

**VIGILANCIA TECNOLÓGICA DE DIGESTIÓN ANAEROBIA EN COLOMBIA
MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE BIBLIOMÉTRICO ESPECIALIZADO**

**CAMILO ANDRÉS ÁLVAREZ VILLAMIZAR
JUAN PABLO PERALTA CHAPARRO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

**VIGILANCIA TECNOLÓGICA DE DIGESTIÓN ANAEROBIA EN COLOMBIA
MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE BIBLIOMÉTRICO ESPECIALIZADO**

**CAMILO ANDRÉS ÁLVAREZ VILLAMIZAR
JUAN PABLO PERALTA CHAPARRO**

**Trabajo presentado como requisito para optar por el título de:
Ingeniero Químico**

Directores

HUMBERTO ESCALANTE HERNÁNDEZ

Ingeniero Químico, Ph. D.

LILIANA DEL PILAR CASTRO MOLANO

Ingeniera Química, Ph. D.

Universidad Industrial de Santander

Codirector

MANUEL JESÚS COBO MARTÍN

Ingeniero Informático, Ph. D.

Universidad de Granada, España

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

AGRADECIMIENTOS

A la doctora Liliana, por concedernos su voto de confianza y haber creído en nosotros para la realización de este proyecto, por su orientación y sus valiosos consejos.

Al doctor Humberto, por su orientación, su paciencia y la ayuda que nos brindó.

Al doctor Manuel, por su disposición y su colaboración incondicional desde el otro lado del Atlántico.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, mi creador, principio supremo de la sabiduría, la fuente de mi fortaleza, mi baluarte y mi alcázar, gracias por haberme concedido el don precioso de la vida, gracias por levantar la toalla que en ocasiones la dejo caer y decirme que esta lucha es de los dos, somos un equipo invencible, y nos quedan un sinnúmero de batallas por conquistar y cumbres por alcanzar, gracias por estar ahí en los momentos más difíciles; pero, también en los momentos de triunfo, gracias por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi Señora Madre, Alcira, modelo de abnegación y entrega, gracias por concederme el don precioso de la existencia, gracias por escucharme, por tratar de comprenderme y por tener la mayor paciencia del mundo.

A mi Señor Padre, Reynaldo, gracias por concederme el don hermoso de la vida, modelo de fuerza, disciplina y trabajo, gracias por apoyarme de forma incondicional en todos mis proyectos y empresas.

A Camila, mi querida hermana, gracias por ser mi amiga para toda la vida.

A todos los hombres y mujeres talentosos que han contribuido a la consolidación de la Ingeniería Química a lo largo de las décadas y la han convertido en el motor del desarrollo, económico y social de nuestra gran nación.

A Jacques Lucien Monod (1910 – 1976) , Premio Nobel de Fisiología y Medicina 1965, uno de los hombres más brillantes que ha tenido la biología y que gracias a su dedicación a la ciencia impulsó el inicio de este proyecto de grado.

“Los códigos, los sistemas, los estatutos por sabios que sean, son obras muertas que poco influyen sobre las sociedades: hombres virtuosos, hombres patriotas, hombres ilustrados constituyen las repúblicas.”

Simón Bolívar. Discurso ante el Congreso de Angostura 15 de febrero de 1819.

Non Nobis Solum Nati Sumus

Omnia Mea Mecum Porto

Juan Pablo Peralta Chaparro

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	16
1.1 VIGILANCIA TECNOLÓGICA.....	16
1.1.1 Indicadores bibliométricos.....	17
1.2 SOFTWARE BIBLIOMÉTRICO (SciMAT).....	20
1.3 DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	20
1.3.1 Fundamentos de la digestión anaerobia.....	22
2 METODOLOGIA.....	23
2.1 ETAPA I: RECOPIACION DE LA INFORMACION.....	23
2.1.1 Selección de fuentes bibliográficas.....	23
2.1.2 Conformación de la base de datos.....	25
2.2 ETAPA II: CONSTRUCCION DE MAPAS TECNOLOGICOS.....	25
2.3 ETAPA III: ESTRUCTURACION DEL PROCESO DE VIGILANCIA.....	27
2.3.1 Indicadores de producción.....	27
2.3.2 Indicadores de colaboración.....	28
2.3.3 Indicadores relacionales de primera generación.....	28
2.3.4 Indicadores relacionales de segunda generación.....	29
2.3.5 Indicador de citación: Índice de Price.....	29
3 RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	30
3.1 PROCESO DE VIGILANCIA TECNOLOGICA PARA LA DIGESTIÓN ANAEROBIA EN COLOMBIA.....	30
3.1.1 Indicadores de producción.....	30
3.1.2 Indicadores de colaboración.....	38
3.1.3 Indicadores relacionales de primera generación.....	40
3.1.4 Indicadores relacionales de segunda generación.....	42
3.1.5 Indicador de citación: Índice de Price.....	45
4 CONCLUSIONES.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXOS.....	67

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Descripción de las fuentes de información.	23
Tabla 2. Revistas nacionales.....	24
Tabla 3. Indicadores de evaluación del proceso de vigilancia.....	27
Tabla 4. Distribución de artículos por autores.	33
Tabla 5. Distribución de artículos en revistas nacionales.	35
Tabla 6. Distribución de artículos por descriptores.....	35
Tabla 7. Análisis de artículos por temática especializada: manejo de biogás.	36
Tabla 8. Distribución de artículos por número de firmas.	38
Tabla 9. Índice de Price.....	45

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Descripción conceptual del diagrama estratégico.....	19
Figura 2. Metodología de construcción de mapas tecnológicos.....	25
Figura 3. Distribución de artículos según bases de datos consultadas.....	31
Figura 4. Distribución de artículos por años.....	31
Figura 5. Clasificación de artículos por temática especializada.	38
Figura 6. Patrones de colaboración.	39
Figura 7. Red de co-autoría de investigadores.	40
Figura 8. Red de co-autoría de instituciones.....	42
Figura 9. Diagrama estratégico variables del proceso.	44
Figura 10. Módulo de gestión de la base de conocimiento.	67
Figura 11. Módulo de elaboración de mapas científicos.	68
Figura 12. Módulo de visualización de mapas y resultados.	68
Figura 13. Diagrama estratégico modelamiento y control.	76
Figura 14. Diagrama estratégico manejo del digerido.....	77
Figura 15. Diagrama estratégico manejo de biogás.....	79
Figura 16. Diagrama estratégico microbiología.....	80
Figura 17. Diagrama estratégico configuración de reactores.....	81

LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Descripción y funcionamiento de SciMAT.....	67
Anexo B. Distribución de artículos por instituciones.....	72
Anexo C. Distribución de artículos en revistas nacionales.	74
Anexo D. Distribución de artículos en revistas internacionales.....	75
Anexo E. Análisis de diagramas estratégicos por temáticas especializadas.	76
Anexo F. Análisis de artículos por temática especializada: variables del proceso.	76
Anexo G. Análisis de artículos por temática especializada: configuración de reactores. .	83
Anexo H. Análisis de artículos por temática especializada: modelamiento y control.	84
Anexo I. Análisis de artículos por temática especializada: manejo del digerido.....	85
Anexo J. Análisis de artículos por temática especializada: microbiología.....	87
Anexo K. Red de co-autoría de investigadores	88

RESUMEN

TÍTULO: VIGILANCIA TECNOLÓGICA DE DIGESTIÓN ANAEROBIA EN COLOMBIA MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE BIBLIOMÉTRICO ESPECIALIZADO*

AUTORES: CAMILO ANDRÉS ÁLVAREZ VILLAMIZAR, JUAN PABLO PERALTA CHAPARRO**

PALABRAS CLAVE: Vigilancia tecnológica, bibliometría, mapa tecnológico, digestión anaerobia, indicadores.

DESCRIPCIÓN:

En un contexto cada vez más competitivo y globalizado se hace necesario la implementación de herramientas tecnológicas encaminadas a la generación de desarrollo e innovación; por lo anterior, se ha identificado la necesidad de vigilar el entorno científico como una prioridad, otorgando especial atención a la línea de investigación en digestión anaerobia, por sus características de cambio a lo largo de los años.

En el presente trabajo se implementó un proceso de vigilancia tecnológica con la información contenida en diferentes bases de datos a nivel internacional, latinoamericano y nacional; por otro lado, los mapas científicos fueron elaborados mediante el uso del software SciMAT, desarrollado por la Universidad de Granada, España. El caso de estudio fue la línea de investigación de digestión anaerobia en Colombia en el periodo comprendido entre 1988 y 2014, donde se tuvieron en cuenta las investigaciones desarrolladas por autores colombianos y en territorio nacional.

Mediante indicadores bibliométricos se identificaron tendencias en productividad, colaboración y temáticas especializadas; con el fin evitar que se aborden temas que ya han sido estudiados o que están lo suficientemente maduros.

Finalmente se concluye sobre la necesidad de recurrir a este tipo de estudios como instrumento importante para el desarrollo tecnológico en el sector dado y sus posibilidades de implementación en cualquier campo científico y académico; además, la vigilancia tecnológica es un faro para orientar procesos dinámicos y continuos.

* Trabajo de Grado presentado para optar al título de Ingeniero Químico.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Directores Liliana Castro Ing. Química Ph.D y Humberto Escalante Ing. Químico Ph.D. Co-director Manuel Cobo Ing. Informático Ph.D

ABSTRACT

TITLE: SURVEILLANCE TECHNOLOGY ANAEROBIC DIGESTION IN COLOMBIA THROUGH THE USE OF SPECIALIZED BIBLIOMETRIC SOFTWARE *

AUTHORS: CAMILO ANDRÉS ÁLVAREZ VILLAMIZAR, JUAN PABLO PERALTA CHAPARRO**

KEYWORDS: Technological surveillance, bibliometrics, technological map, anaerobic digestion, indicators.

DESCRIPTION:

In an increasingly competitive and globalized context is necessary the implementation of technological tools aimed at the generation of development and innovation; therefore, the need to monitor the scientific environment as a priority, giving special attention to the line of research on anaerobic digestion, because of its characteristics of change has been identified over the years.

In this paper was implemented a monitoring process technology with the information contained in different national, Latin America and international databases; on the other hand, scientific maps were prepared using the SciMAT software, developed by the University of Granada, Spain. The case study was research of anaerobic digestion in Colombia in the period 1988-2014, which took into account the researches developed by Colombian authors and in national territory.

Using bibliometric indicators were identified trends in productivity, collaboration, and specialized topics; in order to avoid topics that have already been studied or that are mature enough to be addressed.

Finally this paper concluded on the need to resort to this type of studies as an important tool for technological development and their possibilities of implementation in any scientific and academic sector. In addition, the technology surveillance is a lighthouse to guide dynamic and continuous processes.

* Thesis presented to obtain the title of Chemical Engineer.

** Faculty of Engineering Physic-chemical.School of Chemical Engineering. Directors: Liliana Castro Chemical Engineer Ph.D., Humberto Escalante Chemical Engineer Ph.D. Co-director Manuel Cobo Computer Engineer Ph.D

INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico, social y cultural de un país se encuentra estrechamente ligado al avance de la ciencia, la tecnología y la investigación; además, un panorama mundial cada vez más globalizado y competitivo ha hecho que las políticas en ciencia y tecnología se encuentren en constante actualización de los temas que presentan mayor atención por parte de la comunidad científica (Vargas, 2004).

La principal limitación para el desarrollo de países como Colombia, es el presupuesto destinado a ciencia y tecnología. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), este presupuesto es del 0,2% del PIB, porcentaje bajo comparado con las contribuciones para educación (18,6%), defensa Nacional (17,9%) y trabajo (15%) (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2015).

Por otro lado, un aspecto importante a considerar por parte de la comunidad científica es la pertinencia de las investigaciones en el contexto Colombiano; dado que la tecnología nacional vinculada a los procesos y productos es principalmente importada; esto, sin contar que Colombia presenta ciertas condiciones ambientales y ecológicas únicas a nivel mundial que le permitirían, con una apropiada inversión, convertirse en potencia económica en algunos campos como es el caso de la biotecnología (Lucio, 2013)

En este sentido, las universidades Colombianas requieren cada vez más de instrumentos de análisis que les permitan comprobar la eficacia de sus políticas en ciencia y tecnología e investigación (Ospina., 2009); en consecuencia, los estudios bibliométricos y la vigilancia científica se presentan como herramientas clave para desarrollar estrategias encaminadas a racionalizar y adecuar sus escasos recursos económicos.

La comunidad científica Colombiana desconoce las tendencias actuales en investigación debido a la desarticulación entre las necesidades nacionales, las instituciones y el recurso humano; además, el exceso de información dificulta enormemente su interpretación y análisis, impidiendo la toma de decisiones adecuadas (Cobo, 2011). Por consiguiente, se requiere realizar un proceso de vigilancia científica mediante el uso de estudios bibliométricos, mapeo tecnológico y obtención de indicadores, que permitan identificar el estado actual de la investigación en Colombia en áreas específicas.

Una de las áreas de investigación es la Digestión Anaerobia (DA), la cual se ha posicionado en Colombia, como una tecnología sostenible por su producción de energía en forma de biogás, bajo costo de inversión y operación, factible para todos los residuos orgánicos, ahorro de fertilizantes, disminución de la contaminación y aceptación social (Garfí, et al., 2016).

De acuerdo a lo anterior, el objetivo de este trabajo de investigación fue desarrollar un proceso de vigilancia tecnológica, mediante el uso de software bibliométrico especializado.

El software Science Mapping Analysis Software Tool (SciMAT) desarrollado por el grupo de investigación Soft Computing and Intelligent Information Systems de la Universidad de Granada, España, fue seleccionado para desarrollar el proceso de vigilancia tecnológica (Cobo, et al., 2012).

1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 VIGILANCIA TECNOLÓGICA

“La importancia de la vigilancia científica es entendida cada vez más como el esfuerzo sistemático realizado por una organización para la búsqueda, análisis y difusión de información científica y tecnológica, permitiendo la identificación de tendencias emergentes y decadentes en el desarrollo tecnológico, lo cual a su vez prepara a las organizaciones para anticiparse a los cambios en el entorno” (Escorsa y Maspons., 2001).

En síntesis, la vigilancia científica tiene las funciones de filtrar, interpretar y valorizar la información permitiéndoles a sus usuarios el poder de decidir y actuar; por consiguiente, al implementarla en las organizaciones se deben resolver dos interrogantes fundamentales: ¿Qué se vigila? y ¿Cómo se vigila?.

Dependiendo del marco conceptual en el cual se defina, la vigilancia se puede dividir en diferentes aspectos (comercial, competitivo, financiero y de entorno), siendo el tecnológico el de mayor importancia para los procesos de innovación y desarrollo. (Vargas y Castellanos., 2005).

La vigilancia tecnológica se fundamenta principalmente en la bibliometría (ciencia que permite el análisis cuantitativo de la producción científica a través de la literatura) y en la informática. Estos principios permiten seleccionar y procesar grandes cantidades de datos (Camps., 2007). Una vez estructurada la información con administradores bibliográficos, hojas de cálculo, instrumentos especializados, entre otros, se procede a realizar el análisis de la información a partir de la construcción de indicadores provenientes de la bibliometría (Castellanos, et al., 2011).

1.1.1 Indicadores bibliométricos. Los indicadores bibliométricos son instrumentos para medir las producciones científicas y permiten analizar el impacto que causa un trabajo científico, dependiendo de la literatura citada (Escorcia., 2008). A partir de los indicadores es posible determinar el crecimiento de cualquier área científica teniendo en cuenta la cantidad de trabajos publicados, colaboración de autores, centros de investigación, impacto de las comunicaciones, países, instituciones, la producción de los científicos, entre otros.

Los indicadores bibliométricos se clasifican en: a) indicadores de producción, b) indicadores de colaboración, c) indicadores de citación e d) indicadores relacionales (Callon, et. al., 1995).

- **Indicadores de producción**

Los indicadores de producción se obtienen a partir del recuento de las publicaciones científicas. Es posible medir la productividad científica tomando como eje la cantidad de publicaciones presentadas por un autor, un departamento, o grupo de investigación, una institución, una disciplina o un país durante un periodo de tiempo determinado. (Paéz y Prieto., 2013).

- **Indicadores de colaboración**

Los indicadores de colaboración miden las conexiones existentes entre contribuyentes científicos en una publicación conjunta, estos se construyen utilizando datos de instituciones y autores, permitiendo la emergencia de modelos de cooperación internacional entre países, regiones, o sectores que estimulan la coparticipación de diferentes organismos, las relaciones entre instituciones educativas e industria, etc. (Sancho Lozano.,2002).

- **Indicadores de citación o de consumo**

Se basan en el análisis de las referencias e informan de la obsolescencia de un documento publicado. Entre estos, se encuentra el índice de Price, formulado por

Price en 1970 y mide la proporción de citas en un documento que no tiene más de cinco años de antigüedad, frente al total de referencias. (Escorcia, 2008)

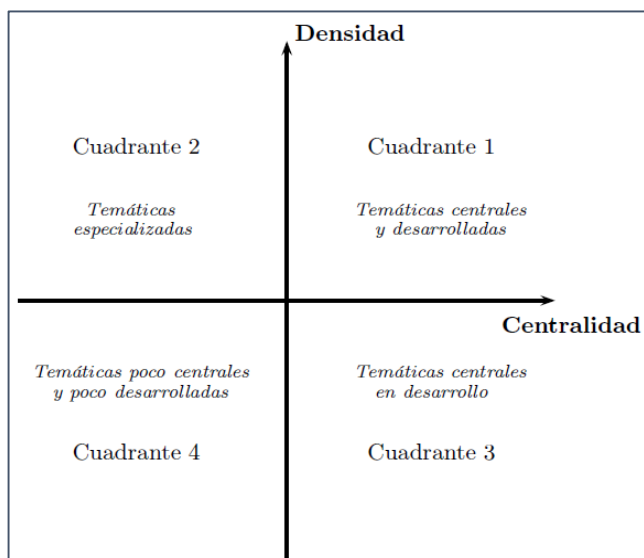
- **Indicadores relacionales**

Corresponden al segundo grupo de indicadores bibliométricos y consisten en un conjunto de técnicas de mapeo que generan representaciones gráficas de la ciencia a través de uso de información carácter relacional.

Se pueden dividir los indicadores relacionales en dos bloques diferenciados (Callon et al., 1995).

- **Indicadores de primera generación:** Dentro de esta categoría se presentan las redes que emplean coautorías de los trabajos se basan en la firma conjunta de las publicaciones, ya que cuando dos investigadores o instituciones aparecen a la vez en un mismo trabajo están relacionadas entre sí y mantienen un vínculo de colaboración.
- **Indicadores de segunda generación:** Son los que consideran la información presente en el título, el resumen o en el texto. El análisis de co-ocurrencia o *co-word* es el más conocido y analiza la aparición conjunta de dos o más palabras en varias publicaciones. Permiten identificar áreas de investigación, la relación entre las temáticas y su transformación en el tiempo. (Castellanos et al., 2011). Su base teórica consiste en la teoría de actor-red de Bruno Latour y su resultado final sitúa los términos en un espacio bidimensional llamado diagrama estratégico como se muestra en la figura 1. Cada término queda posicionado en punto concreto del diagrama gracias a sus indicadores de centralidad y densidad; sin embargo, este método encuentra su máximo rendimiento aplicado a la vigilancia tecnológica en disciplinas científico- tecnológicas (Ospina., 2009).

Figura 1. Descripción conceptual del diagrama estratégico.



Fuente: (Rodríguez, 2007)

En este contexto cada red de palabras clave o temas se pueden caracterizar por dos parámetros:

- **Centralidad:** Mide el grado de interacción de una red con otras redes y se puede definir como se muestra en la ecuación 1:

$$C = 10 * \sum e_{kh} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde k es una palabra que pertenece al tema y h una palabra que pertenece a otros temas. La centralidad mide la fuerza de los vínculos externos a otros temas. Este valor se puede entender como una medida de la importancia de un tema en el desarrollo de todo el campo de investigación analizado. (Martínez., 2015).

- **Densidad:** Mide la fuerza interna o de la red y se define en la ecuación 2:

$$d = 100 \frac{\sum e_{ij}}{w} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Con i y j palabras clave que pertenecen al tema y w el número de palabras clave en el tema. La densidad mide la fuerza de los lazos internos entre todas las palabras clave que describen el tema de investigación. Una alta densidad

evidencia un fenómeno de especialización, mientras que una baja densidad refiere un fenómeno de diversificación (Lucio., 2013).

1.2 SOFTWARE BIBLIOMÉTRICO (SciMAT)

SciMAT nace en la búsqueda de una herramienta para el análisis de mapas científicos que permitiera integrar todos los mecanismos en la evolución de los aspectos sociales, intelectuales y conceptuales de un campo científico. SciMAT cuenta con una serie de módulos, métodos, medidas, técnicas de procesamiento e indicadores que permiten al usuario un completo análisis en cualquier campo de investigación.

Gráficamente SciMAT se divide en tres módulos: el módulo de gestión de la base de conocimiento y sus entidades, el módulo para realizar el análisis de mapas científicos y el módulo de visualización de los mapas y resultados. Por otro lado las diferentes entidades de SciMAT (Documento, Autor, Término, Referencia, Autor-Referencia y Referencia-Referencia, entre otras) favorecen una adecuada distribución de la información. Adicional a esto, se incorpora el concepto de *grupo*, representando este, la unificación de los elementos similares de una misma entidad.

En la elaboración de mapas científicos las unidades de análisis se pueden representar como un nodo, sus conexiones son enlaces entre nodos, y las relaciones entre estas unidades son visualizadas mediante un grafo o red. En el anexo A se presenta una descripción detallada sobre el funcionamiento de SciMAT (Cobo, et. al., 2011).

Por otra parte, el caso de estudio aplicado a la vigilancia tecnológica es la digestión anaerobia.

1.3 DIGESTIÓN ANAEROBIA

Colombia es un país tropical con un alto potencial agropecuario, en donde productos como el café, la palma de aceite, el algodón, el maíz, el arroz, la papa, el plátano y el

cacao, son de gran tradición (Proexport, 2012). El beneficio de los productos agrícolas y pecuarios generan 71'943,813 ton/año y 105'418.066 ton/año de biomasa residual respectivamente (Escalante, et al., 2010). La selección de una biomasa como fuente alterna de energía, depende de la oferta del residuo y de sus características fisicoquímicas; las cuales determinan la tecnología más idónea para su aprovechamiento. En este orden de ideas, la digestión anaerobia (DA) en Colombia se ha constituido como una tecnología de fácil implementación que permite la estabilización y valorización de residuos agroindustriales, estiércoles, efluentes y aguas industriales. El biogás es producido a partir de un proceso de digestión sin presencia de oxígeno, donde el ciclo de la DA representa un sistema que integra procesos biológicos y de metabolismo energético (Chunlan Mao, et al., 2015). Al final del proceso de digestión se genera el digestato, conocido en Latino América como biol, el cual contiene la mayoría de los nutrientes del sustrato original y tiene diferentes usos potenciales donde se destaca su utilización como fertilizante orgánico (Rivera, et al., 2012). De acuerdo con la International Energy Agency (IEA), 2.6 mil millones de personas no tienen acceso de gas para cocinar y cerca de 1.3 billones de personas continúan sin acceso de electricidad en el mundo. Teniendo en cuenta lo anterior, el biogás se ha visualizado como un producto energético de alto valor agregado que puede ser utilizado como calor y/o electricidad, y suplir parte de las necesidades energéticas a nivel mundial (IEA, 2014).

El desarrollo tecnológico para producción de biogás en Colombia, durante las últimas décadas ha logrado producir la energía necesaria para cocción e iluminación de familias campesinas a partir de la instalación de digestores tubulares flexibles de polietileno de bajo costo. Por lo anterior, el biogás es considerado por la mayoría de los ciudadanos y los gobiernos como una fuente marginal de combustible renovable. Sin embargo, la DA puede visualizarse a futuro como una fuente de sustitución total del gas natural fósil: distribución domiciliaria en las ciudades, generación eléctrica en complemento a la hidroelectricidad, combustible entre otras. El potencial de generación de metano con los efluentes, estiércoles y residuos orgánicos en

Colombia son del orden de 3 millones de m³ por año (3M m³ CH₄/año), entre basuras (0,6M m³ CH₄/año), aguas residuales domésticas (0,3M m³ CH₄/año), efluentes industriales (0,2M m³ CH₄/año) y estiércoles (2M m³ CH₄/año). Estos valores no son despreciables comparados con el consumo nacional de gas del país que es de 8500M m³/año (Conil, 2011).

1.3.1 Fundamentos de la digestión anaerobia. La digestión anaerobia es un conjunto de procesos bioquímicos desarrollados en un ecosistema libre de oxígeno, mediante los cuales se logra la desintegración, transformación y estabilización de la materia orgánica biodegradable mediante la acción conjunta de varios grupos de microorganismos. Como productos finales del desarrollo de este proceso se obtienen una mezcla gaseosa conocida como biogás la cual está compuesta principalmente por gases como metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), además el efluente digerido el cual presenta gran cantidad de nutrientes propicios para la fertilización de terrenos cultivables. (Cendales, 2011).

En el proceso de digestión anaerobia de la materia orgánica intervienen diversos grupos de bacterias anaerobias facultativas y anaerobias estrictas las cuales utilizan en forma secuencial los grupos metabólicos generados por cada grupo.

Las etapas que describen el proceso de digestión anaerobia son: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

La digestión anaerobia es un proceso susceptible a los cambios de ciertos parámetros como son el caso del pH, sólidos volátiles (SV), relación carbono – nitrógeno (C/N), relación inóculo-sustrato (RIS), ácidos grasos volátiles (AGV), alcalinidad total (AT), inóculo empleado y su aclimatación, azúcares reductores totales (ART), temperatura y sustrato.

2 METODOLOGIA

La estrategia metodológica desarrollada en este trabajo, se dividió en tres etapas: I) recopilación de la información mediante la selección de fuentes bibliográficas y conformación de la base de datos, II) elaboración de mapas tecnológicos a través del software SciMAT, finalmente III) estructuración del proceso de vigilancia mediante el uso de indicadores bibliométricos.

2.1 ETAPA I: RECOPIACION DE LA INFORMACION

2.1.1 Selección de fuentes bibliográficas. La Tabla 1 se presenta el resumen de las bases de datos seleccionadas para el desarrollo de este trabajo.

Tabla 1. Descripción de las fuentes de información.

Base de datos bibliográfica	Cobertura temática multidisciplinar	Cobertura geográfica	Cobertura temporal	Número de revistas
ISI WEB OF SCIENCE	230 disciplinas de la ciencia, ciencias sociales, artes y humanidades	Mundial	Desde 1945	5700
SCOPUS	Química, física, matemática e ingeniería. Ciencias de la vida y de la salud, ciencias sociales, Psicología y económicas	Mundial	Desde 1966	4100
REDALYC	Ciencias sociales, arte y humanidades, Ciencias naturales y exactas y multidisciplinarias	América Latina y el Caribe, España y Portugal	Desde 2003	1095
SCIELO	Ciencias agrícolas, biológicas, de la salud, exactas y de la tierra, sociales aplicadas, humanidades, ingenierías y lingüística, letras y artes.	15 países de Ibero-América y Sudáfrica	Desde 1998	1249

Además, se incluyó el índice bibliográfico Nacional – IBN Publindex el cual está conformado por las revistas Colombianas especializadas en Ciencia, Tecnología e Innovación. Para el presente estudio se utilizó el listado de revistas indexadas

(Tabla 2) correspondiente a la segunda actualización del año 2014 publicado el 20 de noviembre del año 2015 (Publindex, 2014).

Tabla 2. Revistas nacionales.¹

Número ISSN	Título de revista	Institución editora	Categoría
1692 – 1798	Iteckne	Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga	A2
0124 - 8170	Ciencia E ingeniería Neogranadina	Universidad Militar Nueva Granada	B
1900 - 4699	Revista facultad de Ciencias Básicas	Universidad Militar Nueva Granada	B
0124 – 177x	Gestión y ambiente	Universidad Nacional de Colombia	C
1900 - 6608	Publicaciones e Investigación	Universidad Nacional Abierta y a distancia	C
0122 - 1701	Scientia Et Technica	Universidad Tecnológica de Pereira	C

Los criterios que se tuvieron en cuenta para la realizar la búsqueda fueron los siguientes:

- La producción científica se enmarcó en el periodo comprendido entre 1988-2014 (26 años).
- El tipo de publicación científica seleccionado fue artículo de investigación.
- El motor de búsqueda utilizado fue elaborado con base a las temáticas tratadas en la Mesa de Trabajo de digestión anaerobia 2015 (Informe de gestión y desarrollo: mesa de trabajo digestión anaerobia, 2015) Por lo tanto, se usaron las siguientes palabras en inglés: *anaerobic digestion*, Colombia, *wastewater*, *biogas*, *modeling and control*, *effluent*, *microbiology* y *reactor configuration*; sin embargo, también se utilizó su traducción en español: digestión anaerobia, aguas residuales, biogás, modelamiento y control, efluente, microbiología y configuración de reactores.
- Solamente se tuvieron en cuenta los artículos realizados por investigadores Colombianos en territorio nacional.

¹ Revistas especializadas colombianas no indexadas en las bases de datos anteriormente mencionadas.

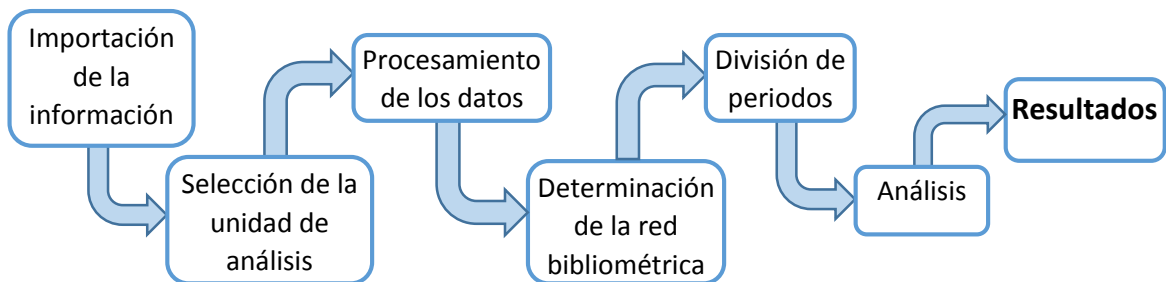
Nota: Los autores guardan la intención de dar un inventario completo; sin embargo, la omisión de algún artículo de investigación no fue intencional.

2.1.2 Conformación de la base de datos. Se encontraron 124 artículos correspondientes a la producción científica en la temática digestión anaerobia, a partir de los cuales se procedió a conformar la base de datos mediante los siguientes campos: título, autores, afiliaciones, *abstract*, revista, volumen, número, página de inicio del documento, página de fin del documento, año de publicación, palabras clave y referencias. La base de datos se conformó en el programa Microsoft Excel 2013. Para consultar la base de datos se puede ver el anexo adjunto en formato digital (Base de datos digestión anaerobia.xlsx).

2.2 ETAPA II: CONSTRUCCION DE MAPAS TECNOLOGICOS

La figura 2 presenta el algoritmo de la metodología del funcionamiento de SciMAT:

Figura 2. Metodología de construcción de mapas tecnológicos.



- La importación de información bibliográfica se realizó desde Excel, aunque SciMAT también permite leer esta información exportada en formato de etiqueta ISI Web of Knowledge (ISI-CE) o formato RIS (Scopus); estos formatos permiten a los programas de citación el intercambio de datos. Mediante el menú *File* en SciMAT, se pueden agregar, importar y exportar estos archivos.
- De acuerdo a la unidad de análisis (revistas, documentos, autores, afiliaciones y términos descriptivos) se pueden observar diferentes aspectos del campo

científico. En este caso se utilizó como unidades de análisis los autores, palabras clave y afiliaciones, de esta manera se podrá analizar la estructura social y conceptual del campo científico, y la dimensión nacional e internacional del mismo.

- Se debe tener en cuenta que los documentos contienen diferencias en cuanto a las unidades de análisis. Por ejemplo, los autores son referenciados de forma diferente o algunas palabras clave pueden describir el mismo significado o pertenecer a una misma temática (acrónimos, sinónimos, plurales). De este modo, es necesario procesar los datos, realizando un agrupamiento de forma que las unidades de análisis no se repitan. Mediante el menú *Group set* se puede realizar el agrupamiento tanto de autores (*Author group manual set*) como de palabras clave (*Word group manual set*). Las afiliaciones pueden agruparse siguiendo el menú *Knowledge>Author>Affiliations manager*.
- A partir de las unidades de análisis obtenidas de los documentos recopilados, el tipo de relación que se construirá será co-ocurrencia de autores, instituciones y términos, generando así, redes bibliométricas de co-autor, co-institución y co-palabras respectivamente.
- La división de periodos se realiza de forma manual, de acuerdo a los años en que fueron publicados los documentos, de forma que se deben elegir los periodos basados en el análisis que se desee realizar. La selección se hace siguiendo el menú *Knowledge base>Periods>Periods manager*. Para realizar el estudio del campo científico de DA, se tomó el periodo comprendido entre los años 1988 y 2014.
- Cuando la base de conocimiento de SciMAT está completa de acuerdo a la información disponible, se procede a realizar el análisis de mapeo (elaboración de mapas). En el anexo A se presenta el análisis mencionado.

2.3 ETAPA III: ESTRUCTURACION DEL PROCESO DE VIGILANCIA

El proceso de estructuración de la vigilancia tecnológica se realizó basados en los indicadores bibliométricos que se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Indicadores de evaluación del proceso de vigilancia.

Indicadores de producción	Número de publicaciones (autores, instituciones, palabras clave) Índice de Especialización Temática	
Indicadores de colaboración	Índice de co-autoría Patrones de colaboración (local, nacional, internacional)	
Indicadores relacionales	Indicadores de primera generación	Redes de coautoría (autores e instituciones)
	Indicadores de segunda generación	Mapas cognitivos por temáticas especializadas
Indicador de citación	Índice de Price	

2.3.1 Indicadores de producción. Para determinar este indicador se tuvo en cuenta el número de artículos científicos. Se distribuyeron en número de publicaciones por bases de datos, años, autores, instituciones, revistas nacionales e internacionales. Además se clasificaron de acuerdo a las siguientes temáticas especializadas:

- i. **Variables del proceso:** Se incluyeron aquellos artículos que profundizaron en las diferentes variables de operación del proceso de digestión anaerobia, entre las que se encuentran: alcalinidad total, selección de inóculo o sustrato, variación del pH, temperatura o tiempo de retención hidráulica y co-digestión.
- ii. **Modelamiento y control:** Incorpora los artículos que implementan estrategias de control, modelado u optimización de cualquiera de las variables del proceso.
- iii. **Manejo del digerido:** Reúne las investigaciones en las que se realiza recuperación de nutrientes del subproducto de la DA para aplicaciones agropecuarias principalmente.
- iv. **Manejo de biogás:** Concentra los artículos que presentan opciones para la utilización de biogás, entre estas se destacan la generación de electricidad con motores de combustión interna y motores duales.

- v. **Microbiología:** Se especializan en la caracterización de las poblaciones bacterianas involucradas en las diferentes etapas del proceso de DA.
- vi. **Configuración de reactores:** Agrupa investigaciones que tienen en cuenta modificaciones físicas del diseño de los biodigestores con el fin de optimizar cualquier variable del proceso.

2.3.2 Indicadores de colaboración. Este indicador se elaboró teniendo en cuenta las relaciones entre los autores e instituciones que firman los documentos.

- i. **Índice de co-autoría:** Se determinó de acuerdo a la cantidad de autores que participan por artículo.
- ii. **Patrones de colaboración:** Clasifican porcentualmente los trabajos según tres tipos de colaboraciones: sin colaboración, colaboración nacional y colaboración internacional (Ospina, 2009).

2.3.3 Indicadores relacionales de primera generación. Estos indicadores se obtuvieron a partir de la base de conocimiento de SciMAT después de su respectivo pre-procesamiento. Se empleó el software Gephi (versión 0.9.1) para la visualización de redes bibliométricas. En el presente trabajo se analizarán las siguientes redes:

- i. **Red de co-autoría de investigadores:** El estudio de este tipo de redes se ha afrontado desde múltiples perspectivas. Se han empleado para detectar autores importantes dentro de una disciplina, caracterizar las redes de departamentos científicos para determinar la estructura interna y sus grupos o analizar la co-invencción de patentes (Ospina., 2009).
- ii. **Red de co-autoría de instituciones:** En este grupo se distinguen los que estudian la red de instituciones en un momento determinado; sin embargo, un aspecto interesante a la hora de analizar las co-autorías es establecer las redes institucionales de colaboración.

2.3.4 Indicadores relacionales de segunda generación. Siguiendo la metodología del anexo A, se efectuaron los diferentes mapas tecnológicos por temáticas especializadas, las cuales son descritas en la sección 2.3.1.

2.3.5 Indicador de citación: Índice de Price. Se determinó para los últimos cinco años la distribución de artículos, el número de referencias por año y el número de referencias menores a cinco años, lo que permitió obtener el índice de Price y medir la actualidad de la bibliografía utilizada en las publicaciones del último lustro.

El índice de Price se obtiene a partir de la ecuación 3.

$$IP = \sum_{k=0}^5 NR_k / NR_T * 100 \quad \text{Ecuación (3)} \quad (\text{Boeris, 2011})$$

Dónde: NR_k es el número de referencias menores a cinco años en el año k y NR_T es el número de referencias totales.

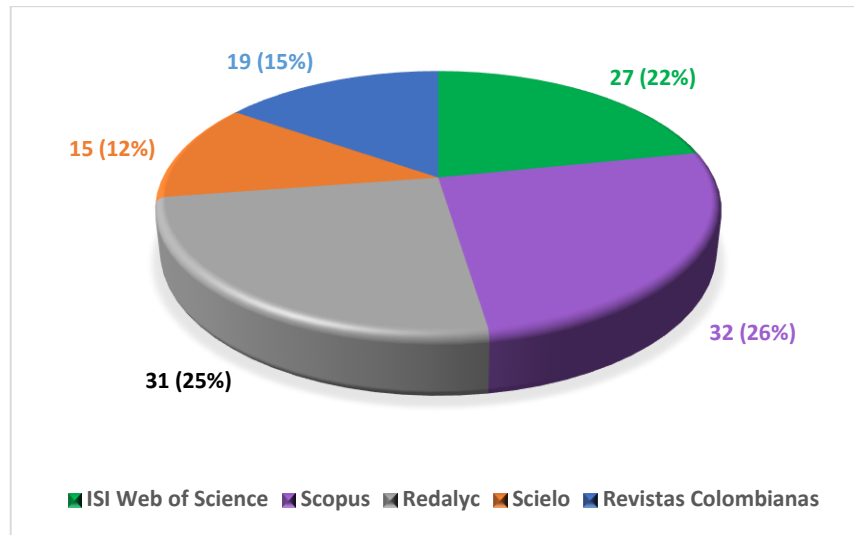
3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 PROCESO DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA PARA LA DIGESTIÓN ANAEROBIA EN COLOMBIA

3.1.1 Indicadores de producción. Número de publicaciones por bases de datos La revisión bibliográfica de la digestión anaerobia entre la ventana de observación 1988-2014, se consolidó con 124 artículos de investigación. La figura 3 presenta la distribución de los artículos de acuerdo a las bases de datos consultadas. Scopus con el 26% de participación; su alta producción científica se debe a su gran relevancia internacional, que no solo recopila información bibliográfica, sino que analiza el comportamiento de las citas recibidas por las revistas y con base a esto permite generar gran cantidad de indicadores bibliométricos y citacionales que permiten evaluar el desempeño de las revistas, pero también autores, grupos de investigación, instituciones, países e incluso regiones del mundo (Rodríguez, 2013). Además de la tendencia de los investigadores a publicar en aquellas revistas mejor categorizadas por Publindex (A1 y A2); considerando que Scopus incorpora sólo estas dos categorías en su base de datos.

Scopus y Redalyc, esta última con 25% de artículos publicados, se posicionan como las bases de datos donde más se publican artículos de digestión anaerobia en Colombia.

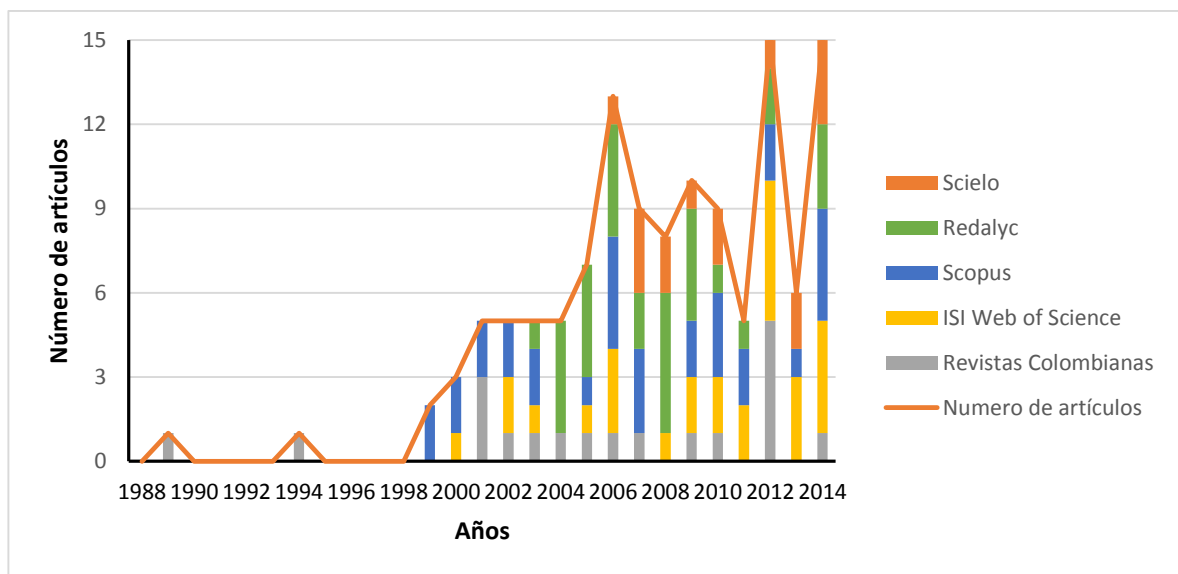
Figura 3. Distribución de artículos según bases de datos consultadas.



- **Número de publicaciones por años**

La figura 4 presenta la evolución de la productividad científica durante el periodo comprendido entre 1988 y 2014.

Figura 4. Distribución de artículos por años.



En el estudio se seleccionó como punto de partida el año de 1988; debido, a que en este año las Empresas Municipales de Cali – EMCALI - decidieron construir la primera planta UASB del mundo denominada “El Vivero” a escala real para el tratamiento directo de aguas residuales domésticas. De igual manera a finales de la década de 1980 se implementó en Colombia el digestor tubular de plástico por el Centro para la investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria (CIPAV) (Botero y Preston, 1987).

De acuerdo con la gráfica, se observa que la productividad científica presenta periodos de inactividad especialmente en la década de los años 90, sin embargo, a partir del año 2000 se produjo un crecimiento de las publicaciones, tendencia que se mantuvo durante los siguientes años ocasionada por un aumento en la tasa de cobertura de acceso educación superior de 24 % en el año 2000 a 42,4 % al final de 2012 (Melo, et al., 2014). Por otra parte, la utilización de fuentes de energía alternativas en Colombia ha tenido especial interés en los últimos años desde la reglamentación de la Ley 697 de 2001 con el fin de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles mediante la valorización energética de residuos orgánicos, rurales y agroindustriales.

- **Número de publicaciones por autores e instituciones**

De acuerdo con la evaluación de los 124 artículos seleccionados, se determinó que 228 autores participaron en la escritura de estos artículos, los cuales pertenecen a 41 instituciones nacionales e internacionales, con un promedio de 1,84 autores por artículo (Tabla 4).

El autor más productivo, según la revisión bibliográfica es Patricia Torres Lozada, afiliada a la Universidad del Valle. Esta alta productividad se debe principalmente a su continua investigación y su extensa formación profesional, en la que se incluyen las líneas de investigación en tratamiento de aguas residuales, residuos sólidos y suelos. Además de haber desarrollado proyectos como “Producción más Limpia aplicada al proceso de extracción de almidón de yuca” (Torres y Pérez, 2014) en

conjunto con instituciones como Colciencias y su asociación con diferentes investigadores nacionales, entre los que destacan Andrea Pérez Vidal y Jenny Rodríguez. Le sigue Miguel Ricardo Peña afiliado también a la Universidad del Valle, con investigaciones orientadas al tratamiento anaerobio de aguas residuales, modelación hidrodinámica de bioreactores y microbiología ambiental aplicada, entre otras.

Por último, Humberto Escalante, Liliana Castro y Carolina Guzmán afiliados a la Universidad Industrial de Santander han desarrollado investigaciones en conjunto con el apoyo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colciencias y la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la UIS (Mantilla, et al., 2012; Castro, et al., 2012).

Tabla 4. Distribución de artículos por autores.

Autores	Afiliación	Número de documentos
Patricia Torres Lozada	Universidad del Valle	21
Miguel Ricardo Peña	Universidad del Valle	10
Humberto Escalante Hernández	Universidad Industrial de Santander	9
Andrea Pérez Vidal	Universidad del Valle	9
Liliana del Pilar Castro Molano	Universidad Industrial de Santander	7
Carolina Guzmán Luna	Universidad Industrial de Santander	7
Jenny A. Rodríguez Victoria	Universidad del Valle	7
David Duncan Mara	Universidad de Leeds	7

La Universidad del Valle cuenta con 39 contribuciones que representan el 31,5% de la productividad total, seguida de la Universidad Nacional de Colombia con 21 colaboraciones, la Universidad de Antioquia y la Universidad Industrial de Santander con 18 contribuciones cada una.

Adicionalmente, hay contribución científica por parte de universidades internacionales debido a que, al menos uno de los investigadores es extranjero y realizó la investigación en territorio Colombiano, como es el caso de la Universidad de Leeds (GBR), el Instituto Internacional de la Infraestructura, Ingeniería Hidráulica

y Ambiental (HOL) y la Escuela Politécnica Federal de Lausana (SUI), entre otras. En el anexo B se presenta el listado completo de participación por instituciones.

- **Distribución de publicaciones por revistas nacionales e internacionales**

En la tabla 5 se presenta un resumen de las revistas donde se ha publicado con mayor frecuencia sin tener en cuenta su indexación en las bases de datos. La revista Colombiana *Livestock Research for Rural Development* adscrita al Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) de la Ciudad de Cali, reúne la mayor participación con 14 documentos debido a que es pionera mundial en divulgación electrónica con 21 años de existencia; cuenta con más de 1600 artículos científicos procedentes de más de 57 países, por lo cual es un medio de difusión para investigadores de los países tropicales y subtropicales dedicados a la investigación en agroecosistemas (CIPAV, 2016).

Le sigue la revista Británica *Water Science and Technology* con 13 documentos, la cual publica sobre los aspectos de la ciencia y la tecnología en el tratamiento de aguas residuales y la gestión de la calidad del agua alrededor del mundo. Su gran participación se debe a que tiene por objetivo la publicación rápida de nuevos hallazgos dirigidos a la gestión del recurso hídrico.

La revista Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia con 11 contribuciones, ubicada en categoría A1 por Publindex e indexada las grandes bases de datos bibliográficas, incorpora tanto artículos de investigación científica como estudios experimentales y de simulación en ciencias de la ingeniería, la tecnología y disciplinas a fines. El listado completo de revistas nacionales e internacionales puede ser consultado en el anexo C y D, respectivamente.

Tabla 5. Distribución de artículos en revistas nacionales.

Revista nacional	Número de documentos	Procedencia
Livestock Research for Rural Development	14	Nacional
Water Science and Technology	13	Internacional
Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia	10	Nacional
DYNA	7	Nacional
ION	7	Nacional
Scientia Et Technica	5	Nacional
Bioresource Technology	3	Internacional
Water Research	3	Internacional
Engineering in Life Sciences	2	Internacional
Plant and Soil	2	Internacional
Quimica nova	1	Internacional

- **Número de publicaciones por descriptores o palabras clave**

A partir de los 124 artículos consultados, se contabilizaron un total de 429 palabras clave. La tabla 6 muestra que «*anaerobic digestion*» presentó la mayor frecuencia, seguida de «*UASB Reactor*», «*biogas* » y «*anaerobic treatment*».

Tabla 6. Distribución de artículos por descriptores.

Palabra clave	Número de documentos
<i>Anaerobic digestion</i>	26
<i>UASB Reactor</i>	18
<i>Biogas</i>	16
<i>Anaerobic Treatment</i>	14
<i>Cassava Starch</i>	9
<i>Methane</i>	9
<i>Specific Methanogenic Activity</i>	9
<i>Leachate</i>	8
<i>Wastewater</i>	8
<i>Biosolid</i>	7
<i>Biodigester</i>	7

- **Índice de especialización temática**

La temática en digestión anaerobia se dividió en variables del proceso, modelamiento y control, manejo del digerido, manejo de biogás, microbiología y

configuración de reactores. La figura 5 presenta el número de artículos publicados para cada categoría. Adicionalmente se realizó un análisis de cada una de estas temáticas recopilando los aspectos más representativos de las investigaciones. A modo de ejemplo se presenta en la tabla 7 una de las temáticas menos abordadas por los investigadores: el manejo de biogás. La información de las temáticas restantes puede ser consultada en los anexos F, G, H, I y J.

Tabla 7. Análisis de artículos por temática especializada: manejo de biogás.

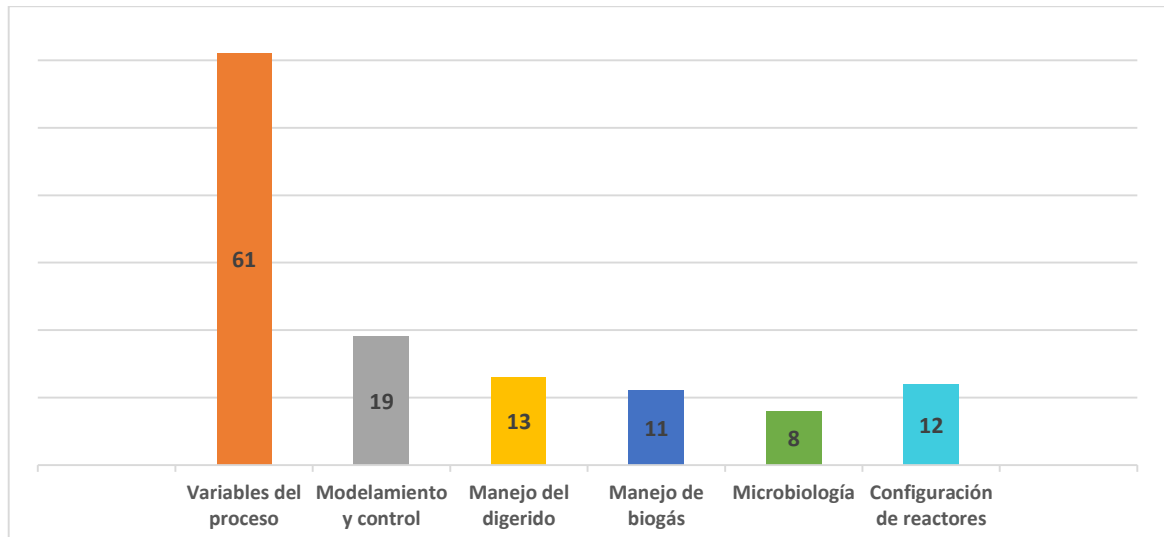
Tipo de estudio	Detalles	Parámetros estudiados	Resultados	Referencia
Comparativo	Propiedad de combustión de la mezcla biogás-aire normal y enriquecido con oxígeno	Velocidad de deflagración laminar, temperatura de llama adiabática, porcentaje en volumen de CO ₂ , temperatura de rocío, porcentaje de H ₂ O, volumen de aire estequiométrico, volumen de humos húmedos, volumen de humos secos y energía mínima de ignición	Se observan efectos favorables con el enriquecimiento de oxígeno respecto a la energía mínima de ignición al incrementar el intervalo de inflamabilidad y ofrecer un potencial para aprovechar los combustibles de origen renovable	¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.
Revisión	Estado del arte de los motores que trabajan con biogás.	Evolución de los motores, aplicaciones, parámetros de operación y comportamiento	Se muestran mejoras considerables en el desempeño de los motores de combustión interna, pero se hace necesario lograr su optimización para minimizar costos de operación y mejorar su rendimiento	0
Análisis	Evalúa el potencial de producción de una central de energía que usa biogás como combustible	Cantidad de metano incluido en el biogás, temperatura de conservación del biogás, eficiencia de la planta, costos de manejo de residuos	Se observa la viabilidad de desarrollar proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio utilizando biogás con una reducción de más de 100 toneladas anuales de CO ₂	¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.
Investigación	Medición del ciclo de energía en un sistema integrado de cultivo de caña de azúcar, residuos orgánicos de cerdos, biodigestor y gasificador	Aporte energético de los cultivos, producción energética del gasificador y biodigestor (Energía Invertida y Energía Retornada)	Se estima una TRE de 8, la cual es más alta que en otras tecnologías de producción de biocombustibles a partir de biomasa. Se observa un sistema favorable reflejado en el mínimo uso de fuentes externas de energía gracias a la estrategia de agricultura integrada.	¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Uno de los temas tratados en el manejo de biogás es el de propiedades de combustión; debido a la importancia de conocer estas propiedades con el fin de identificar la disponibilidad energética de una mezcla combustible- comburente, las condiciones para que ocurra la combustión, los requerimientos de aire para una combustión completa y la cantidad y composición de los productos de combustión (Amell, A. A., 2002).

Entre las propiedades de combustión se encuentran: volumen estequiométrico de aire, volumen de humos húmedos y humos secos, porcentaje máximo de CO₂, temperatura de rocío, temperatura adiabática de llama, velocidad de deflagración laminar o velocidad de llama, mínima energía de ignición.

El uso de los motores de combustión interna alimentados por biogás ha tenido amplia acogida entre los investigadores Colombianos; ya que son una tecnología de gran aplicación en el campo de la generación de energía eléctrica y térmica; no obstante, el uso del biogás se complica un poco dada la calidad de su composición química, ya que se trata de un combustible relativamente pobre, que contiene un volumen apreciable de CO₂ y contaminantes como material particulado, humedad y ácido sulfhídrico (H₂S). Por lo anterior, se hace necesario la implementación de procesos de purificación, secado, entre otros, los cuales mejoran en gran medida su eficiencia. (Arango et al., 2014).

Figura 5. Clasificación de artículos por temática especializada.



3.1.2 Indicadores de colaboración. Índice de co-autoría. La mayor cantidad de artículos de investigación son escritos por tres autores que representan el 45,2% de la productividad total (Tabla 8). Este resultado se encuentra acorde con la tendencia actual de escribir en colaboración lo que contribuye a aumentar la visibilidad de las investigaciones (Páez y Prieto, 2013).

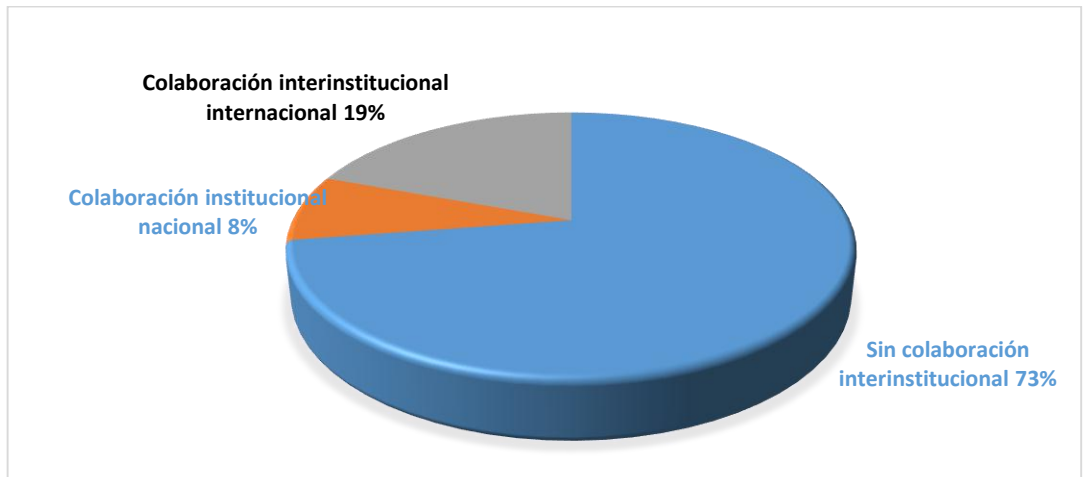
Tabla 8. Distribución de artículos por número de firmas.

Número de firmas por trabajo	Número de documentos	Porcentaje [%]
1	9	7,3
2	22	17,7
3	56	45,2
4	18	14,5
5	17	13,7
6	1	0,8
7	1	0,8
TOTAL	124	100

- **Patrones de colaboración**

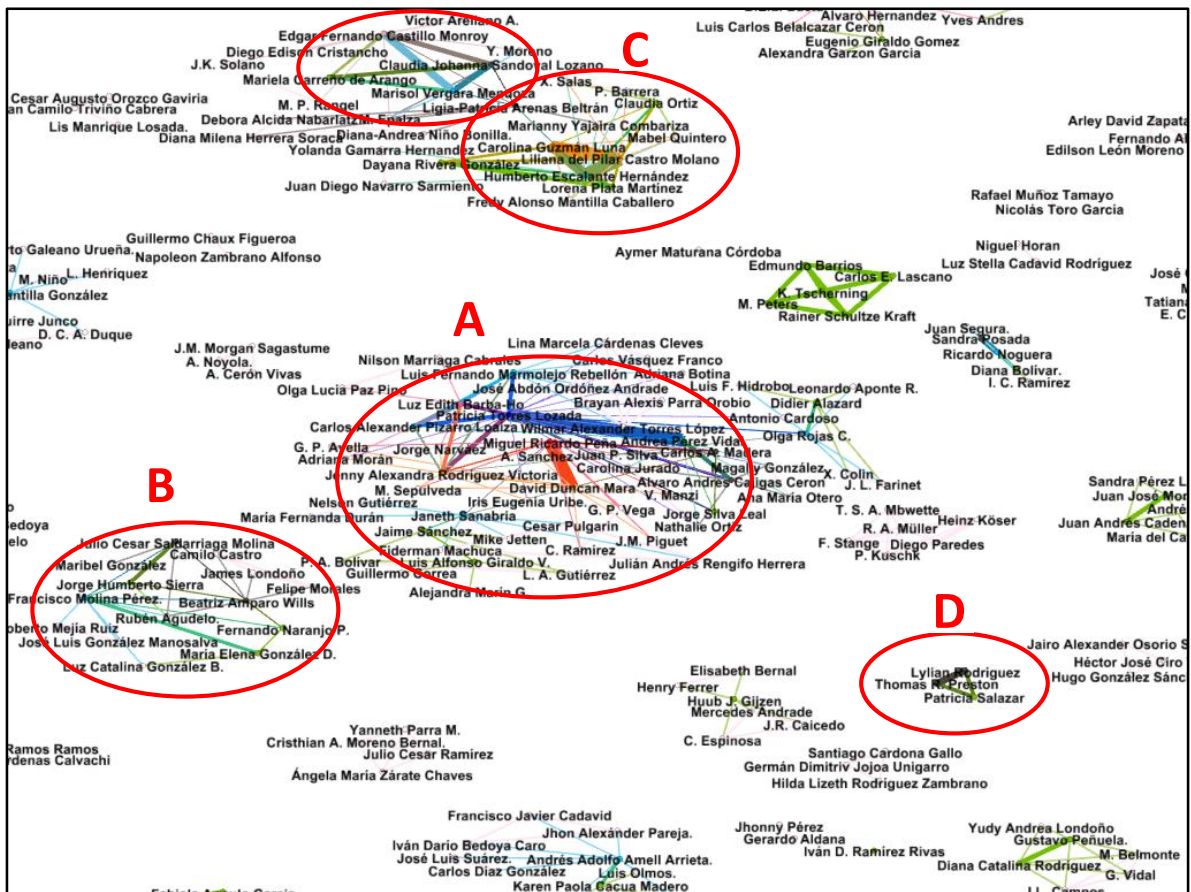
La figura 6 presenta una distribución de los patrones de colaboración interinstitucional en la que se evidencia la desarticulación entre instituciones; debido a esto resulta difícil para la comunidad científica detectar las áreas de investigación menos tratadas que puedan generar nuevo conocimiento (Ronda y Guerras, 2013).

Figura 6. Patrones de colaboración.



3.1.3 Indicadores relacionales de primera generación. Red de co-autoría de investigadores. Se puede apreciar en la figura 7 las asociaciones más representativas en cuanto a producción científica y colaboración en el campo de DA. El grupo A se identifica en la zona central de la red, conformado por los autores de mayor producción (afiliados también a la Universidad del Valle) en los que destacan Patricia Torres L., Miguel R. Peña, Andrea Pérez V. y Jenny A. Rodríguez, entre otros. El conjunto B de investigadores se encuentra en la región inferior izquierda, liderados por el investigador Francisco Molina P., adscrito a la Universidad de Antioquia.

Figura 7. Red de co-autoría de investigadores.



Se observa el grupo C, característico en la franja superior, distribuidos en dos subgrupos. El primero liderado por los investigadores Humberto Escalante H.,

Liliana Castro M. y Carolina Guzmán L. El segundo por Edgar Castillo M. y Marisol Vergara M. Ambos grupos afiliados a la Universidad Industrial de Santander.

El grupo D se encuentra liderado por Thomas R. Preston y Lylian Rodríguez, coordinadora de la Red Colombiana de Energía de la Biomasa. RedBioCol es una organización que busca contribuir al desarrollo sostenible de la sociedad Colombiana mediante la promoción del aprovechamiento energético de residuos orgánicos con acciones de articulación, gestión del conocimiento e incidencia socio-política y ambiental en los territorios (RedBioCol, 2016).

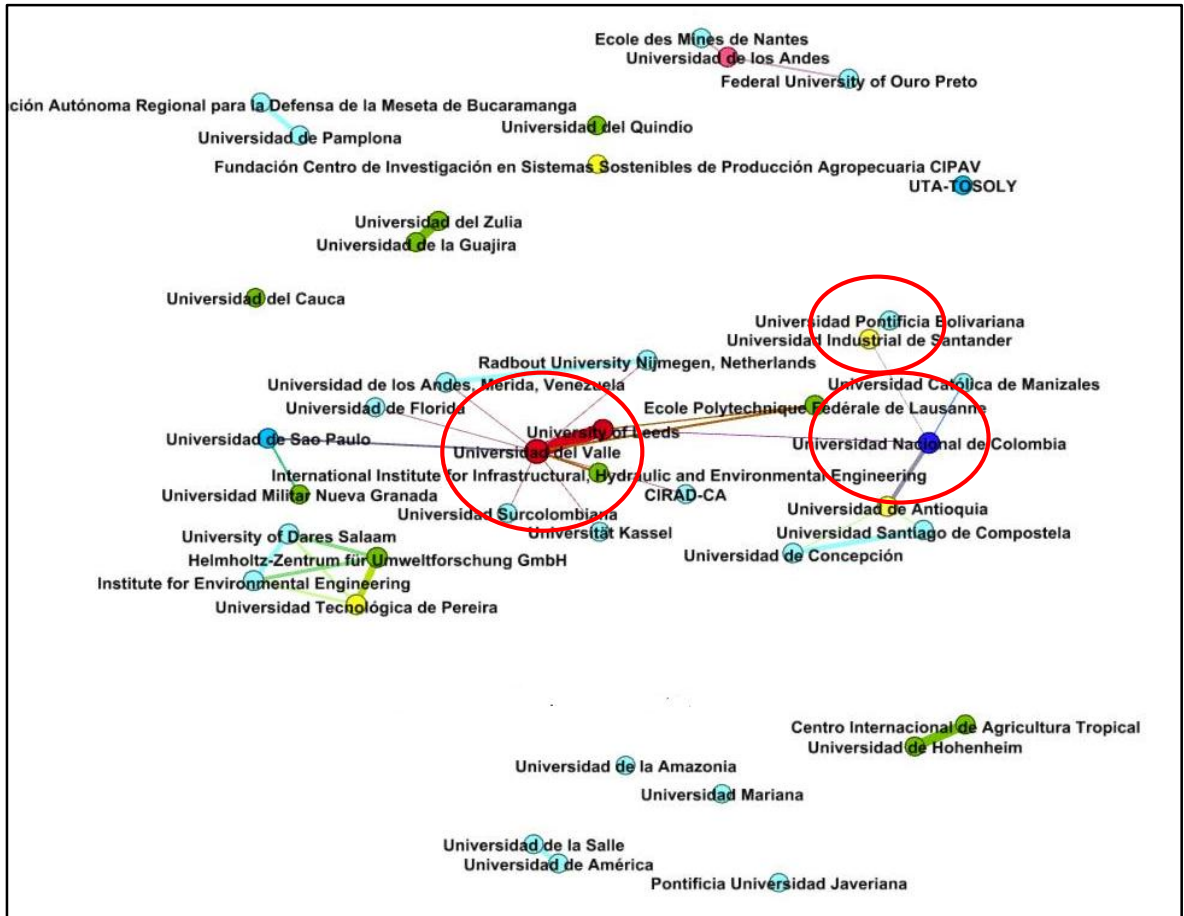
Por último, aunque la Universidad Nacional de Colombia ocupa el segundo lugar en productividad científica, ésta presenta disociación entre sus investigadores. Para visualizar la red en su totalidad se puede consultar el anexo K.

- **Red de co-autoría de instituciones**

En la figura 8 se visualizan las instituciones que presentan mayor productividad científica. Se resaltan los principales nodos correspondientes a las siguientes universidades: Universidad del Valle, Universidad Nacional de Colombia y la Universidad Industrial de Santander.

Este indicador permite identificar aquellas instituciones con mayor cantidad de colaboraciones. La Universidad del Valle presenta el mayor número de relaciones con diferentes instituciones por lo que se ubica en el centro de la red. Cabe resaltar que la Universidad del Valle cuenta dentro de sus programas académicos de pregrado las carreras de Ingeniería Química e Ingeniería Sanitaria y Ambiental y sus respectivos doctorados, lo que le ha permitido abordar un aspecto amplio en el campo de la digestión anaerobia aplicado al tratamiento de aguas residuales. En cuanto a la Universidad Nacional y la Universidad Industrial de Santander, ambas cuentan con los programas de pregrado, maestría y doctorado en Ingeniería Química, pero la UNAL cuenta con un mayor número de sedes que ofertan estos programas.

Figura 8. Red de co-autoría de instituciones.



3.1.4 Indicadores relacionales de segunda generación. A continuación se realiza el análisis de redes de co-palabras que permiten identificar los temas abordados de acuerdo al índice de temática especializada. A manera de ejemplo se muestra el análisis del diagrama estratégico de las temáticas variables del proceso (dado que fue la categoría con mayor número de publicaciones). En el anexo E se encuentra el análisis completo para todas las categorías.

- **Diagrama estratégico de variables del proceso**

La figura 9 presenta un diagrama estratégico de variables del proceso. El eje y corresponde a densidad y el eje x es la centralidad. El área de los círculos es

proporcional al número de documentos asociados a las palabras clave que representan y el número dentro del círculo indica el valor de este número de documentos. De acuerdo a lo anterior, el tema de *heavy metals* es el más desarrollado dado que la presencia de sustancias tóxicas es uno de los factores que puede llegar a romper la estabilidad de proceso anaerobio. En los reactores anaerobios, los efectos tóxicos más estudiados son los generados por metales pesados, compuestos aromáticos, ácidos grasos y cationes de metales. Por lo anterior, la presencia de este tipo de sustancias se traduce en la disminución en la producción de metano y una baja remoción de materia orgánica. Por tanto, conocer, entender y detectar a tiempo un problema de toxicidad es crucial para tomar las medidas necesarias que aseguren el funcionamiento óptimo de reactores anaerobios.

Otro tópico desarrollado es *Cow Manure*, esto se debe a que el uso de estiércol bovino como inóculo y/o co-sustrato proporciona una fuente de vitaminas y nutrientes y otros compuestos necesarios para el crecimiento microbiano; además, presenta una capacidad buffer que favorece el control de pH. (Fang et al., 2011).

Uno de los temas especializados es *bicarbonate alkalinity*; este tema presenta un papel fundamental en la estabilidad de reactores biológicos anaerobios; debido a que durante el proceso anaerobio se pueden presentar acumulaciones de ácidos grasos volátiles, causando inestabilidades en el sistema. Por lo tanto, en algunos casos es necesaria la adición de una fuente externa de alcalinidad como es el caso del bicarbonato de sodio para que el proceso sea conducido de forma estable. (Soares et al., 2007).

Uno de los temas centrales en desarrollo es la etapa de metanogénesis, una de las más sensibles de la digestión anaerobia; debido a que las archaeas metanogénicas constituyen el grupo biológico que determina el mayor o menor éxito del proceso dada su baja velocidad de crecimiento y los estrictos requerimientos de bajo potencial redox y de pH, así como su alta sensibilidad a la inhibición por presencia de oxígeno molecular. (Lorenzo., et al 2005). La temática *batch-digesters* tiene una

gran acogida por parte de los investigadores principalmente por ser el más utilizado cuando se presentan problemas operativos como es el de carencia de personal o cuando el residuo orgánico no se genera en forma continua. Este tipo de digestores tiene la ventaja de procesar una gran variedad de residuos y son los más utilizados para medir el potencial de biometanización. (Laines., et al 2011).

Figura 9. Diagrama estratégico variables del proceso.



3.1.5 Indicador de citación: Índice de Price. Para la determinación de este índice se seleccionaron los artículos publicados en los últimos 5 años. Se evaluaron 50 artículos, que contenían 1349 referencias, de las cuales 383 son menores a 5 años, lo que representa un índice de Price general de 0,26 (Tabla 9). Los resultados indican que el índice de Price para los artículos de digestión anaerobia en Colombia se encuentra por debajo de la tendencia mundial, la cual está alrededor del 30% (Espino et al., 2013). Esto indica un bajo grado de actualidad de la bibliografía en las publicaciones y evidencia poca actividad científica en el campo de investigación.

Tabla 9. Índice de Price.

Año	Artículos publicados	Total de referencias	Referencias menores a 5 años	Promedio de referencias por artículo	Índice de Price	Porcentaje [%]
2014	15	444	128	30	0,29	29
2013	6	164	40	27	0,24	24
2012	15	438	148	29	0,34	34
2011	5	101	18	20	0,18	18
2010	9	202	49	22	0,24	24
Total	50	1349	383	129	0,26	26

Para finalizar, el proceso de vigilancia tecnológica aplicado a la digestión anaerobia en Colombia evidenció un panorama centrado principalmente en el estudio de las variables del proceso; por lo que se requiere profundizar en otras temáticas de investigación como es el caso de la microbiología enfocada en el estudio de los consorcios microbianos y su desempeño en las diferentes etapas del proceso; así mismo, se sugiere mayor atención en la temática del manejo de biogás con el fin de optimizar su eficiencia energética y disposición.

La distribución de artículos por número de firmas presentó un 92,7% de colaboración entre autores, un porcentaje acorde con la ley 80/20 de Price que establece que en ciencia el 80% de las investigaciones se realizan en colaboración (López y Terrada, 1992). Esto reflejado con el promedio de 1,84 autores por artículo, es decir, que por cada publicación participo más de un investigador

4 CONCLUSIONES

- ✓ La implementación de una metodología de vigilancia tecnológica soportado en indicadores bibliométricos permitió identificar el estado actual de la investigación en digestión anaerobia en Colombia. Esta metodología reconoce los principales actores del proceso investigativo tales como autores, instituciones y temáticas. Además el proceso de vigilancia tecnológica puede ser aplicado a diferentes áreas científicas.
- ✓ La creación de mapas tecnológicos mediante software especializado es una excelente herramienta para el análisis de tendencias en investigación y la colaboración entre autores e instituciones.
- ✓ El proceso de vigilancia tecnológica, aplicado como caso de estudio la digestión anaerobia en Colombia, evidenció una desarticulación entre las instituciones y la academia debida a la consolidación de la colaboración internacional sobre la nacional; de tal forma, se requiere fomentar la colaboración nacional con el fin de dar prioridad a aquellos campos de investigación que permitan identificar oportunidades de innovación en sectores poco desarrollados como la microbiología del proceso, el manejo de biogás y el modelamiento y control.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARENAS, Ligia. Escalante, Humberto. Combariza, Marianny. Comparative study for methanogenic stage of anaerobic digestion to organic fraction of fruit and vegetable municipal wastes treatment. En: ION. Universidad Industrial de Santander. 2012, Vol. 25, no. 1, p. 89-96.
- [2] BARBA, L., Torres, P., Rodríguez, J., Marmolejo, L., Pizarro, C. The influence of incorporating leachate on anaerobic biodegradability of domestic sewage. En: Ingeniería e Investigación. 2010, Vol. 30, no. 1, p. 75-79.
- [3] BARRERA, P. Salas, X. Castro, Liliana. Ortiz, Claudia. Escalante, Humberto. Estudio preliminar de la bioproducción de metano a partir de los residuos del proceso de beneficio del fique. En: ION. Universidad Industrial de Santander. 2009, Vol. 22, no. 1, p. 53-61.
- [4] CADAVID, L., Horan, N. Methane production and hydrolysis kinetics in the anaerobic degradation of wastewater screenings. En: Water Science and Technology. 2013, Vol. 68, no. 2, p. 413-418.
- [5] CAJIGAS, Alvaro. Pérez, Andrea. Torres, Patricia. Importancia del pH y la alcalinidad en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. En: Scientia Et Technica. Universidad Tecnológica de Pereira. 2005, Vol. 11, no. 27, p. 243-248.
- [6] CAMACHO, Ricardo. Hoyos, José. Anaerobic biodegradation of a biodegradable material under anaerobic – thermophilic digestion. En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2014, Vol.12, no. 2, p. 20-29.
- [7] CAÑON, William. Henao, Ricardo. Perez, José. Recovery of gastrointestinal swine parasites in anaerobic biodigester systems. En: Brasileira de parasitología veterinaria. 2012, Vol. 21, no. 3, p. 249-253.
- [8] CARDENAS, G., Ramos, R. Evaluation of the effectiveness of fixed bed reactors using waste water of sugar craft mills. En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 2009, Vol. 19, no. 1, p. 25-38.

- [9] CASTILLO, E. F., Solano, J. K., Rangel, M. P. Evaluación operacional de un sistema a escala laboratorio de biopelícula anaerobia soportada para el tratamiento de aguas residuales domésticas. En: ION. Universidad Industrial de Santander. 2006, Vol. 19, no. 1, p. 18-22.
- [10] CASTILLO, E. Vergara, M. Moreno, Y. Landfill leachate treatment using a rotating biological contactor and an upward-flow anaerobic sludge bed reactor. En: Waste Management. 2007, Vol. 27, p. 720-726.
- [11] CASTILLO, Edgar. Cristancho, Diego. Arellano, Víctor. A study of operational conditions for anaerobic digestion of solid urban waste. En: Revista Colombiana de biotecnología. 2003, Vol. 5, no. 2, p. 11-22.
- [12] CASTILLO, E. Vergara, M. Arenas, L. Sandoval, C. Epalza, M. Estudio de la hidrólisis enzimática y de las biopelículas anaerobias como alternativa para el tratamiento continuo en dos fases de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. En: Revista ION. Universidad Industrial de Santander. 2008, Vol. 21, no. 1, p. 47-52.
- [13] CASTRO, Liliana. Guzman, Carolina. Escalante, Humberto. Influence of Particle Size and Temperature on Methane Production From Fique's Bagasse. En: ITECKNE. 2012, Vol. 9, no. 2, p. 72-77.
- [14] CERON, A., Morgan, J., Noyola, A. Intermittent filtration and gas bubbling for fouling reduction in anaerobic membrane bioreactors. En: Journal of Membrane Science. 2012, Vol. 423, p. 136-142.
- [15] CHARÁ, J. Pedraza, Gloria. Conde, Natalia. The productive water decontamination system: A tool for protecting water resources in the tropics. En: Livestock Research for Rural Development. 1999, Vol. 11, no. 1.
- [16] CHAUX, G., Zambrano, N. Wastewater treatment by anaerobic reactors of vertical parallel plates in acrylic. En: Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial. 2011, Vol. 9, no. 2, p. 159-169.
- [17] ESCALANTE, Humberto. Guzman, Carolina. Castro, Liliana. Anaerobic digestion of fique bagasse: an energy alternative. En: DYNA. 2014, Vol. 81, no. 183, p. 74-85.

- [18] GARCIA, M. C., Díaz, M. C. Evaluación de la toxicidad de un efluente cervecero mediante ensayos de inhibición de la actividad metanogénica. En: Colombiana de Biotecnología. 2003, Vol. 5, no. 2, p. 23-31.
- [19] GIJZEN, H., Bernal, E., Ferrer, H. Cyanide toxicity and cyanide degradation in anaerobic wastewater treatment. En: Water Research. 2000, Vol. 34, no. 9, p. 2447-2454.
- [20] GIRALDO, L. Gutierrez, L. Sanchez, J. Bolivar, P. Relation between pressure and volume for the assembly of the in vitro technique of a gas production in Colombia. En: Livestock research for rural development. 2006, Vol. 18, no. 6.
- [21] GONZÁLEZ, Maribel. Saldarriaga, Julio. Biological removal of organic matter, nitrogen and phosphorus in a system type anaerobic-anoxic-aerobic. En: Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia. 2008, no 10, p. 45-53.
- [22] GUZMÁN, Carolina. Campos, Claudia. Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. En: Universitas Scientiarum. Pontificia Universidad Javeriana. 2004, Vol. 9, no. 1, p. 59-67.
- [23] HENRIQUEZ, L. Mantilla, J. Niño, M. Influence of internal temperature in batch digesters loaded with poultry manure. En: Livestock research for rural development. 2006, Vol. 18, no. 8.
- [24] HERNÁNDEZ, A. Belalcazar, Luis. Rodríguez, M. Giraldo, Eugenio. Retention of granular sludge at high hydraulic loading rates in an anaerobic membrane bioreactor with immersed filtration. En: Water Science and Technology. 2002, Vol. 45, no. 10, p. 169-174.
- [25] HERNÁNDEZ, M. Rodríguez, M. Hydrogen production by anaerobic digestion of pig manure: Effect of operating conditions. En: Renewable Energy. 2013, Vol. 53, p. 187-192.
- [26] HERNÁNDEZ, Mario. Rodríguez, Manuel. Yves, Andres. Use of coffee mucilage as a new substrate for hydrogen production in anaerobic co-digestion with swine manure. En: Bioresource Technology. 2014. Vol. 168, p. 112-118.

- [27] LONDOÑO, Yudy. Rodríguez, Diana. Peñuela, Gustavo. The operation of two EGSB reactors under application of different loads of oxytetracycline and florfenicol. En: *Water Science & Technology*. 2012, Vol. 66, no. 12, p. 2578-2585.
- [28] LUNA, H. Baeta, B. Aquino, S. Rodríguez, Manuel. EPS and SMP dynamics at different heights of a submerged anaerobic membrane biorreactor (SAMBR). En: *Process Biochemistry*. 2014, Vol. 49, p. 2241-2248.
- [29] MADERA, Carlos. Silva, Juan. Peña, Miguel. Combined systems for wastewater treatment based septic tank-anaerobic filter and subsurface wetlands. En: *Ingeniería y competitividad*. 2005, Vol. 7, no. 2, p. 5-10.
- [30] MADERA, C. Peña, Miguel. Mara, David. Microbiological quality of a waste stabilization pond effluent used for restricted irrigation in Valle del Cauca, Colombia. En: *Water Science and Technology*. 2002, Vol. 45, no. 1, p. 139-143.
- [31] MANTILLA, Fredy. Castro, Liliana. Guzmán, Carolina. Escalante, Humberto. Microbiological study of the stability of a biorreactor produced in continue for the production of biogas from fique's bagasse. En: *Ingeniador*. Universidad San Buenaventura. 2012, Vol. 3, no. 4, p. 55-62.
- [32] MOLINA, Francisco. Gonzáles, María. Gonzáles, Luz. Evaluación microbiológica de un lodo durante un proceso de mejoramiento aplicando la técnica de lavado (Presión selectiva). En: *Facultad de Ingeniería*. Universidad de Antioquia. 2001, no. 24, p. 20-27.
- [33] MORENO, Edilson. Zapata, Arley. Álvarez, Fernando. Analysis of hydrogen production by anaerobic fermentation from urban organic waste. En: *DYNA*. 2014, Vol. 82, no. 189, p. 127-133.
- [34] NABARLATZ, Debora. Arenas, Ligia. Herrera, Diana. Niño, Diana. Biogas production by anaerobic digestion of wastewater from palm oil mill industry. En: *Ciencia, tecnología y futuro*. 2013, Vol. 5, no. 2, p. 73-84.

- [35] NARANJO, Fernando. Gonzáles, María. Molina, Francisco. Evaluación microbiológica de un lodo crudo proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de El Retiro y del mismo lodo aclimatado a condiciones anaerobias. En: Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. 2001, no. 22, p. 22-28.
- [36] NAVARRO, Juan. Gamarra, Yolanda. Escalante, Humberto. Diseño de un biofiltro para disminuir la concentración de H₂S de un reactor anaerobio de flujo a pistón (RAP). En: UIS Ingenierías. 2007, Vol. 6, no. 2, p. 61-69.
- [37] OROZCO, C., Triviño, C., Manrique, L. Start-up a UASB reactor for domestic wastewater treatment in Andean-Amazonian conditions. En: Revista Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Militar Nueva Granada. 2014, Vol. 10, no. 2, p. 170-185.
- [38] OSORIO, Jairo. Ciro, Héctor. Gonzales, Hugo. Evaluation of a biodigester system in series for cold climate. En: Revista Facultad Nacional de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. 2007, Vol. 60, no 2, p. 4145-4162.
- [39] PARRA, Brayan. Torres, Patricia. Marmolejo, Luis. Cardenas, Lina. Vásquez, Carlos. Torres, Wilmar. Ordoñez, José. Influence of pH on anaerobic digestion of municipal bio-wastes. En: Actualidad & Divulgación Científica. 2014, Vol. 17, no. 2, p. 553-562.
- [40] PARRA, Ricardo. Anaerobic digestion of Whey : Effect of High Point Loads. En: Revista Facultad Nacional de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. 2010, Vol. 63, no. 1, p. 5385-5394.
- [41] PEDRAZA, G., Chará, J., Conde, N., Giraldo, S., Giraldo, L. Evaluation of polyethylene and PVC tubular biodigesters in the treatment of swine wastewater. En: Livestock Research for Rural Development. 2002, Vol. 14, no. 1, p. 1-10.
- [42] PEDRAZA, Gloria. Cultivo de spirulina máxima para suplementación proteica. En: Livestock Research for Rural Development. 1989, Vol. 1, no. 1.

- [43] PEDRAZA, Gloria. Recycling biodigester effluent with three aquatic plants species. En: Livestock Research for Rural Development. 1994, Vol. 6, no. 1.
- [44] PEÑA, M., Rodríguez, J., Mara, D., Sepulveda, M. UASBs or anaerobic ponds in warm climates? A preliminary answer from Colombia. En: Water Science and Technology. 2000, Vol. 42, no. 10, p. 59-66.
- [45] PEÑA, M. R., Mara, D. D., Avella, G. P. Dispersion and treatment performance analysis of an UASB reactor under different hydraulic loading rates. En: Water Research. 2006, Vol. 40, no. 3, p. 445-452.
- [46] PEÑA, M., Mara, D., Pigué, J. Improvement of mixing patterns in pilot-scale anaerobic ponds treating domestic sewage. En: Water Science and Technology. 2003, Vol. 48, no. 2, p. 235-242.
- [47] PEÑA, Miguel. Sanabria, Irma. Mara, David. Study on the dynamics of the main bacterial and archaea groups in three pilot-scale anaerobic ponds for domestic wastewater treatment. En: Water Research. 2006.
- [48] PERÉZ, Andrea. Torres, Patricia. Silva, Jorge. Anaerobic treatment of Cassava starch extraction wastewater. Optimization of environmental and operational variables. En: DYNA - Revista de la Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia. 2009, Vol. 76, no. 160, p. 139-148.
- [49] PEREZ, A., Torres, P., Pizarro, C. Start up of an anaerobic filter for treatment process water cassava starch extraction: Influence of inoculum. En: Ingeniería y Competitividad. 2006, Vol. 8, no. 1, p. 47-54.
- [50] PEREZ, Andrea. Torres, Patricia. Evaluation of hydrodynamic behavior as a tool to optimize anaerobic reactors of attached growth. En: Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. 2008, no. 45, p. 27-40.
- [51] PEREZ, Andrea. Torres, Patricia. Alkalinity indices for control of anaerobic treatment of readily acidifiable wastewaters. En: Ingeniería y competitividad. Universidad del Valle. 2008, Vol. 10, no. 2, p. 41-52.
- [52] PLATA, Lorena. Rivera, Dayana. Castro, Liliana. Guzman, Carolina. Escalante, Humberto. Hierarchization of technologies to industrial use of

- byproduct from fique's bagasse anaerobic digestion. En: UIS Ingenierías. 2012, Vol. 11, no. 2, p. 171-185.
- [53] PORRAS, M., Cardozo, J., Chaparro, T. Removal of organic matter and toxicity in an upflow immobilized biomass anaerobic reactor treating hospital wastewater: preliminary evaluation. En: Revista Dyna. 2013, Vol. 80, no. 182, p. 124-130.
- [54] QUINTERO, Mabel. Castro, Liliana. Ortiz, Claudia. Guzmán, Carolina. Escalante, Humberto. Enhancement of starting up anaerobic digestion of lignocellulosic substrate: Fique's bagasse as an example. En: Bioresource Technology. 2012, Vol. 108, p. 8-13.
- [55] RAMIREZ, Cesar. Parra, Yanneth. Zarate, Ángela. Moreno, Cristhian. Basic engineering for generation process of biogas from pig manure. En: Publicaciones e Investigación. 2010, Vol. 4, p. 93-110.
- [56] RAMIREZ, Ivan. ADM1 applications for a hybrid up-flow anaerobic sludge-filter bed reactor performance and for a batch thermophilic anaerobic digestion of thermally pretreated waste activated sludge. En: Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. 2012, no. 65, p. 167-179.
- [57] RENGIFO, Julián. Pulgarin, Cesar. Machuca, Fiderman. Sanabria, Janeth. TiO₂ Photocatalytic inactivation under simulated solar light of bacterial consortia in domestic wastewaters previously treated by UASB, duckweed, and facultative ponds. En: Química nova. 2010, Vol. 33, no. 8, p. 1636-1639.
- [58] RINCON, Alejandro. Erazo, Christian. Londoño, Felipe. Olivar, Gerard. Angulo, Fabiola. A New Robust Controller with Applications to Bioreactors. En: Mathematical Problems in Engineering. Vol. 2014, 18 p.
- [59] RIVERA, Dayana. Plata, Lorena. Castro, Liliana. Guzman, Carolina. Escalante, Humberto. Application of solid by product generated in fique's bagasse (*furcraea macrophylla*) anaerobic digestion for soil improvement. En: ION. Universidad Industrial de Santander. 2012, Vol. 25, no. 1, p. 25-34.
- [60] RODRIGUEZ, J. A., Peña, M. R., Manzi, V. Application of an innovative methodology to improve the starting-up of UASB reactors treating domestic

- sewage. En: Water Science and Technology. 2001, Vol. 44, no. 4, p. 295-303.
- [61] RODRÍGUEZ, Lylian. Salazar, Patricia. Preston, Thomas. Effect of biochar and biodigester effluent on growth of maize in acid soils. En: Livestock Research for Rural Development. 2009, Vol. 21, no. 7.
- [62] RODRÍGUEZ, Lylian. Salazar, Patricia. Preston, Thomas. Effect of a culture of "native" micro-organisms, biochar and biodigester effluent on the growth of maize in acid soils. En: Livestock Research for Rural Development. 2011, Vol. 23, no. 10.
- [63] ROJAS, Olga. Alazard, Didier. Aponte, Leonardo. Hidrobo, Luis. Influence of flow regime on the concentration of cyanide producing anaerobic process inhibition. En: Water Science and Technology. 1999, Vol. 40, no. 8, p. 177-185.
- [64] RONDA, Guillermo. GUERRAS, Luis. Institutional cooperation research network in management in Spain through the CEDE Journal: 1998-2010. En: Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa. 2013. Vol. 16, no. 1, p. 1-16.
- [65] SANCHEZ, J., Sanabria, J., Jetten, M. Faster autotrophic growth of anaerobic ammonium-oxidizing microorganisms in presence of nitrite, using inocula from Colombia. En: Revista Colombiana de Biotecnología. 2014, Vol. 16, no. 1, p. 146-152.
- [66] SANCHO LOZANO, Rosa. Indicadores de los sistemas de ciencia, tecnología e investigación. En: Economía Industrial. 2002. vol. 343. p. 95-109.
- [67] SANDOVAL, Claudia. Vergara, Marisol. Carreño, Mariela. Castillo, Edgar. Microbiological characterization and specific methanogenic activity of anaerobe sludges used in urban solid waste treatment. En: Waste Management. 2009, Vol. 29, no. 2, p. 704-711.
- [68] SIERRA, Jorge. Saldarriaga, Julio. Evaluación de la presión selectiva y de la adición de bacterias liofilizadas como alternativas de mejoramiento de una semilla de lodo activado crudo espesado para el arranque de reactores

- UASB. En: Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. 2001, no. 22, p. 7-21.
- [69] SIERRA, F. Tecnologías para el Aprovechamiento de los Biocombustibles, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- [70] TORRES, P, Foresti, E. Desempeño de un reactor UASB de laboratorio en el tratamiento de agua residual doméstica. En: Ainsa. 1994, no. 27, p. 5-19.
- [71] TORRES, Patricia. Impact of Leachate Incorporation on an Anaerobic Reactor Startup in Domestic Sewage Treatment. En: Ingeniería y Universidad. 2010, Vol. 14, no. 2, p. 313-326.
- [72] TORRES, P. Perspectives of anaerobic treatment of domestic wastewater in developing countries. En: Revista EIA. 2012, no. 18, p. 115-119.
- [73] TORRES, P., Rodríguez, J., Uribe, I. Sewage treatment process cassava starch extraction in anaerobic filter: Environmental impact of support. En: Revista Scientia et Technica. 2003, no. 23, p. 75-80.
- [74] TORRES, Patricia. Rodríguez, Jenny. Barba, Luz. Marmolejo, Luis. Pizarro, Carlos. Combined treatment of leachate from sanitary landfill and municipal wastewater by UASB reactors. En: Water and Science & Technology. 2009, Vol. 60, no. 2, p. 491-495.
- [75] TORRES, Patricia. Rodríguez, Jenny. Barba, Luz. Morán, Adriana. Narváez, Jorge. Tratamiento anaerobio de lixiviados en reactores UASB. En: Ingeniería y desarrollo. Universidad del Norte. 2005, Vol. 18, p. 50-60.
- [76] TORRES, Patricia. Perez, Andrea. Influence of inoculum on growth and retention of the biomass in anaerobic filters. En: Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. 2014, no. 72, p. 127-133.
- [77] TORRES, Patricia. Perez, Andrea. Cajigas, Álvaro. Otero, Ana. Gonzales, Magally. Selección de acondicionadores químicos para el tratamiento anaerobio de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. En: Ingeniería de recursos naturales y del ambiente. Universidad del Valle. 2008, Vol. 7, p. 66-74.

- [78] TORRES, Patricia. Perez, Andrea. Cajigas, Álvaro. Jurado, Carolina. Ortiz, Nathalie. Selección de inóculos para el tratamiento anaerobio de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. En: Ingeniería de recursos naturales y del ambiente. Universidad del Valle. 2007, Vol. 6, p. 105-111.
- [79] TORRES, Patricia. Barba, Luz. Pizarro, Carlos. Anaerobic toxicity mitigation of leachates by mixing with municipal sewage. En: Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. 2010, Vol. 53, p. 64-74.
- [80] TORRES, Patricia. Rodríguez, J. Rojas, O. Cassava starch extraction. Integral management and control of contamination. En: Livestock research for rural development. 2005, Vol. 17, no. 7.
- [81] TORRES, Patricia. Marmolejo, Luis. Botina, Adriana. Improving anaerobically digested sludge's agricultural potential by adding lime. En: Agronomía Colombiana. 2005, Vol. 23, no. 2, p. 310-316.
- [82] TORRES, Patricia. Carlos, Madera. Silva, Jorge. Microbiological quality improvement of biosolids from domestic wastewater treatment plants. En: Revista EIA. Escuela de Ingeniería de Antioquia. 2009, Vol. 1, p. 21-37.
- [83] TORRES, Patricia. Pérez, Andrea. Actividad metanogénica específica: una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. En: Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. 2010, no. 9, p. 5-14.
- [84] WILLS, Beatriz. Naranjo, Fernando. Toxic effect evaluation of the lead acetate and chromium chloride on anaerobic bacterial metabolism. En: Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. 2004, Vol. 32, p. 17-25.
- [85] YADVIKA. SANTOSH. SREEKRISHNAN, T. KOHLI, S. RANA, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques. En: Bioresource Technology. 2004. vol.95. p.1-10.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, P. Biodigestor de doble propósito -Producción e investigación- para residuos de granja porcícola. En: ION. Universidad Industrial de Santander. 2006, Vol. 19, no. 1, p. 1-6.

AMELL, A. Estimación de las propiedades de combustión de combustibles gaseosos. En: Ediciones CESET Universidad de Antioquia. 2002. p. 73.

ANGELIDAKI, I. SANDERS, W. Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. En: Environmental Science and Biotechnology. 2004. vol. 3, no. 2, p. 117-129.

ARANGO, J., Sierra, F., Silva, V. An exploratory analysis of existing research on internal combustion engines operating with biogas. En: Revista Tecnura. 2014, Vol. 18, no. 39, p. 152-164.

ARANGO, Jorge. SIERRA, Fabio. PÉREZ, Sergio. Performance of a dual-fuel natural gas- diesel engine in oil fields. En: Informador Técnico. 2014. Vol. 78, no.1, p. 25-36

BEDOYA, Iván. ARRIETA, Andrés. CADAVID, Francisco. PAREJA, Jhon. Effect of the engine load level and pilot fuel quantity on the mechanical and environmental performance of a dual-fuel compression ignition engine in power generation. En: Facultad Ingeniería Universidad de Antioquia. 2007. no .42, p. 79-93.

BOERIS, Claudia E. Aplicación de métodos bibliométricos a la evaluación de colecciones: El caso de la biblioteca del Instituto Argentino de radioastronomía. Tesis de grado Licenciada en Bibliotecología y Ciencias de la información. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, 2011. 74 p.

BOTERO, Raúl. PRESTON, Thomas. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Cali: CIPAV. 1987.

CACUA, K., Amell, A., Olmos, L. A comparative study of the combustion properties of normal biogas-air mixture and oxygenenriched biogas-air. En: Revista Ingeniería e Investigación. 2010, Vol. 31, no. 1, p. 233-241.

CALLON, M. COURTIAL, J-P. PENAN, H. Cienciometría. La medición de la actividad científica: de la bibliometria a la vigilancia tecnológica. España: Ediciones Trea, 1995. 110 p.

CAMPS, Diego. Estudio bibliométrico general de colaboración y consumo de la información en artículos originales de la revista Universitas Médica, periodo 2002-2006. En: Universitas Médica. 2007. Vol. 48, no. 4, p. 358-365.

CASTELLANOS, Oscar. FÚQUENE, Aida. RAMÍREZ, Diana. Análisis de tendencias: de la información hacia la innovación. Bogotá D.C.: Programa Interdisciplinario de Investigación y Desarrollo en Gestión, Productividad y Competitividad- Biogestión, Universidad Nacional de Colombia, 2011. 206 p.

CENDALES, Edwin Darío. Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable. Tesis de Maestría Ingeniería Mecánica. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 2011. 69 p.

CHEN, T. HASHIMOTO, A. Effects of pH and substrate: inoculum ratio on batch methane fermentation. En: Bioresource Technology. 1996. vol.56, no.2, p. 179-186.

CHO, J. PARK, S. CHANG. H. Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of Korean food wastes. En: Bioresource Technology. 1995. vol. 52, no.3, p. 245-253.

CHUNLAN, Mao. YONGZHONG, Feng. XIAOJIAO, Wang. GUANGXIN, Ren. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015. Vol. 45, p. 540- 555.

COBO, Manuel Jesús. SciMAT: herramienta software para el análisis de la evolución del conocimiento científico. Propuesta de una metodología de evaluación. Tesis Doctoral Ingeniería Informática. Granada: Universidad de Granada. España. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática. Departamento de ciencias de la computación e Ingeniería Artificial, 2011. 206 p.

COBO, M. LOPEZ, A. HERRERA, E. HERRERA, F. Science Mapping Software Tools: Review, Analysis and Cooperative Study among Tools. En: Journal of the American Society for Information Science and Technology. 2011, Vol. 62, no. 7, p. 1382-1402.

COBO, M. LOPEZ, A. HERRERA, E. HERRERA, F. SciMAT: A new science mapping analysis software tool. En: Journal of the American Society for Information Science and Technology. 2012, Vol. 63, no. 8, p. 1609-1630.

COLIN, X., Farinet, J. L., Rojas, O., Alazard, D. Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater using a horizontal flow filter with bamboo as support. En: Bioresource Technology. 2007, Vol. 98, no. 8, p. 1602-1607.

COLOMBIA. MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO. Decreto 2550 (30, diciembre, 2015). Por el cual se liquida el Presupuesto General de la Nación para la vigencia fiscal de 2016, se detallan las apropiaciones y se clasifican y definen los gastos. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2015. 108 p.

ESCALANTE, Humberto. CASTRO, Liliana. Informe de gestión y desarrollo: mesa de trabajo digestión anaerobia. Vicerrectoría de Investigación y Extensión. UIS, 2015.

ESCALANTE, Humberto. ORDUZ, Janneth. ZAPATA, Henry. CARDONA, María. DUARTE, Martha. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en

Colombia. Bucaramanga: Ministerio de Minas y Energía de Colombia. 2010. 180 p.

ESCORCIA, Tatiana Alexandra. El análisis bibliométrico como herramienta para el seguimiento de publicaciones científicas, tesis y trabajos de grado. Trabajo de grado Microbióloga Industrial. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Departamento de Microbiología, 2008. 61 p.

ESCORSA, Pere. MASPONS, Ramón. De la Vigilancia Tecnológica a la Inteligencia Competitiva. Madrid: Financial Times – Prentice Hall, 2001.

ESPINO, María. BAÑOS, Anabel. VICTORES, María. VALDES, Yohandra. Análisis métrico de la producción científica de la revista Panorama Cuba y Salud en el periodo 2006-2011. En: Cubana de información en Ciencias de la Salud. 2013. vol. 24, no. 3, p. 229-242.

FANG, C . BOE,K. ANGELIDAKI,I. Anaerobis co-digestion of desugared molasses with cow manure; focusing on sodium and potasium inhibition. En: Bioresource Technology.2011.no.102.p.1005-1011.

FORERO, W. y ZUÑIGA, J. Evaluación de la actividad metanogénica de lodos. Trabajo de grado Ingeniero Agrícola .Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, 2003. 149 p.

GARFÍ, Marianna. MARTÍ, Jaime. GARWOOD, Anna. FERRER, Ivet. Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America : A review. En: Renewable and sustainable energy reviews. 2016. Vol.60, p. 599 -614.

GONZALEZ, J. L., Mejia, R., Molina, F. Conceptual design of an experimental household waste water treatment plant addressed to municipalities with a population lower than 30000 inhabitants. En:Ingenierías Universidad de Medellin. 2012, Vol. 11, no. 21, p. 87-100.

HIDALGO, María. GARCÍA, Pedro. Influencia del sulfato en la degradación anaerobia de materia orgánica. En: Ingeniería Química.2001. no. 383, p. 183 - 191.

IEA (International Energy Agency), 2014, World Energy Outlook 2014, OECD/EIA, Paris. 185 p.

JINGDANG,H. Assessment of simulated biogás as a fuel for the spark ignition, Departament of Mechanical and Electrical Engineering,Fujian Agricultural University 1998.

LAINES, José. SOSA, José. CÁMARA, Karla. SÁNCHEZ, Alejandro. FERREYRO, Javier. Diseño, construcción y operación de un Biodigestor anaerobio tipo cúpula a escala real para la obtención de biogás. En: Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y material prima.2011 . vol. 3. No. 2, p. 612-616.

LOPEZ, J. TERRADA, M. Los indicadores bibliométricos y la evaluación de la actividad médico científica (III). Los indicadores de producción, circulación, dispersión, consumo de la información y repercusión. En: Medicina Clínica. 1992. Vol. 98, no. 4, p. 142-148.

LORENZO, Yaniris. OBAYA, Cristina. La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. En: ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar.2005.vol.39, no.1, p.35-48.

LUCIO, Jorge. Indicadores de ciencia y tecnología, Colombia 2015. Bogotá D.C.: Ántropos, 2015. 204 p.

LUCIO, Jorge. Indicadores de ciencia y tecnología, Colombia 2013. Bogotá D.C.: Ántropos, 2013. 428 p.

MARÍN, Alejandra. GIRALDO, Luis. CORREA, Guillermo. In vitro rumen fermentation of kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) grass. En: Livestock research for rural development. 2014, Vol. 26, no. 3.

MARTÍ, Nuria. Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process. Florida, USA. 2006. 26 p.

MARTÍNEZ, María Ángeles. Análisis bibliométrico del trabajo social Internacional basado en mapas de ciencia. Granada, 2015. 61 p.

MATURANA, Aymer. Volatile fatty acids recovery by electrodialysis from a simulated anaerobic fermentation broth. En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Universidad Militar Nueva Granada. 2004, Vol. 14, p. 1-13.

MENESES, A., Hernández, E. Identificación de emisiones directas e indirectas de GEI en el sector tratamiento y disposición de aguas residuales: bases para la formulación de proyectos MDL en PTAR. En: Facultad de Ciencias Básicas. 2004, Vol. 2, no. 1, p. 60-69.

MELO, Ligia. RAMOS, Jorge. HERNANDEZ, Pedro. La educación superior en Colombia: Situación actual y análisis de eficiencia. Borradores de Economía. Bogotá D.C.: Banco de la República, 2014. no. 808, 50 p.

NOGUERA, R. Ramirez, I. Bolivar, D. Effect of dehydrated potato (*Solanum tuberosum*) on the kinetics of fermentation in vitro of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). En: Livestock research for rural development. 2006, Vol. 18, no. 5.

OECD Reviews of Innovation Policy: Colombia 2014, OECD Publishing, 2014. 242 p.

OSPINA, Diana. Caracterización de la producción científica y visibilidad de los investigadores de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín en la ISI Web of Science (1990-2007). Tesis de Maestría Ingeniería Administrativa. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Escuela de la Ingeniería de la Organización, 2009. 187 p.

PAÉZ, Jenny Paola y PRIETO Jinneth Viviana. Evaluación de la producción científica de la revista Ingeniería y Universidad a partir de indicadores

bibliométricos en el periodo 2009-2013. Trabajo de grado Profesional en Ciencia de la información – Bibliotecología. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Comunicación y Lenguaje. Departamento de Ciencia de la Información, 2013. 57 p.

PANESSO, A., Cadena, J., Mora, J., Ordoñez, M. Analysis of the biogas obtained in a landfill as primary fuel in an electric power generation system. En: *Scientia Et Technica*. 2011, Vol. 17, no. 47, p. 23-28.

PAREDES, D., Kusch, P., Mbwette, T., Stange, F., Müller, R., Köser, H. New aspects of microbial nitrogen transformations in the context of wastewater treatment - A review. En: *Engineering in Life Sciences*. 2007, Vol. 7, no. 1, p. 13-25.

PAREDES, D., Kusch, P., Köser, H. Influence of plants and organic matter on the nitrogen removal in laboratory-scale model subsurface flow constructed wetlands inoculated with anaerobic ammonium oxidizing bacteria. En: *Engineering in Life Sciences*. 2007, Vol. 7, no. 6, p. 565-576.

PAZ, Olga. Barba, Luz. Marriaga, Nilson. Vinasse treatment by coupling of electro-dissolution , hetero-coagulation and anaerobic digestion. En: *DYNA*. Universidad Nacional de Colombia. 2014, Vol. 81, no. 187, p. 102-107.

Perfil Sector agroindustrial Colombiano. Bogotá D.C.: Proexport Colombia, 2012. 16 p.

Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018: Todos por un nuevo país. Tomo 1. Departamento Nacional de Planeación, 2015. 546 p.

POSADA, Sandra. Noguera, Ricardo. Segura, Juan. Ruminant feces used as inoculum for the in vitro gas production technique. En: *Revista Colombiana de ciencias pecuarias*. 2012, Vol. 25, p. 592-602.

POSADA, Sandra. Noguera, Ricardo. Bolivar, Diana. Relationship between pressure and volume for the implementation of the gas production technique in

vitro, in Medellín, Colombia. En: Colombiana de ciencias pecuarias. 2006, Vol. 19, no. 4, p. 407-414.

POSADA, S. Noguera, R. The in vitro gas production technique: a tool to evaluate ruminant feeds. En: Livestock research for rural development. 2005, Vol. 17, no. 4.

PRESTON, Thomas. Rodríguez, Lylian. Energy returned on energy invested (EROI); the case for gasification as a component of an integrated live stock based farming system. En: Livestock research for rural development. 2009, Vol. 21, no. 11.

Publindex. Sistema Nacional de indexación y Homologación de Revistas Especializadas de CT + I. [En línea]. <<http://publindex.colciencias.gov.co:8084/publindex/EnlbnPublindex/resultados.do>> [Citado el 07 de marzo de 2016].

RAMIREZ, Ivan. Anaerobic digestion modeling: from one to several bacterial populations. En: Tecno Lógicas. 2013. no. 31, 181-201.

REDBIOCOL Red Colombiana de Energía de la Biomasa. [En línea]. <<http://www.redbiocol.org/>>. [Citado el 20 de abril de 2016].

Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. [En línea]. <<https://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/about/editorialPolicies#peerReviewProcess>>. [Citado el 15 de abril de 2016].

RODRÍGUEZ, Alfonso. Scopus y su importancia en la publicación científica Colombiana. En: Scientia Et Technica. 2013. vol. 18 , no. 4.

RODRÍGUEZ, Daniel Hernando. Programación en R del método de palabras asociadas. Trabajo de grado Estadístico. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Estadística, 2007. 16 p.

SANABRIA, Janeth. Duran, María. Gutierrez, Nelson. Comparison of specific methanogenic activity measurement methods in anaerobic reactors on the treatment of vinasse. En: Ingeniería y región. Universidad Surcolombiana. 2012, no. 9, p. 75-82.

SANDOVAL, Claudia. Carreño, Mariela. Castillo, Edgar. Vergara, Marisol. Caracterización microbiológica de los lodos que intervienen en la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. En: ION. Universidad Industrial de Santander. 2007, Vol. 20, no. 1, p. 58-62.

Sistemas para la investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria. CIPAV. [En línea]. <
http://www.cipav.org.co/quienessomos/premios_distinciones.html >. [Citado el 14 de abril de 2016].

SOARES, Leonardo. RODRIGUES, José. RATUSZNEI, Suzana. MATTOS, Elizabeth. ZAIAT, Marcelo. FORESTI, Eugenio. Effect of bicarbonate alkalinity on gravimetric solids analysis in anaerobic wastewater treatment. En: Interciencia. 2007. vol.32 ,no.9,p. 610-614.

TELLEZ, Sayana Yareima y VEGA, Jennifer Nayive. Digestión anaerobia del mucílago de café utilizando estiércol bovino como inóculo. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, 2012. 57 p.

TORRES, P., Foresti, E. Degradación anaerobia de los compuestos orgánicos presentes en aguas residuales domésticas. En: Ainsa. 1994, no. 2, p. 33-34.

TORRES, P., Cardoso, A., Rojas, O. Quality Improvement anaerobic sludge. Influence of addition Ferric Chloride. En: Ingeniería y Competitividad. 2004, Vol. 5, no. 2, p. 23-31.

TSCHERNING, K. Barrios, E. Lascano, C. Peters, M. Schultze-Kraft, R. Effects of sample post harvest treatment on anaerobic decomposition and anaerobic in –

vitro digestion of tropical legumes with contrasting quality. En: Plant and Soil. 2005, Vol. 269, p. 159-170.

TSCHERNING, K. Lascano, C. Barrios, E. Schultze-Kraft, R. Peters, M. The effect of mixing prunings of two tropical shrub legumes (*Calliandra houstoniana* and *Indigofera zollingeriana*) with contrasting quality on N release in the soil and apparent N degradation in the rumen. En: Plant and Soil. 2006, Vol. 280, p. 357-368.

VARGAS, Freddy. CASTELLANOS, Oscar. Vigilancia como herramienta de innovación y desarrollo tecnológico. Caso de aplicación: sector de empaques plásticos flexibles. En: Ingeniería e Investigación. 2005. Vol. 25, no. 2, p. 32-41.

VARGAS, Freddy Abel. Mapeo y vigilancia tecnológica. Aplicación en el sector de empaques poliméricos flexibles. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química, 2004. 128 p.

VELÁSQUEZ, Laura Ximena y VILLAMIZAR, Deisy Johana. Aprovechamiento energético del lactosuero mediante digestión anaerobia. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, 2014. 62 p.

Water Research Et Technology. [En línea]. <
<http://wst.iwaponline.com/content/water-science-and-technology-aims-and-scope> >. [Citado el 14 de abril de 2016].

WILLS, Beatriz. Castro, Camilo. Londoño, James. Morales, Felipe. Efecto de los metales pesados cadmio y níquel sobre la producción de metano de un lodo anaerobio a escala de laboratorio. En: Gestión y ambiente. Universidad Nacional de Colombia. 2006, Vol. 9, no. 1, p. 103-114.

ANEXOS

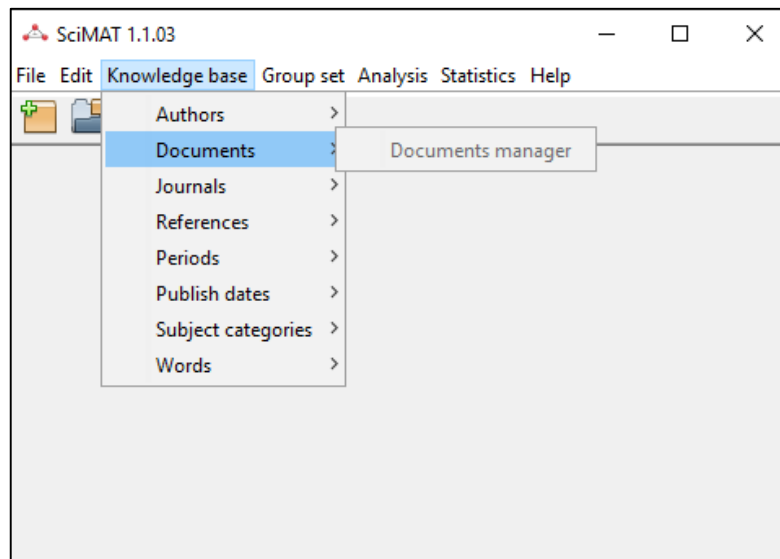
Anexo A. Descripción y funcionamiento de SciMAT.

- **Módulos**

Gráficamente SciMAT se divide en tres módulos:

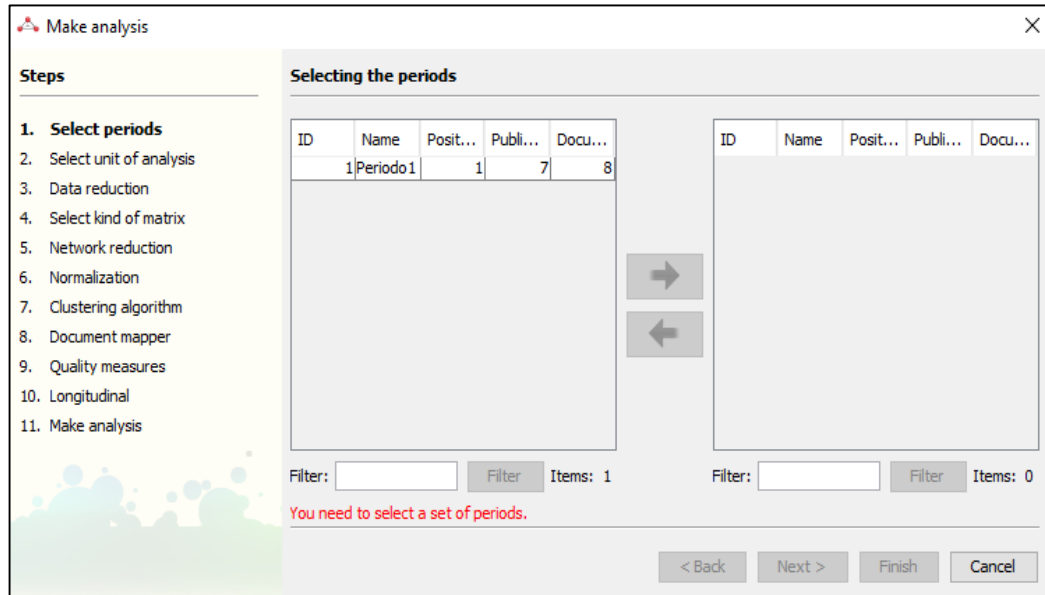
- i. Módulo de gestión de la base de conocimiento y sus entidades (figura 10): Permite tanto la conformación de la base de datos como la edición de las entidades y sus relaciones con otras entidades. En este módulo también se realiza la unificación de los elementos similares que representan un mismo grupo y la división temporal en la cual se realizará el estudio.

Figura 10. Módulo de gestión de la base de conocimiento.



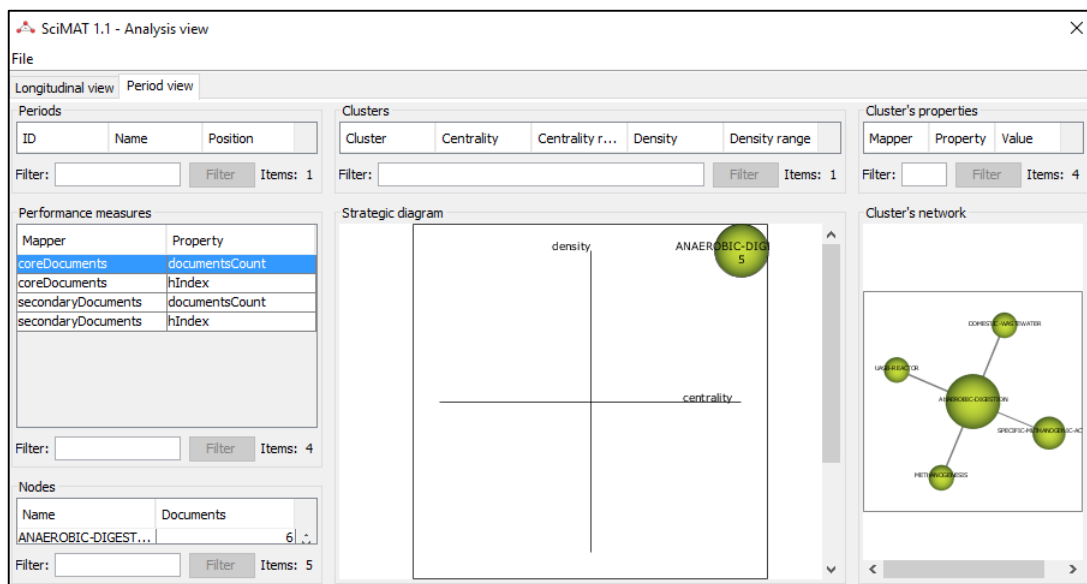
- ii. Módulo para realizar el análisis de mapas científicos (figura 11): Una vez está completa la base de conocimiento, se procede a realizar el análisis de los mapas científicos. Este módulo incorpora todos los pasos para el proceso de mapeo.

Figura 11. Módulo de elaboración de mapas científicos.



- iii. Módulo de visualización de los mapas y resultados (figura12): Concluido el proceso de mapeo, en el módulo de visualización se muestran los resultados obtenidos. Este módulo incorpora los diagramas estratégicos resultado del análisis de mapeo.

Figura 12. Módulo de visualización de mapas y resultados.



- **Análisis de mapas tecnológicos**

Los aspectos fundamentales a tener en cuenta en el análisis de mapas tecnológicos como lo describe Cobo, 2011 son: las fuentes de información, las unidades de análisis y tipo de redes bibliométricas, el pre-procesamiento de la información, las medidas de similitud que pueden emplearse para normalizar las relaciones establecidas entre las unidades de análisis, las técnicas que pueden emplearse para crear el mapa científico, los tipos de análisis que se pueden realizar sobre el mapa para obtener conocimiento de éste, las técnicas de visualización más comunes y la interpretación de los resultados.

Para el análisis de mapas tecnológicos existen tres tipos de relaciones entre unidades de análisis:

- i. Co-ocurrencia: existe esta relación cuando dos elementos aparecen en el mismo documento.
- ii. Emparejamiento: está establecida entre documentos midiendo el número de elementos que tienen en común.
- iii. Enlace directo: establecido entre los documentos y las referencias citadas en ellos.

El proceso de análisis de mapeo mediante el módulo de elaboración de mapas es el siguiente:

1. **Select periods:** En este paso se escogen los periodos en los cuales se desea realizar el análisis.
2. **Select unit of analysis:** La unidad de análisis debe ser seleccionada de acuerdo al aspecto del campo científico que se desea analizar.
3. **Data reduction:** La reducción de datos se realiza para cada periodo con el fin de seleccionar la información más importante. La frecuencia mínima de reducción (*Minimun frecuency*) representa la mínima cantidad de veces que

un dato se debe repetir dentro de la base de conocimiento para ser tenido en cuenta.

4. **Select kind of matrix:** El tipo de matriz depende del tipo de relación que se va a establecer entre las unidades de análisis, para el estudio en digestión anaerobia se seleccionó *Co-occurrence*.
5. **Network reduction:** Similar a la reducción de datos, la reducción de la red selecciona las asociaciones más significativas entre nodos (unidades de análisis). El valor mínimo de reducción de borde (*Minimum value*) representa el número mínimo de veces que se deben relacionar dos nodos en la red para ser tenidos en cuenta.
6. **Normalization:** La medida de normalización contribuye a dar prioridad a las relaciones más fuertes de acuerdo al peso de los nodos. Como medida de normalización se escogió *Equivalence index*.
7. **Clustering algorithm:** El algoritmo de agrupamiento intenta descubrir las subredes que forman la red bibliométrica global, es decir, los conjuntos de nodos que están fuertemente enlazados entre sí, pero probablemente enlazados con el resto de la red (Cobo, 2011). El tamaño máximo o mínimo de la red (*Maximum-minimum network size*) hace referencia a la cantidad máxima y mínima de nodos que se desea mostrar en el diagrama estratégico.
8. **Document mapper:** Hay diferentes tipos de mapeo de documento. *Core mapper* agrega los documentos más centrales en común con el grupo. De manera similar *Secondary mapper* agrega aquellos documentos secundarios en común con el grupo.
9. **Quality measures:** SciMAT agrega por defecto como medida de rendimiento el número de documentos. Las medidas de calidad bibliométricas (*h-index, g-index, q2-index, hg-index, Average citations, Sum citations, Max citations, Min citations*) dependen del número de citas o de la producción bibliográfica que cada autor tiene dentro del campo científico. En este estudio no se tuvieron en cuenta estas medidas de calidad de la producción científica.

10. **Longitudinal:** Para el análisis longitudinal o evolución del mapa también se debe escoger una medida de normalización.
11. **Make analysis:** Realizar el mapeo de la base de conocimiento para su posterior análisis.

Anexo B. Distribución de artículos por instituciones.

Posición	Institución	País	Número de documentos	Porcentaje de participación [%]
1	Universidad del Valle	COL	39	31,5
2	Universidad Nacional de Colombia	COL	21	16,9
3	Universidad Industrial de Santander	COL	18	14,5
4	Universidad de Antioquia	COL	18	14,5
5	University of Leeds	GBR	8	6,5
6	Universidad de los Andes	COL	7	5,6
7	CIPAV	COL	4	3,2
8	Universidad Tecnológica de Pereira	COL	3	2,4
9	UTA-TOSOLY	COL	3	2,4
10	Centro Internacional de Agricultura Tropical	COL	2	1,6
11	Universidad de Hohenheim	GER	2	1,6
12	Universidad Militar Nueva Granada	COL	2	1,6
13	Universidad del Quindío	COL	2	1,6
14	Universidad del Cauca	COL	2	1,6
15	International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering	HOL	2	1,6
16	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne	SUI	2	1,6
17	Universidad Mariana	COL	1	0,8
18	Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga	COL	1	0,8
19	Universidad de Pamplona	COL	1	0,8
20	Pontificia Universidad Javeriana	COL	1	0,8
21	Universidad de Sao Paulo	BRA	1	0,8
22	Universidad Católica de Manizales	COL	1	0,8
23	Ecole des Mines de Nantes	FRA	1	0,8
24	Universität Kassel	GER	1	0,8
25	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH	GER	1	0,8
26	University of Dares Salaam	TAN	1	0,8
27	Institute for Environmental Engineering	GER	1	0,8
28	CIRAD-CA	FRA	1	0,8
29	Universidad Santiago de Compostela	ESP	1	0,8
30	Universidad de Concepción	CHI	1	0,8
31	Federal University of Ouro Preto	BRA	1	0,8
32	Universidad de la Salle	COL	1	0,8
33	Universidad de América	COL	1	0,8
34	Universidad del Zulia	VEN	1	0,8

Continuación anexo B.

Posición	Institución	País	Número de documentos	Porcentaje de participación [%]
35	Universidad de la Guajira	COL	1	0,8
36	Universidad de Florida	USA	1	0,8
37	Universidad Nacional Autonoma de México	MEX	1	0,8
38	Universidad de la Amazonia	COL	1	0,8
39	Universidad Pontificia Bolivariana	COL	1	0,8
40	Universidad de los Andes, Merida, Venezuela	VEN	1	0,8
41	Radbout University Nijmegen, Netherlands	COL	1	0,8
42	Universidad Surcolombiana	COL	1	0,8

Anexo C. Distribución de artículos en revistas nacionales.

Revista nacional	Número de documentos	Porcentaje de participación [%]
Livestock Research for Rural Development	14	11,3
Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia	10	8,1
DYNA	7	5,6
ION	7	5,6
Scientia Et Technica	5	4,0
Ingeniería e Investigación	4	3,2
Ingeniería y competitividad	4	3,2
Ciencia, tecnología y futuro	3	2,4
EIA	2	1,6
Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente	2	1,6
Revista Colombiana de biotecnología	2	1,6
Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial	2	1,6
Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas	2	1,6
Ciencia e Ingeniería Neogranadina	2	1,6
Revista Colombiana de Ciencias Agropecuarias	2	1,6
Agronomía Colombiana	1	0,8
Ainsa	1	0,8
Facultad Ingenierías Fisicomecánicas UIS	1	0,8
Gestión y Ambiente	1	0,8
Ingeniator	1	0,8
Ingeniería y Desarrollo	1	0,8
Ingeniería y región	1	0,8
Ingeniería y Universidad	1	0,8
Iteckne	1	0,8
Publicaciones e investigación	1	0,8
Revista de Ingeniería	1	0,8
Revista Facultad de ciencias agropecuarias	1	0,8
Revista Ingenierías Universidad de Medellín	1	0,8
Revista Universidad EAN	1	0,8
Tecno Lógicas	1	0,8
Tecnura	1	0,8
U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica	1	0,8
UIS Ingenierías	1	0,8
Universitas Scientiarum	1	0,8

Anexo D. Distribución de artículos en revistas internacionales.

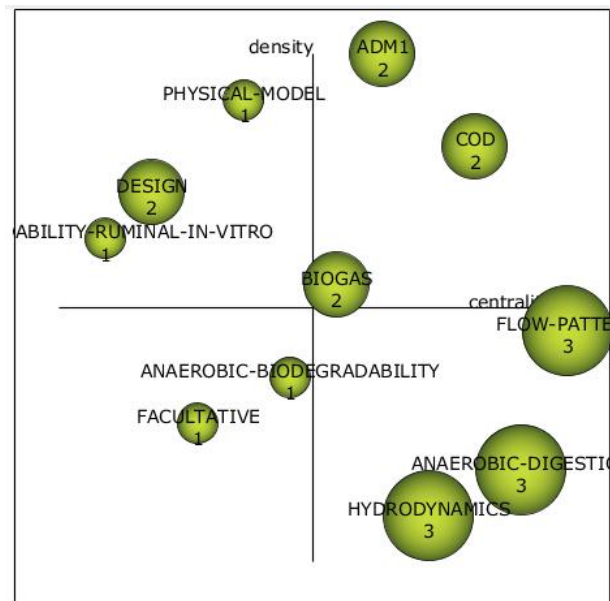
Revista internacional	Número de documentos	Porcentaje de participación [%]
Water Science and Technology	13	10,5
Bioresource Technology	3	2,4
Water Research	3	2,4
Engineering in Life Sciences	2	1,6
Plant and Soil	2	1,6
Revista Técnica Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia	2	1,6
Waste Management	2	1,6
Brazilian Journal of Chemical Engineering	1	0,8
Environmental Engineering Science	1	0,8
Environmental Technology	1	0,8
Journal of Membrane Science	1	0,8
Mathematical Problems in Engineering	1	0,8
Process Biochemistry	1	0,8
Química nova	1	0,8
Renewable Energy	1	0,8
Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária	1	0,8

Anexo E. Análisis de diagramas estratégicos por temáticas especializadas.

- **Diagrama estratégico modelamiento y control**

La digestión anaerobia es un proceso complejo y, en ocasiones, presenta problemas de estabilidad que pueden ser remediados con una mayor comprensión del proceso. Es por esto que el campo de modelamiento y control ha tenido gran acogida debido al rápido avance de la tecnología en los últimos años, lo cual se ve reflejado al ser la segunda temática más abordada. El modelo matemático Anaerobic Digestion Model 1 (ADM1) desarrollado por International Water Association (IWA) se presenta como un tema completamente acogido por los investigadores en esta especialidad debido a su completa estructura que incluye múltiples pasos que describen tanto la bioquímica como la físico-química del proceso. De la misma forma, *Chemical Oxygen Demand* (COD: materia contaminante del efluente a tratar) se posiciona como un tema muy desarrollado, al ser uno de los factores más importantes y determinantes en DA.

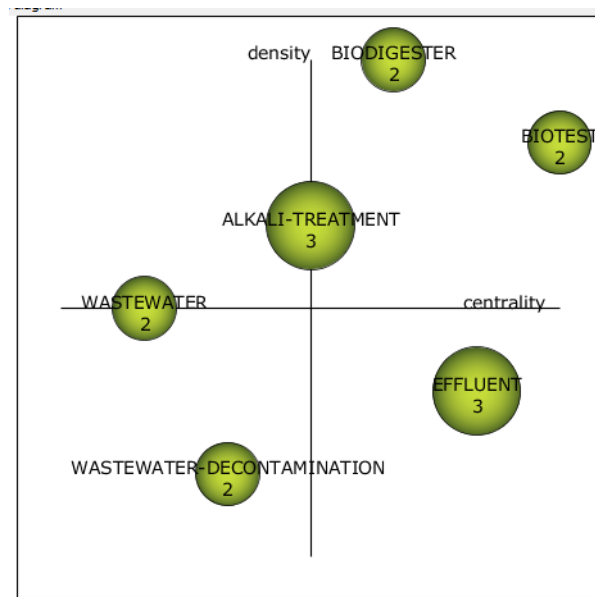
Figura 13. Diagrama estratégico modelamiento y control.



- **Diagrama estratégico manejo del digerido**

Siendo el digerido o digestato el mayor subproducto del proceso de digestión anaerobia, éste ha adquirido gran importancia en el campo de investigación al atribuírsele diversas propiedades tanto para uso agrícola como comercial. No obstante, el lodo efluente de los digestores debe ser tratado, ya que éste, en su estado natural, contiene agentes patógenos perjudiciales, metales pesados así como niveles elevados de pH. De esta manera, se pueden identificar temas ampliamente abordados por los investigadores en cuanto a procesos de estabilización alcalina del efluente, además de que este tema cuenta con estrictas regulaciones por parte de las organizaciones ambientales, especialmente la Environmental Protection Agency; también se observan aspectos que se encuentran lo suficientemente desarrollados como *BIOTEST* y *BIODIGESTER* ya que son temas base en el desarrollo del manejo del digerido.

Figura 14. Diagrama estratégico manejo del digerido.



- **Diagrama estratégico manejo de biogás**

La palabra Engine combustion o motor de combustión es un tema central; debido a que, el uso de biogás en motores de combustión interna presenta una ventaja

significativa en el control del cambio climático, especialmente en la mitigación de gases de efecto invernadero. En la actualidad las investigaciones están dirigidas a realizar modificaciones en el sistema de mezcla aire combustible, rangos de composición de biogás en cuanto a cantidad de CH₄ y CO₂, la presión de suministro de combustible, así como el control de variables de prueba en cuanto a porcentaje de carga, velocidad de rotación y par efectivo del motor, todo lo anterior encaminado al mejoramiento de la eficiencia de operación. (Sierra., 2008)(H. Jingdang, 1998).

Otros de los temas centrales abordado por los investigadores Colombianos es el de motores con funcionamiento dual. Su importancia radica en que los sistemas dual permiten la operación simultanea de motor con dos combustibles: uno líquido, que puede ser diésel o biodiesel y otro gaseoso, que puede ser: gas natural gas licuado de petróleo (GLP), biogás u otro (Arango, et al 2014). La implementación de los Motores encendidos por compresión a funcionamiento dual diésel-biogás reduciría considerablemente el consumo de diésel en la generación de electricidad en las zonas no interconectadas, aportaría en la reducción de emisiones libres de metano a la atmósfera y crearía fuentes de ingreso mediante la implementación de mecanismos de desarrollo limpio.(Bedoya., et al 2007).

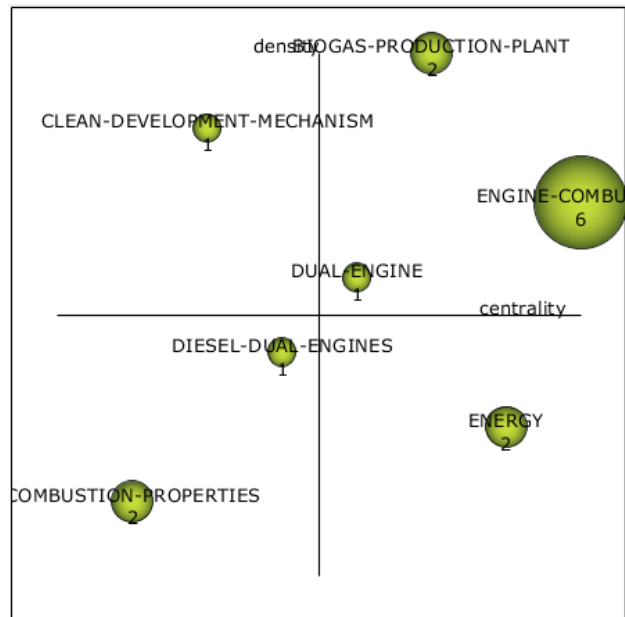
Otro tema central es el de plantas de producción de biogás, ya que Colombia cuenta con un gran potencial para el aprovechamiento de residuos orgánicos; por consiguiente, es factible la construcción de plantas de manejo de residuos sólidos orgánicos.

Uno de los temas emergentes es el de propiedades de combustión; debido a la importancia de conocer estas propiedades con el fin de identificar la disponibilidad energética de una mezcla combustible- comburente, las condiciones para que ocurra la combustión, los requerimientos de aire para una combustión completa y la cantidad y composición de los productos de combustión (Amell, A. A., 2002).

Entre las propiedades de combustión se encuentran: volumen estequiométrico de aire, volumen de humos húmedos y humos secos, porcentaje máximo de CO₂,

temperatura de rocío, temperatura adiabática de llama, velocidad de deflagración laminar o velocidad de llama, mínima energía de ignición.

Figura 15. Diagrama estratégico manejo de biogás.



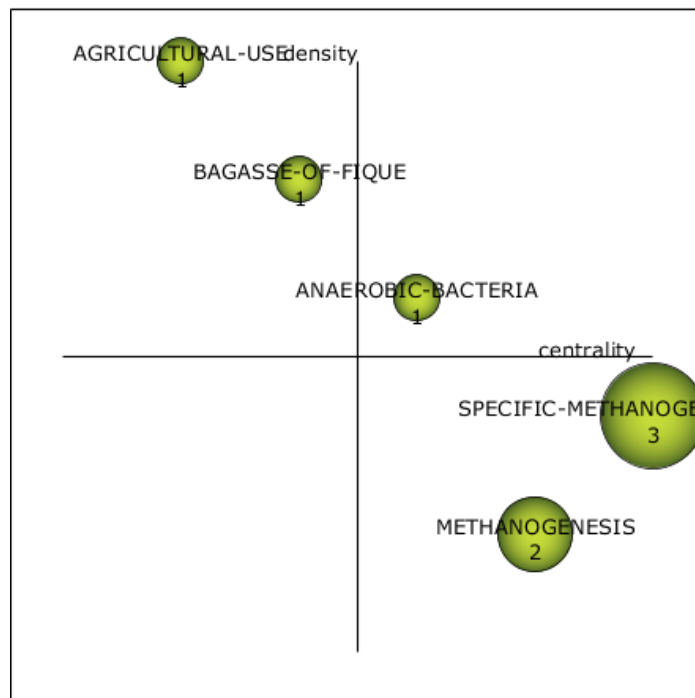
- **Diagrama estratégico microbiología**

El tema más desarrollado es Anaerobic bacteria, debido a la complejidad que presentan los sistemas anaerobios especialmente en la diversidad de las poblaciones de bacterias y arqueas que interactúan de diferentes maneras en el momento de degradar sustratos específicos. En este sentido, los progresos realizados por la microbiología anaerobia en los últimos años se encuentran encaminados al estudio de las diferentes vías metabólicas que pueden ocurrir entre los diferentes consorcios microbianos anaerobios presentes dentro de los reactores.

Un tema que presenta atención por parte de los investigadores es uso agrícola o uso agrícola. Este tópico se encuentra relacionado con análisis de la concentración de indicadores de contaminación bacteriana, viral y parasitaria particularmente de biosólidos provenientes del tratamiento de aguas residuales para

usos agrícolas cumpliendo con la normatividad ambiental; sin embargo, otro de los temas especializados es la producción de metano a partir de residuos lignocelulósicos entre ellos se encuentra el bagazo de fique, por medio del análisis del comportamiento de la densidad microbiana durante el funcionamiento de un biorreactor anaerobio con este tipo de residuos.

Figura 16. Diagrama estratégico microbiología.

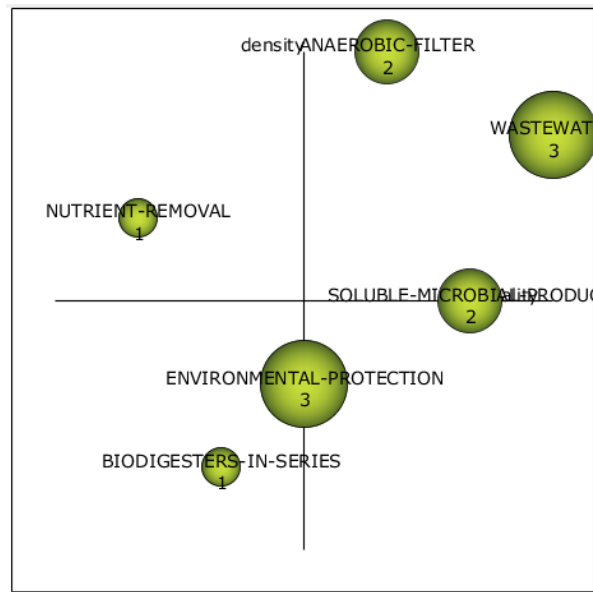


Entre los temas centrales en desarrollo se destacan la etapa de metanogénesis y la actividad metanogénica específica, estos dos tópicos tienen una gran relevancia; ya que, uno de los factores críticos para la estabilidad de los reactores anaerobios es el mantenimiento de suficientes poblaciones metanogénicas; por ende, una disminución en su actividad afecta directamente la ejecución de reactores anaerobios en términos de producción de metano y calidad del efluente. (Sandoval., et al 2007).

- **Diagrama estratégico configuración de reactores**

La investigación en configuración de reactores se ha venido dando en torno a temas como agua residual (*WASTEWATER*) y filtro anaerobio (*ANAEROBIC FILTER*), en donde los autores han analizado el efecto de diferentes modificaciones en los reactores (especialmente filtros anaerobios) sobre el tratamiento de aguas residuales; es por esto que producto microbiano soluble (*SOLUBLE MICROBIAL PRODUCT*) es también un tema bastante abordado, ya que estos se adsorben en el interior de las membranas o filtros evitando una operación eficiente aun así, los estudios orientados a esta temática han sido escasos, con una producción de 12 artículos.

Figura 17. Diagrama estratégico configuración de reactores.



Anexo F. Análisis de artículos por temática especializada: variables del proceso.

Sustrato	Configuración del digestor	Fuente de inóculo	Condiciones de operación				Resultados			Referencia
			Volumen útil [L]	TCO [g DQO/L*d]	TRH [h]	T [°C]	Remoción de DQO [%]	Producción de biogás [L ^{biogas} /L ^{biodigestor} *d]	Porcentaje de metano [%]	
AR de planta de blanqueo de celulosa	RAHLF (cubos de espuma de poliuretano)	Lodo granular de UASB	1.964	1.27	25	30	45-55			15
Doméstica	UASB	Lodo de laguna anaerobia	278.000	0.504-0.527	8.3-14	24-27		0.045-0.06		60
Sintética (carbonato-fosfato agregados)	UASB	Lodo granular sedimentado de UASB	3	10	12	33	85	11 L CH ₄ /d		19
Doméstica	UASB	Lodo granular de UASB	0.3				73-75		68	70
Sintética de constituyentes orgánicos e inorgánicos	UASB	Lodo granular de UASB que trata agua residual cítrica	10.5	1.5	9		73		69	71
Doméstica	UASB		275000		7.1	21-25				45
Doméstica		Lodo de PTAR y de laguna de tratamiento de excretas porcícolas	3.5	1.5	24	38	50-75		45-75	9
Industria cervecera		Lodo floculento de UASB del tratamiento de agua residual de industria cervecera	0.16			35				18
Industria artesanal panelera	FAFA (lecho de concha marina)	Líquido ruminal de vaca y otros animales y estiércol de vaca	5.2	3.7-5.1	26	> 30	89.7			8

Continuación anexo F.

Sustrato	Configuración del digestor	Fuente de inóculo	Condiciones de operación				Resultados			Referencia
			Volumen útil [L]	TCO [g DQO/L*d]	TRH [h]	T [°C]	Remoción de DQO [%]	Producción de biogás [L _{biogás} /L _{biodigestor} *d]	Porcentaje de metano [%]	
	SBR	Lodo de estanque de sedimentación de ingenio azucarero	5.2			32	El estudio de bacterias anammox logró un enriquecimiento del 90% en 90 días con una remoción de nitrógeno de 1.92 kg N/m ³ /día			66
Doméstica	UASB	Lodo de UASB que trata ARD	6	1-2	8	27	73			72
Sintética	UASB	Lodo de UASB de PTAR	4	1.6	8-12	24-29	> 80			73
Hospitalaria	RAFABI	Lodo granular del tratamiento de los efluentes de industria cervecera	2.262	0.82	12	30	56-29	El estudio muestra posibles inhibidores del proceso anaerobio con el 100% de AR hospitalarias como sustrato		52
Proceso de extracción de almidón de yuca	Filtro anaerobio (soporte de cáscara de coco)	Estiércol de vaca	15600	5.7	15	21	75			74
Domésticas	UASB	Mezcla de estiércol de vaca y lodo anaerobio de digestor para tratamiento de ARD	5.22		25.28	25-33	> 70			37
Proceso de extracción de almidón de yuca	Filtro anaerobio (soporte de cáscara de coco)	Mezcla de estiércol de vaca y lodo granular	5.7	6-7.9	12	25	> 70	El estudio muestra una mejor eficiencia de la mezcla de inóculos en términos de estabilidad del reactor		49
Doméstica con lixiviado (10%)		Lodo de UASB que trata ARD	1			30	62	Se encuentra un alto efecto inhibitorio de la mezcla de ARD con lixiviados obteniendo un mejor efecto a una proporción 90:10		2

Continuación anexo F.

Sustrato	Configuración del digestor	Fuente de inóculo	Condiciones de operación				Resultados			Referencia
			Volumen útil [L]	TCO [g DQO/L*d]	TRH [h]	T [°C]	Remoción de DQO [%]	Producción de biogás [L ^{biogas} /L ^{biodigestor} *d]	Porcentaje de metano [%]	
Doméstica	UASB Laguna anaerobia	Lodo de laguna anaerobia de 5 años	277800	1.80	7	25	66	Se concluye que en términos de remoción y costos la laguna anaerobia es más conveniente. Pero estos criterios deben ser evaluados en contextos locales	44	
			3437000	0.26	48		68			
Lactosuero	Biofiltro anaerobio UASB	Lodo anaeróbico granulado PTAR	0.025 0.025	5.2 7.8 10.5	45.6 69.6	15- 20	51-60		40	
Aguas residuales proceso de extracción de almidón de yuca	Filtro anaerobio	Estiércol de vaca	29.5	7.0 – 8.8	12		78		48	
Aguas residuales domésticas y lixiviados (5%)	UASB	Lodo anaerobio aclimatado reactor UASB	0.006	2.84	8	27	70		75	
Aguas residuales proceso de extracción de almidón de yuca	Filtro anaerobio	Lodo anaerobio aclimatado reactor UASB		4.8 – 10	16- 18		81.3		5	
Lixiviados de vertederos municipales	RBC (Rotating Biological Contactor) UASB	Lodo Anaerobio PTAR Lodo digestor Anaerobio Granja de cerdos	0.005	3.273	54		62	65	10	

Continuación anexo F.

Sustrato	Configuración del digestor	Fuente de inóculo	Condiciones de operación				Resultados			Referencia
			Volumen útil [L]	TCO [g DQO/L*d]	TRH [h]	T [°C]	Remoción de DQO [%]	Producción de biogás [L _{biogás} /L _{biodigestor} *d]	Porcentaje de metano [%]	
Solución de agua, dextrosa, bicarbonato de sodio y urea	EGSB (Expanded Granular Sludge bed)	Lodo anaeróbico granular reactor UASB	0.0152	1.45 ± 0.09 1.56 ± 0.04	18.9 6 19.9 2	35± 0.5	38 60		27	
Lixiviados de vertederos municipales	UASB	Lodo Lagunas almacenen lixiviados Lodo reactor anaerobio sacrificio de ganado	0.005	6.0 – 32	24		90		26	
Fración orgánica de desechos sólidos municipales	CSTR	Lodo de PTAR y de biodigestor de estiércol porcino	13		25 20 18	35	0.0338 0.0331 0.0449	60 57 55	11	
Mezcla de materia orgánica triturada y agua libre de cloro		Rumen bovino				52			6	
Bagazo de fique	CSTR	Líquido ruminal y lodo estiércol de cerdo	35			39	0.45	60-65	17	
Residuos orgánicos urbanos de frutas y verduras	CSTR		2000	18-20		25		58.8 [% H ₂]	33	

Continuación anexo F.

Sustrato	Configuración del digestor	Fuente de inóculo	Condiciones de operación				Resultados			Referencia
			Volumen útil [L]	TCO [g DQO/L*d]	TRH [h]	T [°C]	Remoción de DQO [%]	Producción de biogás [L ^{biogás} /L ^{biodigestor} *d]	Porcentaje de metano [%]	
Agua residual de la industria palmera		Lodo de PTAR y estiércol de cerdo Lodo anaerobio industria palmera	3			37		0.343		34
Residuos municipales de frutas y verduras	CSTR Lecho fijo	Lodo de PTAR y estiércol de cerdo	24 7.09		24	27			50-70	1
Vinazas Ingenio azucarero		Agua residual con alto contenido de Sangre bovina	5			32		0.02923		65
Solución de ácido acético	UASB	Lodo anaerobio de reactor UASB	0.003	1.84	0.67	24-26			65.3	84
Bagazo de fique		Líquido ruminal Lodo estiércol de cerdo y de vaca	5			39		0.3		54
Bagazo de fique		Lodo PTAR	8			27			25.2	3
Solución de azúcar morena	UASB	Lodo de PTAR	228	3.14	0.26	35				69
Estiércol de cerdo	ABR	Lodo de reactor mesofílico	6	96.4 48.2 32.1	1 2 3	55			23.6 [% H ₂]	25
Aguas residuales proceso de extracción de almidón de yuca	Filtro anaerobio	Estiércol de vaca Lodo granular anaerobio	19	7.0	0.5	30		0.433		77
Bagazo de fique		Mezcla de líquido ruminal y lodo estiércol de cerdo	35			39			47	13

Continuación anexo F.

Sustrato	Configuración del digestor	Fuente de inóculo	Condiciones de operación				Resultados			Referencia
			Volumen útil [L]	TCO [g DQO/L*d]	TRH [h]	T [°C]	Remoción de DQO [%]	Producción de biogás [L ^{biogás} /L ^{biodigestor} *d]	Porcentaje de metano [%]	
Biorresiduos de origen municipal		Lodo anaerobio de PTAR	2			30		0.126	99.84	39
Plantas Forrajeras		Líquido ruminal Heces bovinas				39		0.347		53
Agua residual del proceso de extracción de almidón de yuca		Lodo granular de UASB de la industria papelera	1			30		0.23		78
Agua residual proceso de extracción de almidón de yuca		Estiércol de vaca Estiércol de cerdo Lodo Floculante Lodo granular de UASB de la industria papelera	1			30		0.25		79
Suero de leche en polvo		Reactor UASB industria sacrificio de aves	7.6	12.6	0.67	25				85
Mezcla de estiércol de cerdo y mucilago de café	ABR (Anaerobic Batch Reactor)	Estiércol de cerdo Mucilago de café	5.5	6 - 12	1 - 3	55			50.6 39.0	26
Solución de sacarosa y cianuro de potasio	UASB	Lodo de PTAR de matadero	6.5		0.5	30				64
Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos	Sistema Biorreactor Batería de experimentación	Lodo de PTAR Lodo digestor anaerobio residuos porcícolas	2.4 1		10 - 15	35 - 55				12

Continuación anexo F.

Sustrato	Configuración del digestor	Fuente de inóculo	Condiciones de operación				Resultados			Referencia
			Volumen útil [L]	TCO [g DQO/L*d]	TRH [h]	T [°C]	Remoción de DQO [%]	Producción de biogás [L ^{biogás} /L ^{biodigestor} *d]	Porcentaje de metano [%]	
Lixiviados de vertederos municipales y agua residual doméstica		Lodo anaerobio reactor UASB	1	4 8.29 11.77		30				80
Agua residual proceso de extracción de almidón de yuca	Filtro anaerobio		29500	2.0 – 9.2	1 - 0.83					51
Agua residual proceso de extracción de almidón de yuca	Filtro anaerobio		15600		<15		70-90			81
Porquinaza	UASB		6180		720	24-29	75	4.023		55
Gallinaza con cascarilla de arroz	Biodigestor tipo Batch				960	40		0.25		23

Anexo G. Análisis de artículos por temática especializada: configuración de reactores.

Sistema	Sustrato	Fuente de Inóculo	Condiciones de operación					Resultado Remoción DQO [%]	Referencia
			Volumen [L]	Caudal Q [m ³ /d]	TRH [d]	Temperatura [°C]	pH		
Tanque séptico – Filtro anaerobio	Agua residual domestica			1.7	0.5	25	6.6 – 7.1	84	29
Filtro anaerobio-anóxico-aerobio	Agua residual sintética (urea, acetato de sodio, sucrosa)	Lodo activado de PTAR	25 49 74	0.17	0.42	23.5 – 24.1	7.2	87.7	21
Biodigestores (Cúpula fija GTZ – Tipo Taiwán)	Agua residual de Granja porcina		12000		45	16	6.9- 7.3	96.1	38
Biofiltro anaerobio	Aguas residuales proceso de extracción almidón de yuca	Estiércol de vaca	29500	35.4	0.4-0.43			78 ± 4	50
Biorreactor anaeróbico de membrana	Melaza fresca diluida con agua sin cloro	Lodo granular de digester anaeróbico	5			20 ± 1	6.6 – 7.1		24
Biorreactor anaeróbico de membrana sumergida SAMBR	Agua residual sintética que contenía glucosa, peptona y extracto de levadura	Lodo de PTAR de fábrica de jugos de frutas	32		1.5	35 ± 3	6.94±0.20 6.82±0.24	>95	28
Reactor UASB con lecho fijo de bambú	Agua residual del proceso de extracción de almidón de yuca	Lodo semi-granular de PTAR	12.96		0.395	20-25		87	34
Biodigestor de plástico polietileno de invernadero	Mezcla de agua, estiércol y orina de origen porcino		520	0.0347	15	23	6.8-6.9	88	41
Biorreactor de membrana anaeróbica sumergida	Agua residual municipal sintética	Lodo granular del tratamiento de AR de industria cervecera	4.33		0.33		7.6	98.7	14
Reactor anaerobio de placas paralelas verticales en acrílico	Agua residual doméstica		4.81	0.0045	1.5	22		56	17

Anexo H. Análisis de artículos por temática especializada: modelamiento y control.

Tipo de estudio		Variables modeladas/controladas	Detalles	Conclusion	Referencia
Modelado	Control				
✓		Presión y volumen de gas generado	Se estudió la fermentación ruminal <i>in vitro</i> de diferentes forrajes para obtener una ecuación de correlación entre el volumen y presión del gas generado	Se obtuvo una ecuación entre volumen y presión para la instalación de la técnica <i>in vitro</i> semi-automática de producción de gases para permitir mayor rapidez en las lecturas durante la fermentación y menor intervalo entre una lectura y otra	20
	✓	Comportamiento hidrodinámico y rendimiento del proceso	Se controlaron estas variables mediante la configuración y diferentes velocidades de flujo	Parece posible mejorar las características hidrodinámicas de las configuraciones de lagunas anaerobias y sus tasas de degradación concomitante mediante la introducción de modificaciones del diseño simples a las prácticas de diseño y construcción de las lagunas actuales	46
✓		Grado y tasas de conversión de metano	Se usó un modelo lineal y no-lineal para estudiar la conversión de metano en mallas para estimar la velocidad de hidrólisis	Se encuentran valores comparables a los establecidos en la literatura (0.079-0.157 d ⁻¹) para desechos orgánicos. La tasa de hidrólisis aumenta con un aumento en la proporción inóculo-sustrato. La biodegradabilidad es de un 52% en promedio	4
✓	✓	Reactor anaerobio	Se modela y controla un reactor de flujo ascendente de lecho fijo basándose en diferentes parámetros entre ellos la concentración de biomasa acidogénica, metanogénica, DQO y AGV	Se determina que no es necesario conocer los valores exactos de los parámetros del modelo. El sistema no es autónomo y las coordenadas de los puntos de equilibrio varían con el tiempo.	58
✓		Reactor UASFB y reactor batch de digestión anaerobia termófila de lodos activados residuales con pre-tratamiento térmico	Se usa el modelo ADM1 para observar su aplicación en dos tipos de reactores	Las predicciones del modelo, usando los parámetros establecidos en el estudio, concuerdan bien con los resultados de las mediciones en las diferentes condiciones ensayadas. Los modelos resultantes explicaron la evolución dinámica de las principales variables, tanto en la fase líquida como la fase gaseosa.	56

Anexo I. Análisis de artículos por temática especializada: manejo del digerido.

Características del lodo o efluente	Inóculo	Caracterización microbiológica de los lodos o efluentes	Caracterización química del lodo o efluente			Uso del biosólido	Referencia
			N [g/L]	K [g/L]	P [g/L]		
Proceso de fermentación anaerobia del bagazo de fique	Líquido ruminal Estiércol de cerdo	Infección de doble capa de agar Fermentación en tubos múltiples Aislamiento no selectivo y diferencial Identificación serológica	3.30	0.93	3.70	Recuperación y acondicionamiento de suelos estériles degradados	59
Proceso de digestión anaerobia bagazo de fique	Líquido ruminal Estiércol de cerdo	Número más probable Pruebas bioquímicas e identificación serológica Flotación en ZnSO ₄	3.30	0.93	3.70	Acondicionamiento de suelos y producción de un concentrado para animales	51
Laguna anaerobia		Métodos analíticos (ALPHA et al. 1998) Método de Bailenger (1979)	2.74		0.0016	Apropiado para uso agrícola recomendando su evaluación a nivel de invernadero	82
Biosólido de PTAR digestión anaerobia y deshidratación de lodo primario		Filtración por membrana Siembra en medio selectivo Bailenger (1979) Modificado	1.45 [%]	0.06 [mq/100g]	179.41 [mg/ Kg]	Alto potencial de uso agrícola por el contenido de materia orgánica y nutrientes (N,P) que pueden beneficiar el suelo y cultivos	83
Laguna anaeróbica y facultativa		Filtración por membrana Bailenger (1979) modificado Pruebas de presencia / ausencia de Shigella spp. y Salmonella spp. (APHA , 1992)				Efluente apto para el riego restringido	30
Aguas residuales de biodigestores en granjas porcinas		Método Sheather y McMaster (ZARLENGA; TROUT, 2004)				No apto para el uso agrícola	7
Tres tipos de efluentes (UASB, estanques de lenteja de agua, lagunas facultativas)		Técnica estándar en placas cromocult (Merck) y placas selectivas SS (Merck)				No es adecuado para el riego de cultivos	57
Lodo y agua residual Reactor anaerobio de flujo a pistón		Metodología descrita en Manuel Bergey de bacteriología Sistemática (Garrity et al ., 2000)				Metabolizar un 99% de sulfuros totales del agua residual utilizando la cepa de Thiobacillus sp. soportada en guadua	36

Continuación anexo I.

Características del lodo o efluente	Inóculo	Caracterización microbiológica de los lodos o efluentes	Caracterización química del lodo o efluente			Uso del biosólido	Referencia
			N [g/L]	K [g/L]	P [g/L]		
Efluente de biodigestores y de las destilerías de alcohol (vinaza)	Spirulina					Suplementación proteica	42
Efluente biodigestor de tratamiento de estiércol de cerdo y ganado bovino						Potencial de Plantas acuáticas para alimentación animal y abono para cultivos agrícolas	43
Efluente biodigestor de tratamiento de estiércol de cerdo			0.7			Acondicionamiento de suelos para el cultivo de maíz	61
Efluente biodigestor de tratamiento de estiércol de cerdo			0.7			Acondicionamiento de suelos para el cultivo de maíz	62
Efluente biodigestor de tratamiento de aguas residuales						Potencial de Plantas acuáticas para alimentación animal y fertilizantes orgánicos	16

Anexo J. Análisis de artículos por temática especializada: microbiología.

Configuración reactores	Temperatura [°C]	pH	TRH [d]	Sustrato	Fuente de inóculo	Técnicas Microbiológicas	Referencia
Hidrolítico Metanogénico	35 38	4.0 - 6.5 7.5 - 8.0	10 15	Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos	Lodo PTAR Lodo digester anaerobio residuos porcícolas	Recuento estándar en placa por siembra profunda Número más probable NMP Actividad metanogénica específica AME	67
UASB	35		8.3 2.92 1.04	Solución de azúcar morena	Lodo crudo PTAR Lodo anaerobio aclimatado	Número más probable NMP Recuento estándar en placa por siembra en superficie Actividad metanogénica específica AME	35
	35		18 - 22		Biosólido PTAR Domesticas	Filtración por membrana Doble capa en agar Análisis parasitológico de identificación de helmintos	22
Acidogénico Metanogénico	35 ± 1 38 ± 1	5.0 – 6.5 7.0 – 8.0	10	Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos	Lodo PTAR Lodo digester anaerobio residuos porcícolas Solución de melaza, ácido acético, glucosa y agua destilada	Recuento estándar en placa por siembra profunda Número más probable NMP Actividad metanogénica específica AME	68
UASB	35		0.75 - 0.17	Solución de azúcar morena	Lodo anaerobio aclimatado	Recuento estándar en placa por siembra en superficie Número más probable NMP Actividad metanogénica específica AME	32
		7.0 – 8.0	20	Bagazo de fique	Lodo laguna digestión estiércol de cerdo Líquido ruminal	Número más probable NMP Roll Tube	31
	23.1 – 28.6	6.50 - 7.34	1.04 0.75 0.5	Agua residual domestica		Número más probable NMP	47

Anexo K. Red de co-autoría de investigadores

