centra en la información de antecedentes de la biomasa lignocelulósica, el biogás derivado de lignocelulósico, el bio-hidrógeno y el etanol, así como la producción de acetona, butanol y etanol, y la hidrólisis enzimática. En la segunda parte, se han revisado a fondo las condiciones para los pretratamientos que aplican

disolventes, las mejoras en las tasas de hidrólisis enzimática y los rendimientos de los sólidos resultantes de la aplicación de estos pretratamientos y las características de la estructura lignocelulósica que afectan el bioprocesamiento mejorado [10].

Por último el siguiente documento lleva por título **“Urea ammoniated pretreatment improving dry anaerobic fermentation characteristics of rice straw”** con 10 citaciones este documento se basa mejorar la biodegradabilidad de la paja de arroz, el contenido de lignocelulosa antes y después del pretratamiento de la paja de arroz se estudió por diferentes fracciones de masa de urea (2%, 4%, 6%, 8%, 10%) y diferentes temperaturas de pretratamiento (25, 30, 35, 40, 45, 50 °C) por método de pretratamiento de urea amoníaco y la influencia del cambio de cantidad y las características de producción de gas de fermentación seco [11]. Los resultados de este tratamiento muestran que las diferentes fracciones de masa de urea tienen un impacto significativo en el efecto de pretratamiento de la paja de arroz. El pretratamiento de urea puede destruir la estructura de la celulosa de lignina en la paja de arroz. La relación carbono-nitrógeno de la paja de arroz después del pretratamiento se reduce, y la producción acumulada de gas de paja de arroz pretratada es de 20,67 % a 38,20% mayor que la del grupo no tratado ($P < 0.05$). Las diferentes temperaturas previas al tratamiento no tienen un impacto significativo en el efecto previo al tratamiento de la paja de arroz, y el efecto previo al tratamiento de la urea se ve afectado principalmente por la fracción de masa urea.

Red bibliométrica “Citaciones Vs Documentos”

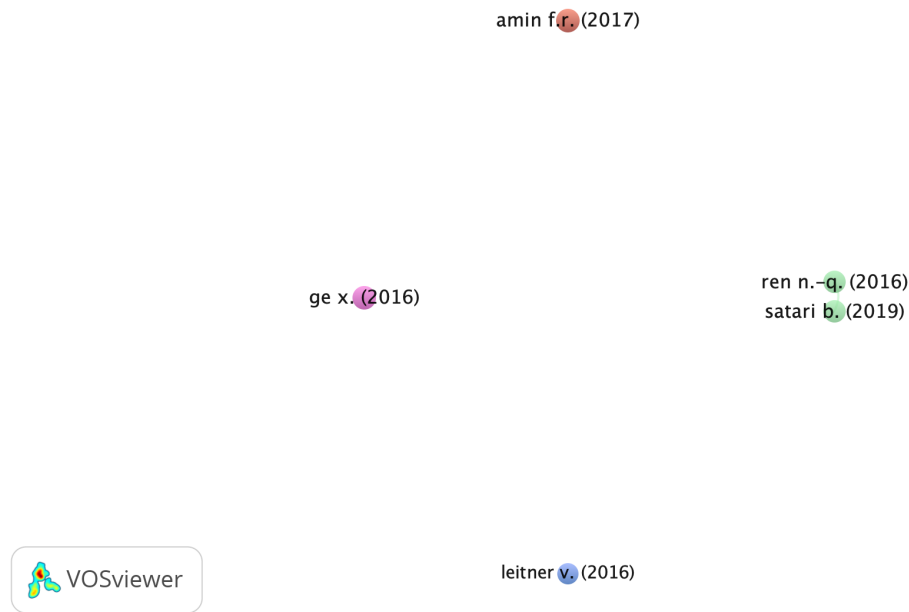


Figura 2: Red bibliométrica Citaciones Vs Documentos
Fuente: Autores

Para la ecuación de búsqueda ***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology 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 **Li W.** con 143 citas este autor basa su línea de investigación en los pretratamientos de la biomasa lignocelulósica a partir de microorganismos y cómo mejorar su rendimiento a través de los mismo, el siguiente autor con el mayor número de citas lleva por nombre **Bernet N.** con 47 citas este autor basa su línea de investigación en proponer tecnologías microbiológicas presentados los distintos rendimientos y optimizando los mismo uno de los documentos más importantes de este autor pretende realizar una revisión para proporcionar algunas pautas sobre qué tipo de pretratamiento biológico aplicar para una materia prima determinada. El siguiente autor lleva por nombre **Chen C.** con un total de 34 citas este autor basa su línea de investigación la innovación tecnológica para el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos, de la misma manera este autor evalúa los distintos rendimientos pertenecientes a los nuevos tratamientos propuestos, una de las publicaciones más importantes de este autor lleva por nombre **“Métodos de pretratamiento de la biomasa lignocelulósica para la digestión anaeróbica”** el cual tiene como fin estudiar los cambios físicos y químicos que ocurren durante el pretratamiento de la biomasa desarrollando modelos mecánicos y eficaces que se puedan emplear para el diseño de tecnologías (físicas, químicas y biológicas) evaluadas a escala piloto, por último el autor más citado lleva por nombre **Zhang Y.** con un total de 29 citas este autor basa su línea de investigación en la mejora de los pretratamientos químicos, con el fin de aumentar de manera significativa la solubilidad de la celulosa.

Red bibliométrica “Citas Vs Autores”

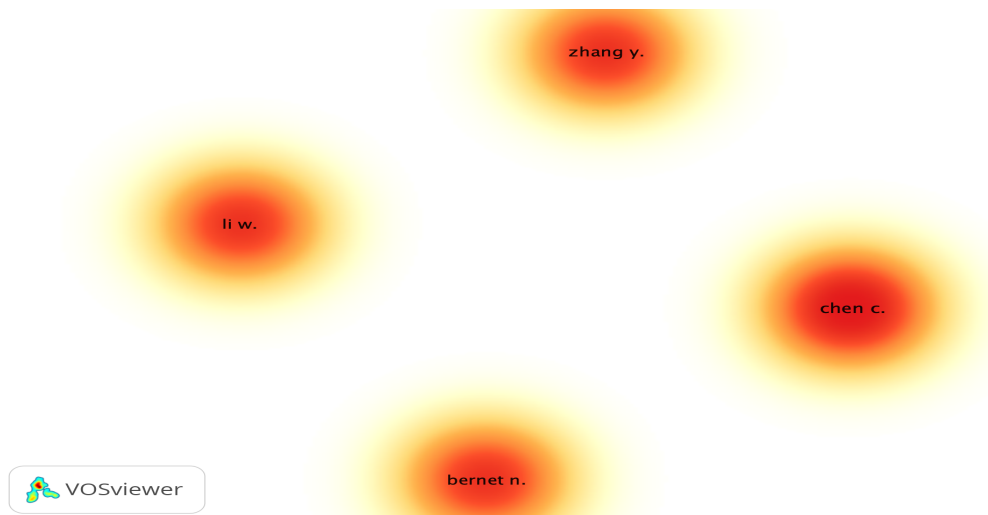


Figura 3: Red bibliométrica Citaciones Vs Autores
Fuente: Autores

Para la ecuación de búsqueda ***lignocellulosic biomass AND pretreatment 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 palabras claves que más se correlacionan con nuestra ecuación de búsqueda son: Biogás con un total de 230 citaciones, Biocombustible con 200 citaciones, Lignina con 153 citaciones, Biomasa con 144 citaciones por último Digestión Anaerobia con 123 citaciones, estas palabras claves están correlacionadas en todos los textos investigados para la ecuación de búsqueda antes mencionada.

Red bibliométrica “Incidencia Vs Palabras Claves”

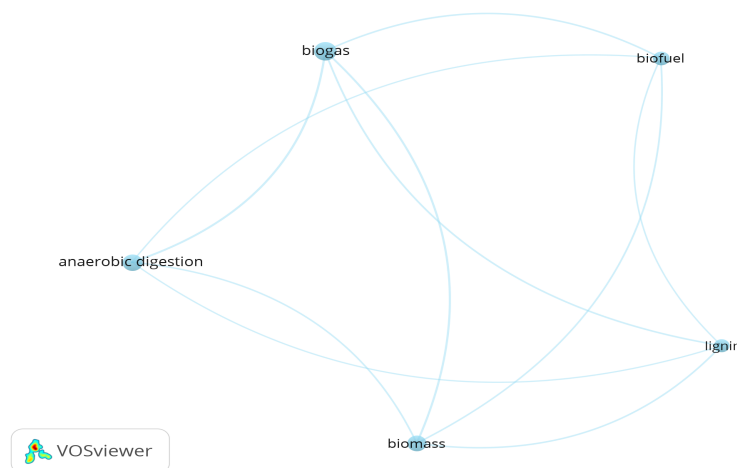


Figura 4: Red bibliométrica Incidencia Vs Palabras Claves
Fuente: Autores

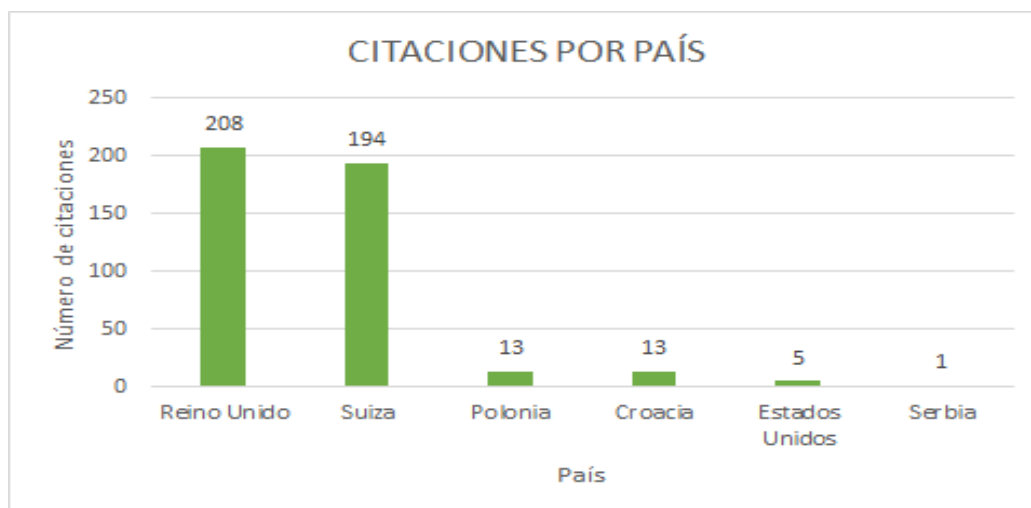
ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO EXCEL : Base de datos DOAJ

Ecuación Búsqueda #2: ***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas***

Para la ecuación de búsqueda ***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas*** se realizó un análisis bibliométrico con el software Excel como se muestra en la Gráfica 10. Arrojando como resultado que el país con mayor número de citaciones es **Reino Unido** con un total de 208 citaciones, este país propone un método innovador el cual tiene como objetivo investigar la viabilidad de la producción de biogás por AD a partir de lignina por hidrólisis (HL), preparada por explosión de vapor (SE) y sacarificación enzimática de abedul. Se utilizó una nueva técnica de bolsa de nylon junto con la espectroscopia de resonancia magnética nuclear bidimensional, la pirólisis-cromatografía de gases-espectrometría de masas (Py-GC/MS) y la espectroscopia de infrarrojo de transformación de Fourier (FTIR) para identificar estructuras recalcitrantes y degradables en la lignina durante la EA. El rendimiento de metano obtenido de HL fue casi dos veces mayor que el metano teórico de la fracción de carbohidratos sola, lo que indica que parte de la lignina se convirtió en metano. El rendimiento energético para la producción combinada de etanol y biogás fue de 8,1 MJ de combustible por kg de DM de sustrato (4,9 MJ/kg de etanol y 3,2 MJ/kg de metano). Conclusión Este estudio muestra el beneficio de usar una nueva técnica de bolsa junto con técnicas analíticas avanzadas para investigar los mecanismos de degradación de la lignina durante la EA, y también apunta a una posible aplicación del LH producido en plantas de bioetanol celulósico [12].

El siguiente país con el mayor número de citaciones es **Suiza** con 194, este país propone un documento en el cual nos menciona las limitaciones de los pretratamientos, de la misma manera nos menciona que la eficiencia de los métodos de pretratamiento depende de la materia prima y su composición, Independientemente del método de pretratamiento que se vaya a emplear, la reducción del tamaño de partícula de la biomasa lignocelulósica es el método de pretratamiento primario más común. Aunque, en general, el pretratamiento mecánico está significativamente relacionado con el aumento del rendimiento de metano, una de las desventajas del proceso mecánico es su incapacidad para eliminar la lignina, una barrera crítica con respecto a la biodisponibilidad de los carbohidratos para la biometanización. La reducción de tamaño es una operación muy costosa ya que consume alrededor del 33% de la demanda total de electricidad para todo el proceso. Teniendo en cuenta el alto requisito de energía del pretratamiento mecánico y el aumento del costo de la energía, no es económicamente sostenible. En el caso del pretratamiento químico, el costo de los reactivos y el funcionamiento, como el paso adicional para la neutralización y el requisito de reactores resistentes a la corrosión son las limitaciones conocidas. Además, la formación de compuestos inhibidores es un punto a considerar, ya que puede inhibir o reducir significativamente la eficiencia de conversión de hidrolizados de la biomasa lignocelulósica en metano. En el caso del pretratamiento alcalino, es eficaz en la solubilización de la lignina y la presencia de una pequeña cantidad de álcali residual en la biomasa tratada ayuda a neutralizar la reducción del pH durante la fase de acidogénesis del proceso de biometanización. Por lo tanto, el pretratamiento alcalino es más compatible con la digestión anaeróbica. A pesar de las ventajas, los pretratamientos biológicos también tienen varios inconvenientes importantes, como condiciones de crecimiento específicas, mayor espacio, tiempo de tratamiento más largo y pérdida de carbohidratos [13]. El pretratamiento biológico presenta una baja formación de compuestos inhibidores y, en general, su efecto de inhibición en el paso posterior de la digestión anaeróbica es bajo, en comparación con los pretratamientos químicos y fisicoquímicos.

Por último el país con mayor número de citaciones es **Serbia** con una publicación este país es tenido en cuenta ya que inicia el proceso de pretratamientos, para este estudio se evaluó el rendimiento de los residuos de sagú provenientes del procesamiento de tallos de sagú, esta biomasa debe ser tratada con el fin de separar la lignocelulosa la cual se puede utilizar como materia prima para la producción de biogás, con el fin de evaluar un tratamiento previo a la fermentación anaeróbica, se realizó una molienda de la biomasa en trozos pequeños, de la misma manera se realizó un pretratamiento químico mediante el uso de disolvente NaOH y el pretratamiento biológico utilizó un consorcio microbiano. La caracterización de los residuos sólidos de sagú pretratados se analizó con microscopía electrónica de barrido (SEM) combinada con rayos X de dispersión de energía (EDX) para el análisis de la composición de elementos inorgánicos. La combinación de estos tratamientos arrojó como resultado la degradación de la lignina hasta el 3,47% y la hemicelulosa 8,01% con una producción de biogás de un 35,5% con respecto de la biomasa no pretratada [14].



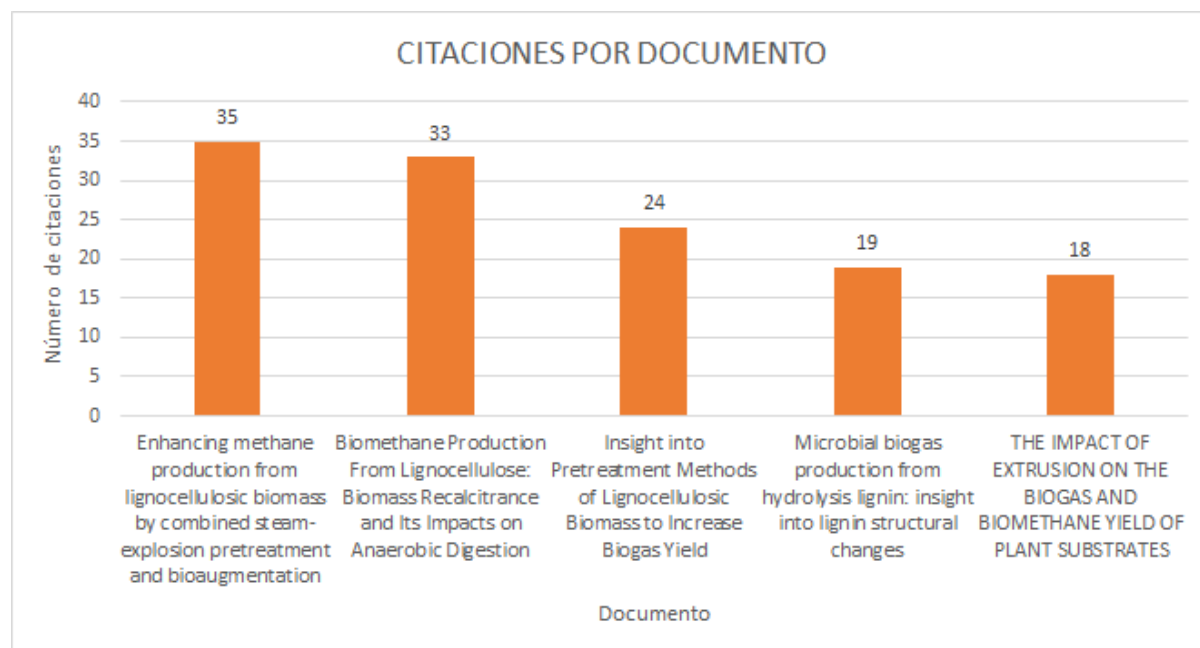
Gráfica 10: Número de citaciones por país
Fuente: Autores

Para la ecuación de búsqueda ***lignocellulosic biomass AND pretreatment AND technology AND biogas*** se realizó un análisis bibliométrico con la plataforma Excel como se muestra en la Gráfica 11, 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 ***“Enhancing methane production from lignocellulosic biomass by combined steam-explosion pretreatment and bioaugmentation with cellulolytic bacterium *Caldicellulosiruptor bescii*”*** con un total de 35 este artículo tiene como objetivo emplear el pretratamiento y bioaumentación del tratamiento con explosión a vapor con la bacteria celulolítica *C. bescii* en condiciones termofílicas (62 °C) para reducir la recalcitrancia de la biomasa, mejorar la hidrólisis y aumentar los rendimientos de biogás de un sustrato lignocelulósico. El abedul se utilizó como sustrato lignocelulósico modelo, que es un representante de especies de madera dura ampliamente distribuidas y disponibles en las regiones templadas del hemisferio norte [15]. Además, se estudiaron los posibles cambios en las estructuras de las comunidades de bacterias y arqueas en las muestras recolectadas. El presente estudio se tomó en cuenta en la ecuación de búsqueda #1 al momento de analizar la citación por países.

El siguiente documento con mayor número de citaciones lleva por nombre ***“Microbial biogas production from hydrolysis lignin: Insight into lignin structural changes”*** con 19 citaciones, este documento tiene como objetivo evaluar la tasa inicial de producción de metano del abedul pretratado mediante la hidrólisis de la lignina y el pretratamiento con explosión a vapor, el rendimiento más alto se obtuvo a partir de la biomasa pretratada ya que presenta una mayor accesibilidad del material de abedul a las bacterias anaeróbicas. El abedul explotado con vapor alcanzó un rendimiento máximo de metano después de 16 días, el material sin tratar necesitó 39 días para alcanzar rendimientos similares. En este estudio, el efecto principal del pretratamiento con explosión a vapor está en la tasa de producción de metano, no en el rendimiento final. Estudios previos han demostrado que la explosión a vapor puede aumentar la tasa de producción inicial de metano, teniendo en cuenta que el aumento del rendimiento de metano depende principalmente del tipo de sustrato y factor de severidad en función de temperatura y tiempo de retención. El rendimiento de metano aumentó de 291 ml / g VS en paja de colza sin tratar a 257 ml / g VS en paja pretratada con explosión a vapor con un factor de severidad de 230 ° C, 10 min [16].

El último documento con mayor número de citación lleva por nombre ***“The impact of extrusion on the biogas and biomethane yield of plant substrates”*** con un total de 18. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del pretratamiento por extrusión en el rendimiento de biogás y biometano de sustratos lignocelulósicos como el ensilado de maíz y el ensilado de paja de maíz. Se compararon los rendimientos de biogás de los sustratos antes y después del tratamiento. Además, se analizó la eficiencia energética del pretratamiento por extrusión para evaluar la aplicabilidad del proceso en una planta agrícola de biogás. Las pruebas de extrusión se llevaron a cabo en una extrusora corta de un solo tornillo KZM-2 en la que la relación longitud-diámetro del tornillo era de 6:1 y la velocidad de rotación era de 200 rpm. Las pruebas de rendimiento de biogás de los sustratos de la planta después de la extrusión se llevaron a cabo a escala de laboratorio, utilizando 15 biofermentadores operados de manera periódica, a una temperatura constante de 39 °C (digestión mesofílica) y condiciones de pH controladas. El análisis de emisiones de gases se realizó utilizando un analizador de gas certificado de Geotech GA5000. Se observó que el pretratamiento por extrusión

mejora la cantidad de metano generado: en términos de materia fresca para el ensilado de maíz sometido a extrusión, el rendimiento de metano fue un 16,48 % mayor que el del ensilado no extruido. Por otro lado, el ensilado de paja de maíz después de la extrusión dio un 35,30% más de metano que el mismo material no extruido [16].



Gráfica 11: Número de citaciones por documentos
Fuente: Autores

Bibliografía :

- [1] M. Appeldoorn, B. Noordam, and J. P. J. Schmitz, "PROCESS FOR ENZYMATIC HYDROLYSIS OF LIGNOCELLULOSIC MATERIAL AND FERMENTATION OF SUGARS," *espacenet*, 05-Nov-2020. [Online]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/060191230/publication/US2020347422A1?q=US2020347422A1>. [Accessed: 14-May-2021].
- [2] F. Xu, "Biological gasification pretreatment method for straw," *Espacenet*, 09-Nov-2016. [Online]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/057236237/publication/CN106086081A?q=CN106086081A>. [Accessed: 14-May-2021].
- [3] C. Shikun, L. Zifu, L. Ting, S. Jiachen, and Z. Xiaoqin, "Method for enhancing biogas production efficiency of straws by pretreatment of biogas slurry," *espacenet*, 25-Jun-2019. [Online]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/066987828/publication/CN109929881A?q=CN109929881A>. [Accessed: 14-May-2021].
- [4] B. Satari, K. Karimi, and R. Kumar, "Cellulose solvent-based pretreatment for enhanced second-generation biofuel production: a review," *Sustainable Energy & Fuels*, 28-Sep-2018. [Online]. Available: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/se/c8se00287h#!divAbstract>. [Accessed: 15-May-2021].
- [5] B. Satari, K. Karimi, and R. Kumar, "Cellulose solvent-based pretreatment for enhanced second-generation biofuel production: a review," *Sustainable Energy & Fuels*, 28-Sep-2018. [Online]. Available: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/se/c8se00287h#!divAbstract>. [Accessed: 15-May-2021].

- [6] B. Weber, A. Estrada-Maya, A. C. Sandoval-Moctezuma, and I. G. Martínez-Cienfuegos, "Anaerobic digestion of extracts from steam exploded Agave tequilana bagasse," *Journal of Environmental Management*, 03-Jun-2019. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719307212>. [Accessed: 15-May-2021].
- [7] S. Frydendal-Nielsen, U. Jørgensen, M. Hjorth, C. Felby, and R. Gislum, "Comparing methods for measuring the digestibility of miscanthus in bioethanol or biogas processing," *Wiley Online Library*, 29-Jun-2016. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcbb.12377>. [Accessed: 15-May-2021].
- [8] [30] 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].
- [9] B. Satari, K. Karimi, and R. Kumar, "Cellulose solvent-based pretreatment for enhanced second-generation biofuel production: a review," *Sustainable Energy & Fuels*, 28-Sep-2018. [Online]. Available: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/se/c8se00287h#!divAbstract>. [Accessed: 15-May-2021].
- [10] L. Luo, Q. Ding, W. Gong, Z. Wang, W. Li, and L. Qin, "Urea ammoniated pretreatment improving dry anaerobic fermentation characteristics of rice straw," *Latest TOC RSS*, 01-Oct-2015. [Online]. Available: <https://www.ingentaconnect.com/content/tcsae/tcsae/2015/00000031/00000019/art00033>. [Accessed: 15-May-2021].
- [11] D. G. Mulat, J. Dibdiakova, and S. J. Horn, "Microbial biogas production from hydrolysis lignin: insight into lignin structural changes," *Biotechnology for Biofuels*, 09-Mar-2018. [Online]. Available: https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-018-1054-7?utm_campaign=BSLB_TrendMD_2019_LSGR_BioForBio&utm_source=TrendMD&utm_medium=cpc. [Accessed: 15-May-2021].
- [12] J. U. Hernández-Beltrán, I. O. Hernández-De Lira, M. M. Cruz-Santos, A. Saucedo-Luevanos, F. Hernández-Terán, and N. Balagurusamy, "Insight into Pretreatment Methods of Lignocellulosic Biomass to Increase Biogas Yield: Current State, Challenges, and Opportunities," *MDPI*, 06-Sep-2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/18/3721>. [Accessed: 15-May-2021].
- [13] N. Hammado, S. Utomo, and undefined Budiyo, "Characteristic lignocellulose of sago solid waste for biogas production," *Mendeley*, 01-Jan-1970. [Online]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/afa7f1fa-f1cb-3685-abf2-e13c3f996553/>. [Accessed: 15-May-2021].
- [14] D. G. Mulat, S. G. Huerta, D. Kalyani, and S. J. Horn, "Enhancing methane production from lignocellulosic biomass by combined steam-explosion pretreatment and bioaugmentation with cellulolytic bacterium *Caldicellulosiruptor bescii*," *Biotechnology for Biofuels*, 29-Jan-2018. [Online]. Available: <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-018-1025-z>. [Accessed: 15-May-2021].
- [15] D. G. Mulat, J. Dibdiakova, and S. J. Horn, "Microbial biogas production from hydrolysis lignin: insight into lignin structural changes," *Biotechnology for Biofuels*, 09-Mar-2018. [Online]. Available: https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-018-1054-7?utm_campaign=BSLB_TrendMD_2019_LSGR_BioForBio&utm_source=TrendMD&utm_medium=cpc. [Accessed: 15-May-2021].
- [16] K. Pilarski, A. A. Pilarska, K. Witaszek, Z. Dworecki, T. Żelaziński, A. Ekielski, A. Makowska, and J. Michniewicz, "THE IMPACT OF EXTRUSION ON THE BIOGAS AND BIOMETHANE YIELD OF PLANT SUBSTRATES," *Journal of Ecological Engineering*, 20-

Sep-2016. [Online]. Available: <http://www.jeeng.net/THE-IMPACT-OF-EXTRUSION-ON-THE-BIOGAS-AND-BIOMETHANE-YIELD-OF-PLANT-SUBSTRATES,64563,0,2.html>. [Accessed: 15-May-2021].