



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Aplicación del biocarbón de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)
en el tratamiento de aguas contaminadas con nitratos: Revisión
Sistemática.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Carrera Calderón, Lizeth Angie (ORCID: 0000-0002-1034-1453)

ASESOR:

Mag. Garzon Flores, Alcides (ORCID: 0000-0002-0218-8743)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los residuos

CHICLAYO — PERÚ

2020

Dedicatoria

A mis padres por ser ejemplos de perseverancia y constancia, inculcando en mí la fuerza y voluntad que me ha permitido culminar con mi carrera profesional y alcanzar mis objetivos personales, pues he sido testigo de sus esfuerzos para velar por mi bienestar y educación siendo mi motivación y apoyo en todo momento.

Agradecimiento

A Mag. Garzon Flores, Alcides por su valiosa guía y asesoramiento a la elaboración de esta tesis, por transmitir los conocimientos obtenidos y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional.

A la persona que adopté como compañero de vida, por su amor, sus consejos y su tiempo compartido, por su apoyo incondicional en todo momento.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGÍA	10
3.1 Tipo y diseño de investigación	10
3.2 Categoría, subcategorías y matriz de categorización apriorística	10
3.3 Escenario de estudio.....	11
3.4 Participantes	11
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	12
3.6 Procedimientos	12
3.7 Rigor científico	15
3.8 Método de análisis de información	17
3.9 Aspectos éticos.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
V. CONCLUSIONES.....	33
VI. RECOMENDACIONES.....	34
REFERENCIAS	35
ANEXOS.....	50

Índice de tablas

Tabla 01. <i>Composición química y su uso de la caña de azúcar</i>	9
Tabla 02. <i>Matriz de categorización apriorística</i>	10
Tabla 03. <i>Resumen de criterios de búsqueda</i>	13
Tabla 04. <i>Selección de artículos mediante categorías</i>	16
Tabla 05. <i>Artículos seleccionados con asignación de puntaje</i>	16
Tabla 06. <i>Indicadores de vacíos y oportunidades de investigación</i>	19
Tabla 07. <i>Metodologías de producción de biochar</i>	21
Tabla 08. <i>Características del biocarbón de caña de azúcar</i>	27
Tabla 09. <i>Beneficios y desventajas del bagazo y del biochar de la caña de azúcar</i>	30
Tabla 10. <i>Comparación de las características del biochar en la remoción de nitratos</i>	32

Índice de figuras

<i>Figura 01.</i> Diagrama de flujo de los procedimientos para la selección de artículos.	14
<i>Figura 02.</i> Tipos de pirólisis para la producción de biocarbón.	20
<i>Figura 03.</i> Equipos empleados en la pirólisis de bagazo de caña de azúcar.	23
<i>Figura 04.</i> Equipos avanzados para el proceso de pirolización: Pyroprobe CDS 5200 (A) y PY-3030S (B).	24
<i>Figura 05.</i> Bagazo de caña de azúcar (A), canasta con bagazo de caña de azúcar triturado (B) y horno de pirólisis/sistema de retorta (C).	24
<i>Figura 06.</i> Esquema de interior del equipo de pirolización elaborado con barriles.	25
<i>Figura 07.</i> Modificación química de biocarbón con aditivos.	26
<i>Figura 08.</i> pH del biocarbón de bagazo de caña de azúcar.	28
<i>Figura 09.</i> Posición de los autores referente a la aplicación de biocarbón para la remoción de nitratos.	29
<i>Figura 10.</i> Matriz de aplicación de biocarbón de caña de azúcar.	31

Resumen

El principal objetivo de esta revisión fue describir la aplicación de biocarbón de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar) en el tratamiento de aguas contaminadas con nitratos. El cual para su cumplimiento construye los siguientes objetivos específicos: Identificar las metodologías de producción de biochar y sus efectos sobre la adsorción de nitratos, describir las características de sorción del biocarbón, diferenciar los beneficios y desventajas del biochar de caña de azúcar en el tratamiento de aguas contaminadas por nitratos. La búsqueda en las bases de datos obtuvo 169 estudios, sin embargo, luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, resultaron 43 artículos relevantes, de los cuales el 34.88% cumplieron con los tres objetivos de investigación. El tratamiento de aguas contaminadas por nitratos mediante la aplicación de biocarbón de caña de azúcar es una estrategia de bajo costo, pues su producción reduce los desechos de la agricultura y su empleo no requiere energías elevadas. Sin embargo, la diversidad de metodologías de pirólisis genera que el biocarbón no conserve el mismo efecto en todas las condiciones de los sistemas contaminados. Se recomienda desarrollar investigaciones sobre el manejo y la disposición final del material adsorbente luego de su aplicación para la remoción de nitratos.

Palabras clave: Bagazo, biochar, caña de azúcar, remoción y nitrato.

Abstract

The main objective of this review was to describe the application of *Saccharum officinarum* (sugar cane) in the treatment of nitrate-contaminated water. In order to achieve this, it has the following specific objectives: To identify biochar production methodologies and their effects on nitrate adsorption, to describe the sorption characteristics of the biofuel, differentiate the benefits and disadvantages of sugarcane biochar in the treatment of nitrate-contaminated water. The search in the databases obtained 169 studies, however, after applying the inclusion and exclusion criteria, 43 relevant articles were published, of which 34.88% met the three research objectives. The treatment of nitrate-contaminated water through the application of sugarcane biofuel is a low-cost strategy, as its production reduces agricultural waste and its use does not require high energy. However, the diversity of pyrolysis methodologies means that biofuel does not retain the same effect under all conditions in contaminated systems. It is recommended to carry out research on the handling and final disposition of the adsorbent material after its application for nitrate removal.

Keywords: Bagasse, biochar, sugar cane, removal and nitrate.

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura como principal usuario de agua dulce es tanto responsable de la contaminación fluvial, por el uso de agroquímicos que derivan mayormente nitratos como afectada al mismo tiempo, por el uso de aguas contaminadas para riego de los cultivos. Lo que suscita una amenaza cíclica para la sostenibilidad ambiental, pues de la calidad de los recursos hídricos dependen el avance económico, el bienestar social y el equilibrio ecológico porque incide directa e indirectamente sobre el funcionamiento del ecosistema, la salud humana y la seguridad alimentaria, comprometiendo la base de la producción de alimentos” (FAO, 2010 en Pérez y Aguilar, 2012, p.24).

El sector cañicultor es una notable referencia a esta problemática. Puesto que la caña de azúcar tiene “alta capacidad producir amplias cantidades de biomasa que derivan en acumulaciones residuales” (Ishikawa *et al.*, 2007 en Toledo *et al.*, 2008, p. 34), requiriendo cuerpos de aguas como abastecedores para las actividades de cultivo, consumo e industrialización, y como receptores para el vertimiento de residuos, los cuales además, son eliminados con frecuencia tanto dentro de la basura, como mediante su combustión, infligiendo contaminación en los alrededores. Por ello, en la necesidad de confrontar la contaminación del agua provocada por la agricultura, los especialistas de FAO en 1990 sugirieron que "deben tomarse medidas de adaptación con el fin de prevenir que las operaciones agropecuarias deterioren la calidad del agua e impidan posteriores usos de ésta para otros fines" (citado en Ongley, 1997, p.2).

Desde este enfoque surgió como materia de investigación, el tratamiento y gestión de los residuos de la caña de azúcar, específicamente del bagazo, el cual ha sido estudiado precedentemente para la alimentación animal, el control de malezas, la generación de energía y el reciclaje de los nutrientes y la materia orgánica mediante diversas metodologías, siendo el biocarbón el que mayor interés ha recibido durante los últimos, sin embargo son poco los estudios sobre su uso en la remoción de contaminantes acuáticos.

Por ello, esta revisión tiene el propósito de aportar la referencia necesaria para comenzar investigaciones tanto en laboratorio como en campo, que avalen futuras

decisiones con respecto a la posible aplicación del biocarbón. Otras razones trascendentes se perciben en los ejes de la sustentabilidad, así en el sentido social, el biochar tienen el potencial técnico para salvaguardar la seguridad alimentaria, pues “la utilización de agua de desperdicio tratada adecuadamente para fines de irrigación es un método conveniente para combatir la escasez hídrica” (IPCC, 2008, p.69).

Asimismo, en el sentido económico se contribuye a un adecuado manejo agronómico in situ, “aprovechando los residuos y confiriéndoles un valor agregado, pues a medida que los costos de aplicación disminuyen se puede percibir una mayor productividad” (Escalante, *et al.*, 2016, p.12), además se valora el costo de oportunidad social para la generación de nuevos empleos y mercados. En el sentido ambiental se puede “prevenir la eutrofización del agua subterránea; esto, a su vez, puede reducir requisitos de fertilizantes y deterioro ambiental” (Yadav, *et al.*, 2016, p. 177) favoreciendo a la adaptación al cambio climático.

Así el problema general de la investigación fue ¿Cuáles son las distinciones del biocarbón de caña de azúcar para el tratamiento de aguas contaminadas con nitratos? Los problemas específicos de la investigación fueron los siguientes: ¿Cuáles son las metodologías de producción de biochar y sus efectos sobre la adsorción de nitratos? ¿Cuáles son las características del biocarbón de caña de azúcar? y ¿Cuáles son los beneficios y desventajas del biocarbón de caña de azúcar en la remoción de nitratos?

El principal objetivo de esta revisión fue describir la aplicación de biocarbón de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar) en el tratamiento de aguas contaminadas con nitratos. El cual para su cumplimiento construye los siguientes objetivos específicos:

Identificar las metodologías de producción de biocarbón y sus efectos sobre la adsorción de nitratos en aguas contaminadas.

Describir las características de sorción del biocarbón de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar).

Diferenciar los beneficios y desventajas del biocarbón de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar) en el tratamiento de aguas contaminadas por nitratos.

II. MARCO TEÓRICO

La mayor fuente de contaminación de recursos hídricos son las prácticas agrícolas insostenibles, incluyendo el uso inmenso de los agroquímicos y la ineducada disposición de desechos agrarios, mientras que los agentes contaminantes que destacan son los nitratos. En consecuencia, se ha estudiado ampliamente la adsorción de contaminantes por materiales naturales biomasa y desechos vegetales renovables como medida mitigadora de bajo costo. Recientemente la atención se ha desviado hacia subproductos de escala expansiva como el bagazo de caña de azúcar y su pirólisis dentro de la forma de biocarbón, con efectos muy eficientes para el tratamiento de recursos hídricos contaminados con la finalidad obtener aguas con las características adecuadas para reutilizarlas en los cultivos. En lo que se refiere a trabajos previos se señala a nivel mundial:

Fang *et al.* (2020) presentaron la primera revisión mundial sobre el biochar que contiene grafeno, incluyendo el similar al grafeno y el compuesto de grafeno-biochar en la remediación ambiental, para lo cual estudiaron los pretratamientos, las condiciones de calcinación y las características como la superficie específica y el tamaño de los poros que influyen en las aplicaciones sorptivas y catalíticas. De esta manera mostraron que el biochar de bagazo de caña de azúcar contiene nanoestructuras de grafeno, lo que determina que es un adsorbente eficaz y de bajo costo y catalizador para eliminar contaminantes tóxicos. Recomendaron que el biochar que contiene grafeno debe aplicarse como catalizador en lugar de adsorbente para aumentar su potencial en la remediación del agua.

Yang *et al.* (2020) resumieron la interrelación entre el biochar y la recuperación de recursos para guiar en la selección de la metodología adecuada. Referente al bagazo de caña de azúcar expusieron estudios sobre la producción de biochar modificado con solución de cloruro de magnesio ($MgCl^2$) y Cloruro de calcio ($CaCl^2$). para la recuperación de recursos mediante pirolización a temperaturas de 400 °C, 700 °C y 850 °C. Determinaron que la utilización del biochar puede reducir el costo de recuperación de recursos y el uso de energía, pero existen algunos problemas que requieren un mayor debate y exploración.

Zhang *et al.* (2020) realizaron una revisión sistemática sobre eliminación de nitrógeno (N) y fósforo (P) del agua mediante el uso de varios sorbentes, incluyendo la caña de azúcar, discutiendo los posibles mecanismos y factores de influencia. Concluyeron que la capacidad de adsorción de nitratos por biochars sin modificar es relativamente baja debido a la repulsión electrostática de las superficies de biocarbón cargadas negativamente, por el contrario, los biochars modificados por metales tienen una capacidad significativamente mayor para eliminar, debido al cambio en la superficie carga y el aumento de óxidos metálicos en la superficie del biocarbón.

Borchard *et al.* (2019) evaluaron el impacto del biochar en las emisiones de N_2O , lixiviación de NO_3 y concentración final de NO_3 en el suelo mediante un metaanálisis que implica la duración experimental que afecta al ciclo C y N, la relevancia de los tipos de suelo y uso de la tierra y el impacto de las prácticas agrícolas, como el tipo de vegetación y el uso de fertilizantes. Concluyeron que la adición de biochar a suelos arenosos o de textura gruesa redujo tanto las emisiones de N_2O como la lixiviación de NO_3 , lo que reduce las pérdidas de N del suelo y probablemente mejora la eficiencia del uso de N y mitiga el cambio climático. Sin embargo, recomendaron análisis adicionales para asegurar la gestión sostenible de N en los mecanismos ecofisiológicos de las plantas en los sistemas suelo-biochar-planta.

Blanco (2019) sintetizó y discutió los impactos del biocarbón de diferentes tipos de biomasa, incluyendo la caña de azúcar, en la erosión del suelo, erosión hídrica, lixiviación de nutrientes, escorrentía urbana y las fuentes relacionadas de contaminación del agua. Así concluyó que el biocarbón puede reducir la lixiviación de nitrato, lo que, a su vez reduce los riesgos de contaminación por plaguicidas y filtrar la escorrentía urbana, sin embargo, indicó que se necesitan más datos a escala de campo para diferentes escenarios de manejo de suelos y biocarbón.

Anastopoulos *et al.* (2017) redactaron un artículo de revisión sobre la utilización de desechos de la industria azucarera, especialmente del bagazo de caña de azúcar, como adsorbentes y su desempeño en la eliminación de diferentes contaminantes acuáticos. Así analizaron el pH y acumulación de la solución inicial, el tiempo de contacto, la temperatura y la dosis del adsorbente. Referente a nitrato se encontró

que a baja temperatura (25 °C) la eficiencia de adsorción mejoró, mientras que con un aumento de temperatura (55 °C), se notó una reducción. Recomendaron realizar estudios de regeneración y sobre la eliminación de los residuos contaminantes de los adsorbentes.

Sizmur *et al.* (2017) describieron las propiedades superficiales del biochar no modificado y los diversos enfoques de modificación, mediante una revisión de literatura para explicar cómo el proceso de pirólisis y las modificaciones alteran las propiedades superficiales de varios tipos de biochar para la eliminación de contaminantes inorgánicos de soluciones acuosas, implicando al bagazo de caña de azúcar en la remoción de nitratos. Concluyeron que la activación física y química del biochar puede aumentar el área superficial y aumentar la abundancia de grupos funcionales oxigenados para aumentar la adsorción del catión.

Sarker *et al.* (2017) realizaron una revisión de literatura sobre el potencial de biosorción del bagazo de caña de azúcar para diversos contaminantes. Estudiando el biocarbón en su estado natural y con modificación química, así como las diferentes condiciones fisicoquímicas experimentales, incluyendo el pH de la solución, la concentración inicial del contaminante, la dosis de adsorbente y el tiempo de contacto del sistema. Revelaron que la capacidad de adsorción y la facilidad de operación del bagazo de caña de azúcar lo determina como un absorbente eficaz, sin embargo, recomendaron demostrar el uso de adsorbentes de bagazo de caña de azúcar a escala piloto e industrial.

Yin *et al.* (2017) revisaron investigaciones sobre la aplicación del biochar en la eliminación de N inorgánico (NH_4^+ , NO_3^-) y P (PO_4^{3-}) del agua. Para ello se enfocaron en la influencia de la característica intrínseca de varios materiales para la elaboración biochar, teniendo en cuenta el bagazo de caña de azúcar, en la adsorción de N/P y los posibles mecanismos de adsorción. Concluyeron que los métodos de pretratamiento y condiciones de pirólisis determinaron las características como la estructura y el área superficial del biochar que influyeron en la capacidad de adsorción física, mientras que la cantidad y tipo de grupos funcionales, y las composiciones del biochar estuvieron relacionadas con la adsorción química.

Tan *et al.* (2015) redactaron un artículo de revisión sobre las tecnologías de producción y propiedades del biocarbón para eliminar metales pesados, contaminantes orgánicos e inorgánicos. De manera que se ha estudiado la pirolización lenta del bagazo de caña en 450 a 600 °C y 300 a 700 °C, en la eliminación de sulfametoxazol y compuestos orgánicos hidrofóbicos. Concluyendo que las propiedades de los biochars son profundamente afectadas por la temperatura pirolítica, el tiempo de residencia y la tecnología de pirólisis, lo cual permite que pueda utilizarse como un adsorbente prometedor. Sin embargo, recomendaron manejar con cuidado aquellos que se usaron para adsorber contaminantes tóxicos como metales pesados y contaminantes orgánicos.

Clough *et al.* (2013) realizaron una revisión sobre los impactos del biochar en la dinámica del nitrógeno en el suelo, conteniendo estudios de tratamiento lixiviación de nitratos mediante biochar de bagazo de caña de azúcar. Resultando que el biochar puede asumir N a través del intercambio iónico, quitando NH_3 a través de la adsorción, estimulando la inmovilización con el flujo en las consecuencias para la lixiviación NO_3^- y la mineralización, y reduciendo las emisiones de N_2O . Además, recomendaron que se evalué el papel de los biochars en el ciclo de N del suelo de manera sistemática, utilizando isótopos de N para que se comprendan e identifiquen mejor los mecanismos responsables de las variaciones en el ciclo N a largo plazo y las herramientas de mitigación potenciales.

A partir de las últimas consideraciones, es necesario puntualizar el marco de referencia conceptual sobre la contaminación del agua por nitratos. Este contaminante “es altamente soluble en el agua y no puede unirse bien con las partículas del suelo y, como resultado, los iones nitratos pueden contaminar fácilmente las aguas subterráneas y superficiales” (Bhatnagar, 2010; Divband, et al, 2016, p. 101). Por tal motivo “se encuentran naturalmente en muchos ecosistemas acuáticos en moderada cantidad. En el agua subterránea pueden relacionarse con actividades volcánicas y procesos de consolidación de sedimentos” (Strathouse *et al.* 1980; Montiel *et al.*, 2014, p.150).

Además, ciertos ejercicios relacionados con la cría y las excretas de animales contribuyen a que sus niveles se eleven significativamente, produciendo en algunos

casos, eutrofización en las aguas tranquilas y estancadas como lagos, disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto y aumentando la floración de algas nocivas, hasta convertirse en pantano para finalmente secarse, siendo un “peligro para la salud humana excepcionalmente pequeño debido a que el contacto directo con las algas es regularmente limitado” (IPCC, 2008, p.72).

La menor disponibilidad agua estimula eventualmente el manejo de otras fuentes hídricas distintas de las habituales. De hecho, la práctica más común en la agricultura es la reutilización de aguas residuales no tratadas o parcialmente tratadas para usos de riego, porque se supone que contienen regularmente niveles notables de fósforo o nitrógeno, entre otros, y pueden suplantar a los insumos fertilizadores. Sin embargo, “constituyen el medio más eficiente de transporte de contaminantes agrícolas” (Pérez y Aguilar, 2012, p.29) afectando “a la inocuidad de los cultivos y a los animales que los consumen, así como a la producción de los alimentos resultantes” (FAO, 2018, p.80), sin embargo, existen “estrictas normas sobre la calidad del agua tratada para el sistema de riego con la finalidad de evitar peligros sanitarios por patógenos y para garantizar el ajuste de la calidad de los cultivos” (Steenvoorden y Endreny, 2004, p.28).

En este contexto, surge la adsorción como una alternativa para el tratamiento de agua que ha tomado mayor relevancia, debido a que implica menores valores energéticos, los cuales producen de gases de efecto invernadero, asimismo permite disminuir la presión sobre el recurso natural. Este proceso involucra “la transferencia de masa del adsorbato a la superficie del sólido adsorbente donde se concentra el contaminante que se desea remover, a través de la red porosa del sólido para adherir al adsorbente y es donde ocurre la adsorción” (Obregón y Sun-kou, 2013, p. 10). Además, es “influenciado por diferentes factores como pH, concentración de biosorbente, concentración inicial de contaminantes y tamaños de partículas moléculas” (Aksu y Isoglu, 2005; Vera *et al.*, 2016, p.44).

Con respecto a la valorización de los desechos, se sabe que las actividades agrícolas generan biomasa residual, que como materia prima para el tratamiento de aguas de riego representa un nuevo método en potencia para resolver la contaminación no solo sobre el agua, sino también en los demás componentes

ambientales, es decir, el suelo y la atmósfera. De hecho, el aporte a los suelos de los desechos “tiene numerosos beneficios auxiliares, como la expansión y mantenimiento de la generación de alimentos, control de la degradación, avance en la calidad del agua y disminución de las inundaciones en los suministros y vías navegables” (UTCUTS; IPCC, 2008, p. 128).

Todos los vegetales están constituidos mayoritariamente por agua, celulosa y lignina. La caña de azúcar no es la excepción, ya que su residuo es fibroso y se origina en la trituración de la misma en el proceso de molienda para extraer el jugo. Tal como expresan Kirk y Othmer (1961), este residuo está compuesto “por una división con filamentos largos y divisores gruesos, determinados a partir de la corteza y en el interior fibrovascular del tallo, y otra división medular de las células de las paredes delgadas del parénquima del tallo” (Roca *et al.*, 2006; Rincones *et al.*, 2015, p. 442).

A pesar de que los residuos de bagazo de caña tienen otros empleos para la generación de energía en calderas y la extracción de subproductos como el licor y el alcohol, son comúnmente quedos, cuya acción es considerada ofensiva en los lineamientos de la sustentabilidad, pero que se practica ampliamente porque es abundante, pues “las fibras de bagazo restante por cada tonelada de tallo manipulado son de 250 kg a 400 kg” (Hernández *et al.*, 2008, Escalante *et al.*, 2016, p. 373).

De esta manera, la siembra de caña de azúcar en particular puede beneficiarse de este enfoque porque la industria produce varios residuos pirolizables como hojas y puntas de los tallos retiradas durante la cosecha y torta de filtro, el cual es un lodo que se elimina por filtración después del paso de clarificación del jugo. Por lo tanto, desviar el bagazo para la producción de biochar y la enmienda de aguas contaminadas tendría el costo de otras ganancias, en contraposición cuando dicha producción supera las ganancias, y no se aprovecha el “costo de oportunidad de la carbonización en los casos en que la materia prima sea no deseada producto de desecho, su uso para la producción de biochar negando reducir los costos de eliminación (Yeboah *et al.*, 2016, p.17).

Tabla 01. Composición química y su uso de la caña de azúcar

Biomasa	Composición química		Usos agrícolas	Uso Agroindustria	Productos potenciales
					Bioetanol
Polisacáridos	Polisacáridos	Hemicelulosa	Caña de azúcar	Residuo de bagazo	Energía calorífica
					Energía eléctrica
					Cogeneración

Fuente: Vassilev, 2010 citado en Palomo, 2020.

El biocarbón es rico en carbono natural, de color oscuro con una superficie sólida confusa, con similitud a otros carbones, sin embargo, se diferencia por sus aplicaciones naturales, ya que "interactúa en el clima con los ganaderos y aporta beneficios en la eficiencia, bienestar y renta de la tierra, acceso al mercado y finalmente, en la seguridad alimentaria" (Foster y Neufeldt, 2014, p.112). Su producción satisface tres etapas de "la medición y refuerzo del tejido crudo, el cambio de la masa natural y, la generación y partición de los elementos " (Klug, 2012, p.37). El procedimiento del pirólisis se divide de acuerdo con el grado de temperatura. Así Suárez (2015) explicó:

La pirólisis moderada se desarrolla con bajas velocidades de calentamiento hasta aproximadamente 500°C y resulta en tamaños de moléculas entre 5-50 mm. Mientras que la pirólisis rápida calienta velozmente hasta llegar a 440 y 550°C, obteniéndose tamaños moleculares <1mm. La pirólisis flash emplea altas velocidades de calentamiento (104 K/s) y derivan tamaños moleculares <0.1mm. (p. 16).

Además, existen otros métodos para producir biocarbón como gasificación y carbonización hidrotérmica. En el primer procedimiento, "la materia residual es incinerada, generando una reacción en el cambio del desperdicio al carbón, cuyo cambio es el mismo que en la pirólisis moderada, y otra reacción con la temperatura más alta. McLaughlin *et al.*, 2009; Escalante *et al.*, 2016, p. 374). En el segundo procedimiento los costos de generación disminuyen debido a que no es necesario deshidratar la biomasa, pues se incluye "el calentamiento de materiales con alto contenido de agua de sustancias, y aunque la temperatura sea alta, sin alcanzar la ebullición" (Brick, 2010; Escalante *et al.*, 2016, p. 375).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

El estudio sistemático está expresado con enfoque cualitativo correspondiente al tipo de investigación aplicada, el cual como detalla (Tam *et al.*, 2008, p.147) “tiene como objetivo crear nuevas tecnologías a partir de la información obtenida a través de preguntas clave para decidir si estas pueden estar relacionadas con o sin refinamiento para fines caracterizados”. Así este estudio es resultado de un problema en la sociedad y los resultados son aplicables en cualquier lugar.

El diseño de la investigación corresponde a narrativo de tópicos, pues “se compara estudios basados en el diseño y los métodos. Resume los hallazgos de cada uno, y señala defectos o variables potencialmente confusas que pueden haberse pasado por alto, proporcionando una conclusión” (Mcgill, 2006; Hidalgo *et al.*, 2011, p.46).

3.2 Categoría, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Tabla 02. *Matriz de categorización apriorística.*

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Sub categoría	Unidad de análisis
Identificar las metodologías de producción de biochar y sus efectos sobre la adsorción de nitratos en aguas contaminadas.	¿Cuáles son las metodologías de producción de biochar y sus efectos sobre la adsorción de nitratos?	Metodologías de producción	Pirólisis lenta	Abbruzzini <i>et al.</i> (2019), Adeniyi <i>et al.</i> (2020), Diriba <i>et al.</i> (2014) Huang <i>et al.</i> (2016), Jeong <i>et al.</i> (2015), Lima (2017), Moradi <i>et al.</i> (2019a), Morais <i>et al.</i> (2017).
			Pirólisis rápida	Francisco <i>et. al</i> (2017), Sohaib <i>et al.</i> (2017)
			Pirólisis al vacío	Aghoghovwia <i>et al.</i> (2020), Carrier <i>et a.</i> (2012) Pengjun li <i>et al.</i> (2017).
			Gasificación	Kameyama <i>et al.</i> (2015).
			Estado natural	Nwajiaku <i>et al.</i> (2018) Ounas <i>et al.</i> (2011) Quirk <i>et al.</i> (2012), Riaz <i>et al.</i> (2018) Roy <i>et al.</i> (2019) Schellekens <i>et al.</i> (2018), Spokas <i>et al.</i> (2011).
			Modificación química	Divband <i>et al.</i> (2016), Griffin (2017), Lin y Kuo (2012), Montoya <i>et al.</i> (2015), Novais <i>et al.</i> (2018).
Describir las características de sorción del biocarbón de <i>Saccharum officinarum</i>	¿Cuáles son las características del biocarbón de caña de	Características fisicoquímicas	pH	Debalina <i>et al.</i> (2017), El-Gamal, <i>et. al</i> (2017), Hlaváčiková, <i>et al.</i> (2019), Inyang, <i>et al.</i> (2010), Lee, <i>et al.</i> (2013), Varma y Mondal (2017).
			Humedad	
			Porosidad	

(caña de azúcar).	azúcar?	Tamaño
Diferenciar los beneficios y desventajas del biochar de <i>Saccharum officinarum</i> (caña de azúcar) en el tratamiento de aguas contaminadas por nitratos.	¿Cuáles son los beneficios y desventajas del biocarbón de caña de azúcar en la remoción de nitratos?	Remoción de nitratos en agua
		Beneficios del biocarbón
		Desventajas del biocarbón
		Yao <i>et al.</i> (2012), Zhang <i>et al.</i> (2012), Schwantes <i>et al.</i> (2015), Liao <i>et al.</i> (2018), Chuquimboques <i>et al.</i> (2019), Chen <i>et al.</i> (2010), Azeem, <i>et al.</i> (2019).
		Weng <i>et al.</i> (2020), Carrier <i>et al.</i> (2012), Adamu y Ahmadu (2015), Aghoghovwia <i>et al.</i> (2020).

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Escenario de estudio

La contaminación de aguas por nitratos tiene fuentes de procedencia no localizada, pues se produce por la aplicación de agroquímicos en un campo agrícola, así como la mala disposición de los envases vacíos de estos productos que “desprenden nutrientes, sedimentos, minerales y patógenos hacia los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, afectando sus propiedades químico-físicas, mediante procesos de escorrentía, lixiviación, filtración y deposición atmosférica” (Pérez y Aguilar, 2012, p.29). Desde los acuíferos subterráneos, ríos y lagos subyacentes a las zonas agrarias hasta finalmente a los océanos.

Además, el exceso de riego con aguas contaminadas, en conjunto con la abundancia de lluvia en breves períodos altera el crecimiento de los cultivos y disminuye las propiedades alimenticias, a su vez transmite enfermedades a los consumidores como “fiebre tifoidea, amibiasis, el cólera, ascariasis, giardiasis, E. Coli enteroinvasiva y perturbaciones de tipo hormonal” (Reiff, 1987; Ongley 1997, p.15).

3.4 Participantes

Lo participantes son las fuentes que “están disponible en línea, y las bases de datos de texto pueden ser consultadas usando las cadenas de búsqueda definidas para obtener estudios candidatos para la revisión.” (Hidalgo *et al.*, 2011, p.49). Para el desarrollo de este trabajo, se realizó una búsqueda de literatura científica relevante de artículos de investigación en revistas indexadas, utilizando como bases de datos

ScienceDirect (www.sciencedirect.com), Pubmed (www.pubmed.ncbi.nlm.nih.gov) y EBSCO (www.ebsco.com).

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1 Técnicas

La técnica para el procesamiento de la información fue precisada mediante el análisis de documentos, el cual es “un conjunto de operaciones intelectuales, que describen y representan los registros de una manera unida ordenada sistemáticamente, implicando el inventario bibliográfico y común de fuentes, clasificación, indización, comentario, extracción, interpretación y la realización de reseñas” (García, 2002; Dulzaides y Molina, 2004, p. 2). Para ello se tuvo en consideración las categorías y subcategorías de la matriz de categorización apriorística y aquellos criterios tanto de inclusión como de exclusión.

3.5.2 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de información son "cualquier activo en papel o en dispositivo o formato en papel para obtener, grabar o almacenar información, siendo los instrumentos utilizados en la técnica de análisis documental, las fichas, computadora y sus unidades de almacenaje” (Arias, 2012, p.68). Así se utilizó como instrumento una ficha de selección de artículos potenciales con datos referenciales (Anexo N.º 1) y una ficha de recopilación de datos de los documentos revisados con referencia, objetivos, lugar, muestra, resultados, conclusiones y recomendaciones (Anexo N.º 2).

3.6 Procedimientos

Para el procedimiento de la revisión sistemática se llevó a cabo la búsqueda en las bases de datos mediante una ecuación de búsqueda (Sugarcane AND Bagasse OR biochar AND nitrate ADJ removal) limitada al título, resumen y palabras clave, considerando artículos de investigación con idioma español o inglés, basándose en cinco acciones, según Quintana (2006, p. 66):

- Clasificar y seleccionar los documentos más pertinentes para los propósitos de la investigación.

- Leer en profundidad el contenido de los documentos seleccionados, para extraer datos y consignar los patrones, tendencias, y contradicciones que se vayan descubriendo.
- Leer en forma comparativa los documentos en cuestión sobre los hallazgos previamente realizados, a fin de construir una síntesis comprensiva total.

Este análisis bibliométrico utilizó grupos de control con técnicas para la inclusión y eliminación de estudios primarios, a fin de mantener constantes las posibles variables extrañas o eliminarlas en todos los grupos, tal como aparece en la siguiente tabla:

Tabla 03. Resumen de criterios de búsqueda

Tipo de documento	Documentos referidos a	Cantidad	Palabras clave de búsqueda	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículo científico	Metodologías de la producción de biochar de caña de azúcar.	43	"Bagazo", "biochar", "caña de azúcar", "remoción" y "nitrato".	Investigaciones publicadas en la última década (2010-2020)	Investigaciones publicadas antes del periodo (2010-2020)
	Características físicas y químicas que influyen en la sorción de nitratos.	37		Investigaciones publicadas a nivel mundial	Investigaciones publicadas en revistas no indexadas
	Metodologías, beneficios y desventajas del biocarbón en la remoción de nitratos.	19		Investigaciones publicadas en idioma inglés y español	Investigaciones de remoción de otros contaminantes
				Investigaciones publicadas en revistas indexadas	Investigaciones que no contengan controles apropiados

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se incluyó datos de la última década (2010-2020) de estudios a nivel mundial sobre la remoción de nitratos que se establece según las características, beneficios y desventajas del biocarbón de caña de azúcar, así como las metodologías de la producción de biochar. Los artículos que cumplan estos criterios se examinaron en detalle considerando el tipo de diseño metodológico del estudio vigilados y aleatorizados, el tamaño de las muestras de cada estudio, el tipo de tratamiento, los resultados, y en énfasis que describiera la eficiencia del biochar como enmienda de nitrato en aguas.

Asimismo, se excluyeron los estudios con respuesta a la remoción de otros contaminantes, porque no son el objeto de este estudio. También aquellas investigaciones publicadas en revistas no indexadas y que no contengan controles apropiados. Entonces para alcanzar los objetivos, se estableció los siguientes procedimientos para la selección de artículos:

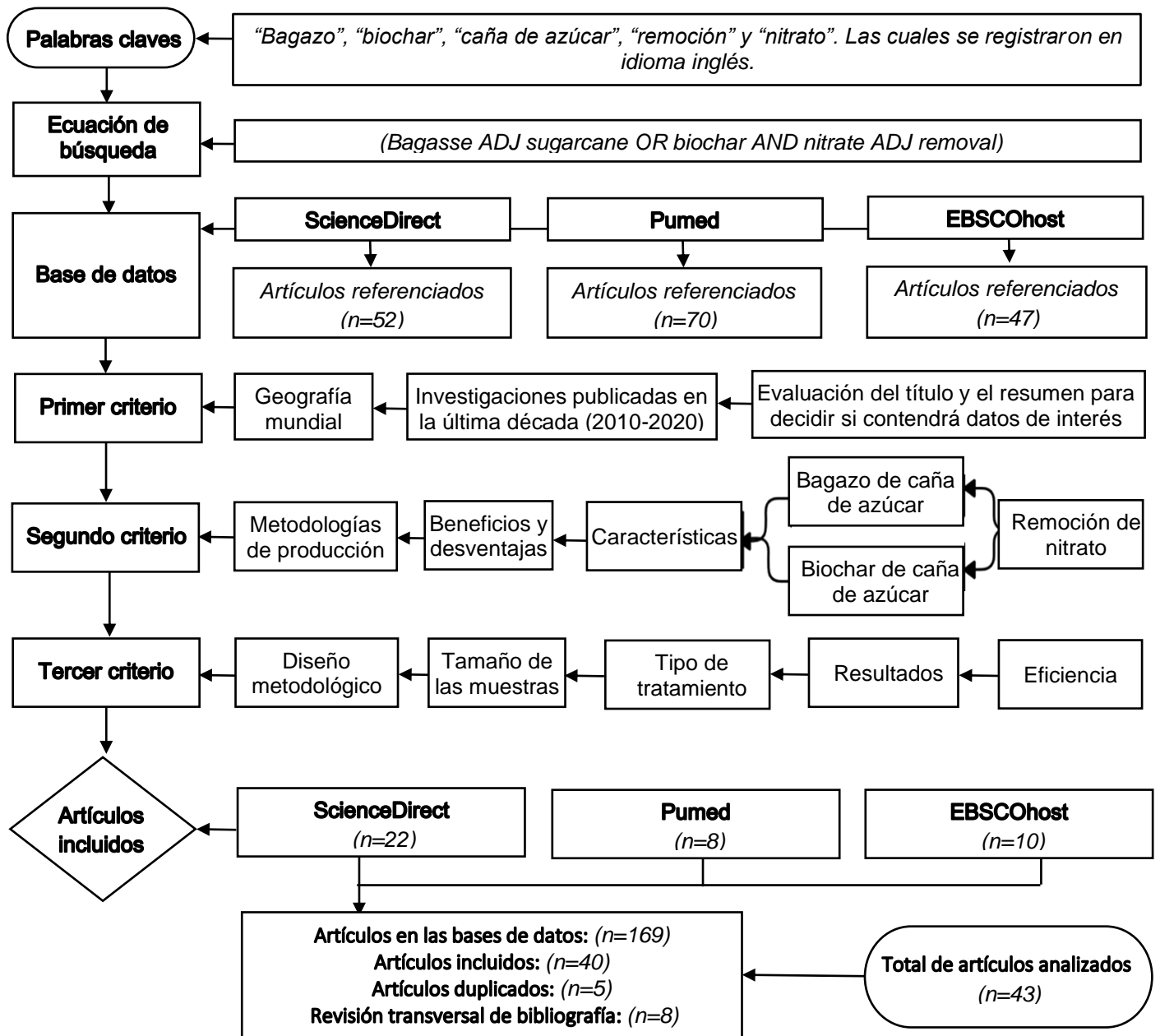


Figura 01. Diagrama de flujo de los procedimientos para la selección de artículos.

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento de búsqueda en las bases de datos mediante la ecuación el obtuvo un total de 169 referencias bibliográficas, sin embargo, luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, resultó 43 artículos relevantes.

3.7 Rigor científico

La rigurosidad está relacionada al control de calidad de los datos mediante métodos de análisis de información, en efecto, “las revisiones sistemáticas evidencian su metodología en la búsqueda de datos para que otros analistas puedan evaluar su rigor, exhaustividad y posible redundancia del método, teniendo en cuenta que las búsquedas en las bibliotecas digitales son casi inconcebibles de replicar” (Kitchenham, 2007, p.4). En relación, Peersman (2014, p.7) considera que los puntos de vista sobre la calidad de la información son:

- Validez: los datos miden lo que se pretende que midan.
- Fiabilidad: los datos se miden y recopilan sistemáticamente según las definiciones y metodologías estándar, además los resultados son los mismos cuando se repiten las mediciones.
- Exhaustividad: se incluyen todos los elementos de información (según las definiciones y metodologías especificadas).
- Precisión: los datos están lo suficientemente detallados.
- Integridad: los datos están protegidos de sesgos o manipulaciones deliberados por motivos políticos o personales.
- Puntualidad: los datos están actualizados y la información está disponible a tiempo.

En esta revisión, la validez se constató en los instrumentos de recolección de información mediante la correlación de las categorías con los ítems que miden tanto la variable independiente (biocarbón de caña de azúcar) como la variable dependiente (el tratamiento de aguas contaminadas con nitratos).

La fiabilidad se valoró cumplimiento de los criterios en la extracción sistemática de datos de los estudios primarios mediante una estimación significativa (puntuación) para cada categoría con valores de 0 a 4, como aparece en la siguiente tabla, con la finalidad de juzgar la validez interna y externa.

Tabla 04. Selección de artículos mediante categorías.

Ítem	Categoría	Descripción	Puntaje máximo
1	Metodologías De producción	En el estudio se tienen en cuenta la descripción de la metodología de producción de biocarbón de caña de azúcar, se determina la temperatura y residencia de conversión termoquímica.	1
2	Características Químicas y Físicas	En el estudio se tienen en cuenta la descripción de las características fisicoquímicas del producto de la metodología. Además, se especifica beneficios y desventajas.	1
3	Remoción de nitratos en agua	En el estudio se tienen en cuenta muestras de agua contaminada con nitratos para su remoción, se detalla el proceso de aplicación y método de adsorción, se desarrolla más bioensayos diferentes, se determina la concentración para el tratamiento del agua.	2

Fuente: Elaboración propia.

Mientras que la exhaustividad se valoró por el cumplimiento específico de la materia de estudio, resultando que, de los 43 artículos, el 34.8% obtuvieron puntaje entre 3 y 4, tal como muestra la siguiente tabla:

Tabla 05. Artículos seleccionados con asignación de puntaje.

Referencia	Categorías			Puntaje total
	1	2	3	
Abbruzzini <i>et al.</i> (2019)	1	0.5	2	3.5
Adamu y Ahmadu (2015)	1	0.5	2	3.5
Adeniyi <i>et al.</i> (2020)	1	0.5	0	1.5
Aghoghovwia <i>et al.</i> (2020)	0.5	1	2	3.5
Azeem <i>et al.</i> (2019)	1	0.5	2	3.5
Carrier <i>et al.</i> (2012)	1	1	0	2
Chen <i>et al.</i> (2010)	0.5	0.5	2	3
Chuquimboques <i>et al.</i> (2019)	1	0.5	2	3.5
Debalina <i>et al.</i> (2017)	1	1	0	2
Diriba <i>et al.</i> (2014)	1	0	2	3
Divband <i>et al.</i> (2016)	1	0.5	2	3.5
El-Gamal <i>et al.</i> (2017)	1	1	0	2
Francisco <i>et al.</i> (2017)	1	0	0	1
Griffin (2017)	1	0	0	1
Hlaváčiková <i>et al.</i> (2019)	1	1	0	2
Huang <i>et al.</i> (2016)	1	0.5	0	1.5
Inyang <i>et al.</i> (2010)	1	1	0	2
Jeong <i>et al.</i> (2015)	1	0.5	0	1.5
Kameyama <i>et al.</i> (2015)	1	1	2	4
Lee <i>et al.</i> (2013)	1	1	0	2
Liao <i>et al.</i> (2018)	1	1	2	4
Lima (2017)	1	0.5	0	1.5
Lin y Kuo (2012)	1	1	0	2
Montoya, <i>et al.</i> (2015)	1	0.5	0	1.5
Moradi <i>et al.</i> (2019a)	1	0.5	0	1.5
Moradi <i>et al.</i> (2019b)	1	0.5	0	1.5

Morais <i>et al.</i> (2017)	1	0.5	0	1.5
Novais <i>et al.</i> (2018)	1	1	0	2
Nwajiaku <i>et al.</i> (2018)	0.5	0.5	0	1
Ounas <i>et al.</i> (2011)	1	0.5	0	1.5
Pengjun li <i>et al.</i> (2017)	0.5	0.5	2	3
Quirk <i>et al.</i> (2012)	1	0.5	0	1.5
Roy <i>et al.</i> (2019)	1	0.5	0	1.5
Riaz <i>et al.</i> (2018)	1	0.5	0	1.5
Schellekens <i>et al.</i> (2018)	1	0	0	1
Schwantes <i>et al.</i> (2015)	1	0	2	3
Sohaib <i>et al.</i> (2017)	1	0.5	0	1.5
Song <i>et al.</i> (2019)	1	0.5	0	1.5
Spokas <i>et al.</i> (2011)	1	0.5	0	1.5
Varma y Mondal (2017)	1	1	0	2
Weng <i>et al.</i> (2020)	1	0	2	3
Yao <i>et al.</i> (2012)	1	1	2	4
Zhang <i>et al.</i> (2012)	1	0.5	2	3.5

Fuente: Elaboración propia.

La precisión e integridad se precisarán en las auditorías por un supervisor independiente sobre la muestra de los estudios escogidos. La puntualidad se estimará en la interpretación y representación de resultados que detallen proximidad temporal a la actualidad.

3.8 Método de análisis de información

Los métodos de investigación de datos aplicados rigurosamente son el análisis crítico y análisis de sensibilidad, los cuales estuvieron enfocados a suprimir los sesgos de selección. En cuanto al análisis crítico se aplicó en la búsqueda de datos, verificando la variabilidad de los procesos químicos y físicos, características químicas y físicas, beneficios y desventajas tanto del bagazo como el biocarbón de la caña de azúcar, pues esta “etapa crítica dentro de la revisión sistemática requiere de buscadores expertos para evitar errores que podrían determinar un sesgo de selección o una base de evidencia incompleta” (Urra y Barría, 2010, p. 5).

Mientras que el análisis de sensibilidad se empleó en la identificación de los vacíos y oportunidades de investigación, que se consideraron como potenciales sesgos que afectan a la revisión en sí misma y ponen en duda la calidad de los resultados alcanzados, pues es esencial “investigar la incertidumbre sobre los criterios inclusión o exclusión en la selección de algunos estudios” (Kitchenham, 2007, p.20), a fin de evitar la existencia de un posible sesgo de selección. Por ello se utilizaron

grupos control para identificar las áreas con vacíos no abordados, que representan oportunidades de investigación, mediante cálculos sugeridos por Gómez *et al.* (2014 en GIA, 2017, p. 58):

1. Para el porcentaje de artículos seleccionados referente a cada categoría aplicando:

$$PPA\%(n) = \left(\frac{T}{TA}\right) X 100$$

Dónde: PAA% es el porcentaje de artículos preseleccionados que responden al criterio de selección, T es el total de artículos preseleccionados que responden al criterio de selección, TA es el total de artículos preseleccionados y n es el número de criterio de selección.

$$PPA\%(1) = \left(\frac{43}{43}\right) X 100 = 100\%$$

$$PPA\%(2) = \left(\frac{37}{43}\right) X 100 = 86\%$$

$$PPA\%(3) = \left(\frac{19}{43}\right) X 100 = 44\%$$

2. Para el promedio de los porcentajes aplicando:

$$APPA\% = \frac{PPA\%(1) + PPA\%(2) + PPA\%(3)}{TC}$$

Dónde: APPA% es el promedio de porcentajes de preguntas o criterios de selección, PPA%(n) es el porcentaje de artículos que responden a las preguntas o criterio de sección y TC es el total criterios de selección.

$$APPA\% = \frac{100\% + 86\% + 44\%}{3} = 76.6\%$$

3. Para el porcentaje de quiebre, mínimo o límite aplicando:

$$MAPP\% = \frac{APPA\%}{3}$$

Dónde: MAPAA% es el porcentaje de quiebre, mínimo o límite y APPA% es el promedio de porcentajes de preguntas o criterios de selección.

$$MAPP\% = \frac{76.6\%}{3} = 25.5\%$$

Los vacíos y oportunidades de investigación se consideraron como potenciales sesgos que afectan a la revisión en sí misma y ponen en duda la calidad de los resultados alcanzados, tal como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 06. *Indicadores de vacíos y oportunidades de investigación.*

Indicador	Valor calculado		
	C1	C2	C3
PAA%	100%	86%	44%
APPA%	76.6%		
MAPAA%	25.5%		

Fuente: Elaboración propia.

También se realizó una “diferenciación entre las categorías comparadas en un estudio para ocultar datos no significativos y sesgar una revisión sistemática hacia resultados positivos” (Drucker *et al.*, 2016, p.112). Para ello se comparó el tipo y parámetros de pirólisis, las características del biocarbón, el porcentaje de remoción de nitratos en cada investigación seleccionada con el objeto de medir las mismas variables en los estudios escogidos y optimar la validez las conclusiones y los resultados de la revisión sistemática.

3.9 Aspectos éticos

Las revisiones sistemáticas “no tienen consideraciones éticas, pues se asocian a investigaciones primarias con seres humanos, animales y plantas generalmente, en donde el investigador debe respetar los principios éticos y legales.” (AECPAL, 2017, p.3). En este escenario, el rol de los valores y principios para garantizar la calidad ética en la redacción de este informe, tendiéndose en cuenta la autoría de los estudios primarios, mediante la referencia de citas, a fin de evitar el plagio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Metodologías de producción de biochar y sus efectos sobre la adsorción de nitratos en aguas contaminadas

La temperatura y tiempo de residencia según el tipo de pirólisis son los parámetros más significativos en los procesos de transformación termoquímicos, pues la primera proporciona el calor necesario para la descomposición y fragmentación de la biomasa (Varma y Mondal, 2017, p.5))Novais *et al*, 2018, p. 2) (Yao *et al.*,2012, p. 8), mientras que la segunda influye en el rendimiento del producto de pirólisis como biocarbón, bioaceite, y gas.

En general, las temperaturas varían desde 200 °C hasta 800 °C y la residencia desde 0.0275 segundos hasta 240 minutos dependiendo del tipo de pirólisis, así se encontró que el 83.72% de los artículos revisados, desarrollaron el proceso de pirólisis lenta para la transformación de bagazo de caña de azúcar a biocarbón, el 6.98% llevaron a cabo pirólisis al vacío y el 4.65% emplearon pirólisis rápida o gasificación.

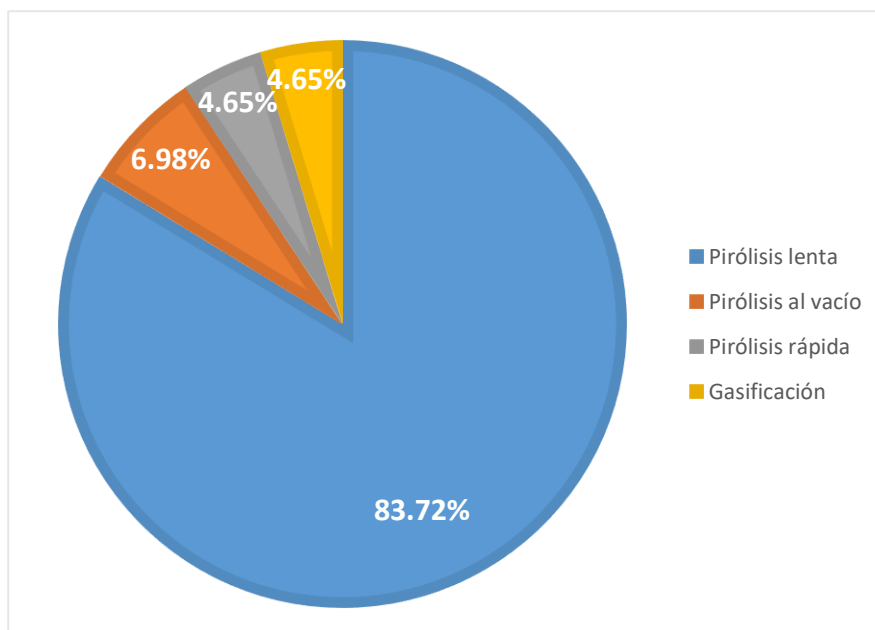


Figura 02. Tipos de pirólisis para la producción de biocarbón.

Fuente: Elaboración propia.

Para ello, Morais *et al.* (2017, p. 5) especificaron que a bajas temperaturas menores que 500 °C y tiempos de calentamiento cortos menores que 2 horas son

generalmente suficiente para la producción de biocarbón, lo que es relevante porque las temperaturas más altas requieren producción costosa y más larga. Así concuerda, Liao *et al.* (2018) quienes investigaron el efecto de la temperatura de pirólisis sobre las propiedades del biochar y su capacidad de retención de nitrato, resultando que los biocarbones de caña de azúcar a temperatura de 500 y 650 °C tienen dos veces más contenido de carbono que a 300 °C, sin embargo, tienen baja capacidad de remoción de nitratos, por lo que los suelos con mayor contenido de intercambio catiónico tienden a prevenir la lixiviación de nutrientes.

Tabla 07. Metodologías de producción de biochar.

Autor	Técnica de producción	Equipo	Temperatura (°C)	Residencia (min)	Tasa de producción (%)	Modificación química	
						Material	Tiempo de contacto
Abbruzzini <i>et al.</i> (2019)	Pirólisis lenta	Reactor	450	120	-	-	-
Adamu y Ahmadu (2015)	Pirólisis lenta	Horno	500	120	-	Ácido fosfórico	18 h
Adeniyi <i>et al.</i> (2020)	Pirólisis lenta	Reactor	349	70	16,67	-	-
Aghoghovwia <i>et al.</i> (2020)	Pirólisis al vacío	Reactor	700	-	-	-	-
Azeem <i>et al.</i> (2019)	Pirólisis lenta	Tanque	350	60	50	Fertilizante químico (NPK)	-
Carrier <i>et al.</i> (2012)	Pirólisis al vacío	Reactor	460	60	20.8	-	-
Chen <i>et al.</i> (2010)	Pirólisis lenta	Horno de tornillo	600	-	-	-	-
Chuquimboques <i>et al.</i> (2019)	Pirólisis lenta	Horno de mufla	350	180	-	-	-
Debalina <i>et al.</i> (2017)	Pirólisis lenta	Microondas	500	180	27.0	-	-
Diriba <i>et al.</i> (2014)	Pirólisis lenta	Horno de mufla	250	60	-	-	-
Divband <i>et al.</i> (2016)	Pirólisis lenta	Horno	300	240	26,1	Epíclorohidrina, N,N-dimetilformamida y etilendiamina	2 h
El-Gamal <i>et al.</i> (2017)	Pirólisis lenta	Barril	550	120	34,93	-	-
Francisco <i>et al.</i> (2017)	Pirólisis rápida	Pyroprobe CDS 5200	550	0.0275 s	-	-	-

Griffin (2017)	Gasificación	Horno	800	127	41	Sulfato de amonio, ácido bórico y bórax	12 h
Hlaváčiková <i>et al.</i> (2019)	Pirólisis lenta	Horno	600	120	-	-	-
Huang <i>et al.</i> (2016)	Pirólisis lenta	Microondas monomodo	200	30	-	-	-
Inyang <i>et al.</i> (2010)	Pirólisis lenta	Horno de mufla	600	90	77	-	-
Jeong <i>et al.</i> (2015)	Pirólisis lenta	Horno de mufla	550	120	-	-	-
Kameyama <i>et al.</i> (2015)	Gasificación	Horno de carbonización	800	120	69	Nitrato de potasio	20 h
Lee <i>et al.</i> (2013)	Pirólisis lenta	Reactor	500	60	24.5	-	-
Liao <i>et al.</i> (2018)	Pirólisis lenta	Horno de mufla	500	120	27	-	-
Lima (2017)	Pirólisis lenta	Horno	650	60	35.4	-	-
Lin y Kuo (2012)	Pirólisis lenta	Horno	600	180	35	Catalizadores de hierro	3 h
Montoya <i>et al.</i> (2015)	Pirólisis lenta	Reactor	550	-	19	Silice	-
Moradi <i>et al.</i> (2019a)	Pirólisis lenta	Horno	600	240	16.65	-	-
Moradi <i>et al.</i> (2019b)	Pirólisis lenta	Horno de mufla	600	240	16.65	-	-
Morais <i>et al.</i> (2017)	Pirólisis lenta	Horno de mufla	500	120	-	-	-
Novais <i>et al.</i> (2018)	Pirólisis lenta	Reactor	350	32	59.6	Aluminio	24 h
Nwajiaku <i>et al.</i> (2018)	Pirólisis lenta	-	350	-	27	-	-
Ounas <i>et al.</i> (2011)	Pirólisis lenta	Horno	334	60	70	-	-
Pengjun li <i>et al.</i> (2017)	Pirólisis al vacío	-	600	120	-	-	-
Quirk <i>et al.</i> (2012)	Pirólisis lenta	Reactor	550	40	31,3	-	-
Roy <i>et al.</i> (2019)	Pirólisis lenta	Horno	575	180	-	-	-
Riaz <i>et al.</i> (2018)	Pirólisis lenta	Horno de mufla	450	120	-	-	-
Schellekens <i>et al.</i> (2018)	Pirólisis lenta	PY-3030S	350	10	-	-	-
Schwantes <i>et al.</i> (2015)	Pirólisis lenta	Horno de mufla	480	120	-	Ácido fosfórico	2 h
Sohaib <i>et al.</i> (2017)	Pirólisis rápida	Horno de mufla	400	20 s	47,2	-	-

Song <i>et al.</i> (2019)	Pirólisis lenta	Horno tubular	300	40	-	-	-
Spokas <i>et al.</i> (2011)	Pirólisis lenta	Horno	350	15	52,6	-	-
Varma y Mondal (2017)	Pirólisis lenta	Reactor	500	30	43	-	-
Weng <i>et al.</i> (2020)	Pirólisis lenta	Horno de mufla	350	30	36	-	-
Yao <i>et al.</i> (2012)	Pirólisis lenta	Horno	600	60	33,4	-	-
Zhang <i>et al.</i> (2012)	Pirólisis lenta	-	600	60	40,2	Cloruro de magnesio	2 h

Fuente: Elaboración propia.

Las metodologías de pirolización incluyen equipos desde engranajes mecánicos avanzados hasta montículos primitivos en el suelo, de tal manera, solamente 40, es decir el 93.02%, de los artículos revisados especificaron el equipo empleado, resultando que el 62.5% usaron horno, el 22.5% usaron reactor, el 5% usaron equipos avanzados o microondas, y el 2.5% usaron tanques o barriles.

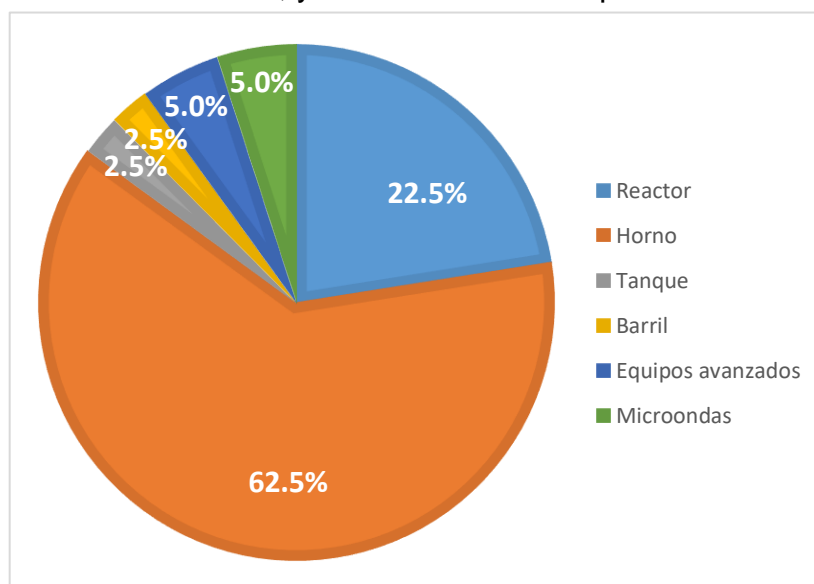


Figura 03. Equipos empleados en la pirólisis de bagazo de caña de azúcar.

Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, Francisco, *et al.* (2017) utilizó Pyroprobe CDS 5200, el cual es uno de los equipos de pirólisis más avanzados del mercado con incrementos de temperatura programables de 1 °C hasta 1400 °C, mientras que Schellekens *et al.* (2018) hizo uso de PY-3030S que tiene un control de temperatura preciso desde 40 °C hasta 800 °C.

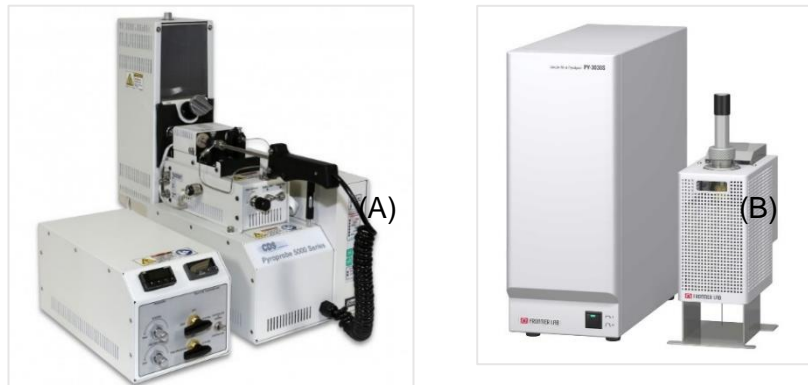


Figura 04. Equipos avanzados para el proceso de pirólisis: Pyroprobe CDS 5200 (A) y PY-3030S (B).

Fuente: CDS-analytical (2018) (A) y Quantum analytics (2016) (B).

En la mayoría de los artículos revisados se utilizó un horno para realizar el proceso de transformación térmica, debido a su fácil manejo como el utilizado por Lima (2017, p.6) realizó pirólisis a 600 °C. Seguidamente, se encuentra el reactor, cuyos sistemas y materiales son muy diversos. Por ejemplo, Lee *et al.* (2013, p. 5) llevó a cabo el proceso de pirólisis en un reactor hecho de acero inoxidable con dentro de un horno calentado eléctricamente, Montoya *et al.* (2015, p. 10) utilizó un reactor de lecho fluidizado burbujeante con lecho de partículas inertes para homogeneizar la distribución del calor en el reactor, Varma y Mondal (2017, p.5) emplearon un reactor semi-discontinuo cilíndrico con horno de calentamiento eléctrico y sistema de condensador.



Figura 5. Bagazo de caña de azúcar (A), canasta con bagazo de caña de azúcar triturado (B) y horno de pirólisis/sistema de retorta (C).

Fuente: Lima (2017)

Además, también se evidenció el uso de un equipo hecho rústicamente por Azeem *et al.* (2019, p. 2) quienes destinaron un recipiente hermético con dos barriles de metal donde la gasificación o carbonización del bagazo de caña de azúcar se

produce dentro de la región de la combustión de gases de pirólisis cuando se combina con el aire secundario dentro de la gama de combustión, mientras que la pirólisis ocurre desde la parte superior hasta la parte inferior del equipo.

Referente a la tasa de rendimiento de producción solo 26, es decir el 60.47%, de artículos detallan que varían desde 16,67% hasta 70%. Para ello Morais *et al.* (2017, p.3) en su estudio señala que el rendimiento disminuyó significativamente de 29.11 a 16.65% cuando la temperatura de pirólisis aumentó de 300 a 600 ° C, pues la mayor parte de la pérdida de masa ocurre por debajo de 400 ° C, mientras que a temperaturas más altas va perdiendo menos materia. Asimismo, Nwajiaku *et al.* (2018, p.3) indicaron que a medida que aumenta la temperatura de pirólisis, el rendimiento de biocarbón de bagazo de caña de azúcar disminuyó del 27 al 22% en temperaturas hasta 350 °C.

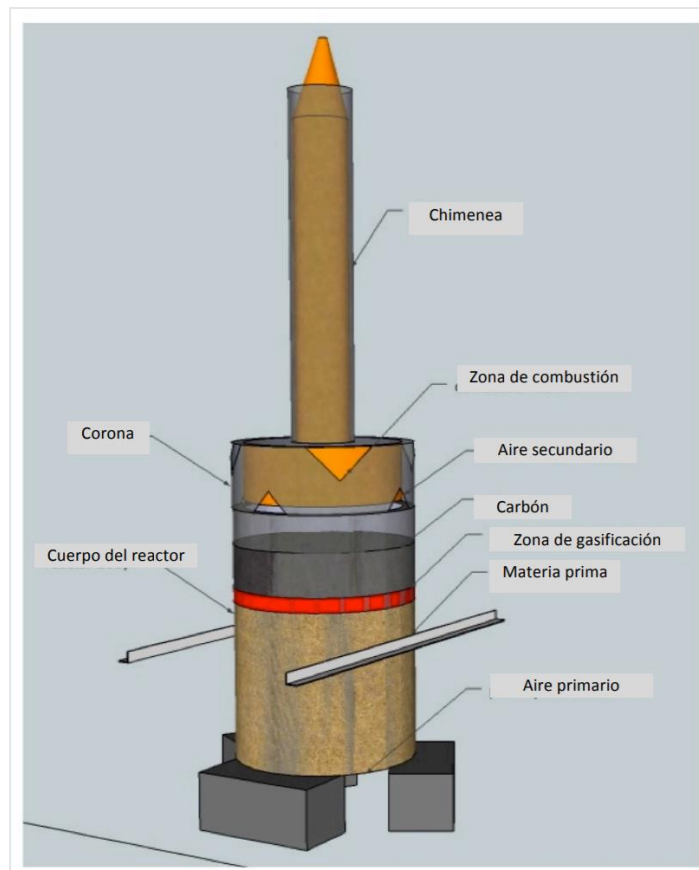


Figura 06. Esquema de interior del equipo de pirolización elaborado con barriles.

Fuente: Aqueous solutions (2013)

La modificación química es una variable alternativa en la producción del biocarbón de bagazo de caña de azúcar, pues se encontró que el 23.26% de los artículos mencionan sobre el tratamiento con aditivos mediante una dosis óptima para mejorar significativamente el rendimiento de biocarbón y su capacidad de adsorción. Mientras que el 76.74% consideran el bagazo crudo sin tratar.

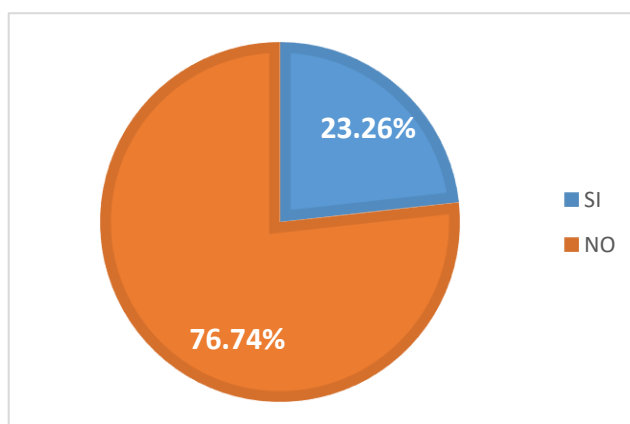


Figura 07. Modificación química de biocarbón con aditivos.

Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, Divband et al. (2016, p. 5) emplearon biocarbón de bagazo de caña de azúcar químicamente ajustado para adsorber nitratos, resultando que la máxima de adsorción fue de 28,21 mg/g⁻¹ en 4,64 pH, siendo 56,2 % de tasa de remoción por lo que la eficacia de adsorción fue mayor en pH ácido en comparación con el pH básico. Sin embargo, Pengjun li et al. (2017) demostró una tasa de remoción de 99,5% durante 60 minutos de contacto del biocarbón sin aditivos químicos sobre la solución nitrato de potasio (KNO₃) en un experimento de equilibrio por lotes.

4.2 Características de sorción del biocarbón de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar).

Está bien documentado el efecto que la temperatura de pirólisis influye en las propiedades del biochar y, en consecuencias, sus aplicaciones. Así cuando la temperatura aumenta, la diversidad de la composición del biocarbón, disminuyen. (Schellekens, et al., 2018, p.4). Las características para considerar en el tratamiento de aguas contaminadas con nitratos son el tamaño de las partículas, la humedad, la superficie específica y el pH.

Tabla 08. Características del biocarbón de caña de azúcar.

Autor	Tamaño (mm)	Humedad (%)	Superficie específica (m²/g)	pH
Abbruzzini <i>et al.</i> (2019)	-	2,6	-	9.2
Adamu y Ahmadu (2015)	0.005 a 0.05	-	-	-
Adeniyi <i>et al.</i> (2020)	4.422	-	533,6	-
Aghoghovwia <i>et al.</i> (2020)	<1	-	106.59	8.1
Azeem <i>et al.</i> (2019)	2	-	-	6,7
Carrier <i>et al.</i> (2012)	-	7,7	259	6,6
Chen <i>et al.</i> (2010)	-	-	32,9	7.3
Chuquimboques <i>et al.</i> (2019)	< 2	-	-	-
Debalina <i>et al.</i> (2017)	< 0.001	8.48	152.5	-
Diriba <i>et al.</i> (2014)	-	-	-	-
Divband <i>et al.</i> (2016)	-	-	41,67	-
El-Gamal <i>et al.</i> (2017)	0,5	8.80	124.11	3.4
Francisco <i>et al.</i> (2017)	-	-	-	-
Griffin (2017)	-	-	-	-
Hlaváčiková <i>et al.</i> (2019)	2	-	218	9.2
Huang <i>et al.</i> (2016)	-	8.61	-	-
Inyang <i>et al.</i> (2010)	1	-	17.66	10.9
Jeong <i>et al.</i> (2015)	-	-	151.3	8.5
Kameyama <i>et al.</i> (2015)	2	-	219	9.6
Lee <i>et al.</i> (2013)	-	13.2	202	9.3
Liao <i>et al.</i> (2018)	1	-	3.04	9.7
Lima (2017)	-	-	148	7.9
Lin y Kuo (2012)	-	26.7	2.8	5.0
Montoya, <i>et al.</i> (2015)	0.5	<10	-	-
Moradi <i>et al.</i> (2019a)	-	-	-	7.50
Moradi <i>et al.</i> (2019b)	0.5	-	0.01	-
Morais <i>et al.</i> (2017)	0.15	-	-	-
Novais <i>et al.</i> (2018)	<2	2.9	-	8.8
Nwajiaku <i>et al.</i> (2018)	0,5 mm	-	-	5.1
Ounas <i>et al.</i> (2011)	0.2	7.8	-	-
Pengjun li <i>et al.</i> (2017)	10 - 20	-	59,83	-
Quirk <i>et al.</i> (2012)	-	-	-	8.4
Roy <i>et al.</i> (2019)	<2	-	-	8.01
Riaz <i>et al.</i> (2018)	-	-	-	-
Schellekens <i>et al.</i> (2018)	-	-	-	-
Schwantes <i>et al.</i> (2015)	-	-	-	-
Sohaib <i>et al.</i> (2017)	-	3,24	-	-
Song <i>et al.</i> (2019)	0.3	-	-	6.91
Spokas <i>et al.</i> (2011)	-	3,42	-	5.0
Varma y Mondal (2017)	0,5 a 0,6	5.4	10,85	8.1
Weng <i>et al.</i> (2020)	-	-	-	-
Yao <i>et al.</i> (2012)	0,5 a 1	-	4.2	7.9
Zhang <i>et al.</i> (2012)	0,5 a 1	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Los estudios han demostrado que el tamaño de las partículas varía desde 0.005 mm hasta 20 mm, lo que se relaciona con la densidad del biocarbón, pues los pequeños tamaños generaran mayor flotabilidad y difícil separación (Adeniyi *et al.*, 2020, p. 5), para la reutilización o el tratamiento del biochar después de adsorber los contaminantes del agua. Asimismo, la humedad que varía desde 2,6% hasta 26.7%, siendo las tasas de humedad más elevadas las que garantizan una mejor preparación de la pirólisis y un mejor rendimiento ya que no se forman depósitos en los alrededores del pirólizador. (Lin y Kuo, 2012, p. 6). La superficie específica se relaciona con la estructura porosa del biochar que influye significativamente en la capacidad de adsorción del nitrógeno ya que dan el espacio adecuado para la interacción entre el biochar y los adsorbatos, así los estudios revelaron que la superficie específica varia desde 0.01 m²/g hasta 533,6 m²/g.

Además, el parámetro de mayor importancia es el pH, pues su interacción sobre el suelo compromete la alteración del propio pH del suelo, alterando la aireación, actividad y composición de los microorganismos responsables de la transformación y disponibilidad de nutrientes, que a su vez influye en la lixiviación de nitratos. Sobre esto, Divband *et al.* (2016, p. 5) indicaron que, si el pH del biocarbón es menor que la del suelo, lo más probable es que disminuya el pH del suelo, en relación a las cantidades aplicadas, lo que podría ser beneficioso en suelos ligeramente ácidos a alcalinos, considerando que la mayoría de los biocarbones son alcalinos debido a la producción térmica.

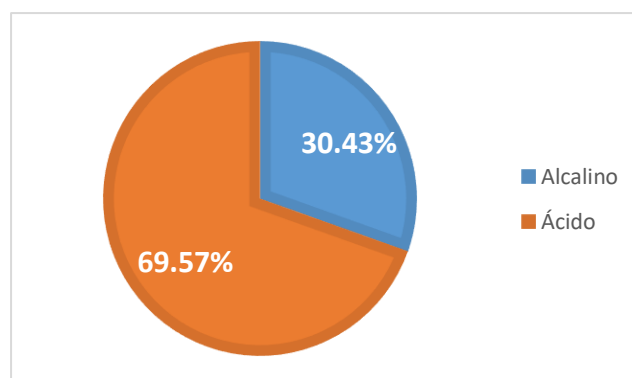


Figura 08. pH del biocarbón de bagazo de caña de azúcar.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Beneficios y desventajas del biochar de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar) en el tratamiento de aguas contaminadas por nitratos

Se han informado resultados confusos con respecto al efecto de la aplicación de biocarbón sobre la remoción de nitratos en soluciones acuosas, pues prevalecen dos posiciones alrededor del empleo de biochar en el suelo y cuerpos de aguas. En defensa de utilizar biocarbón para la remoción de nitratos se percibieron el 60% de las investigaciones analizadas, sin embargo, aún prevaleció el 26.67% en contraposición y el 13.33% permanecen ambas posiciones, tanto en favor como en contra.

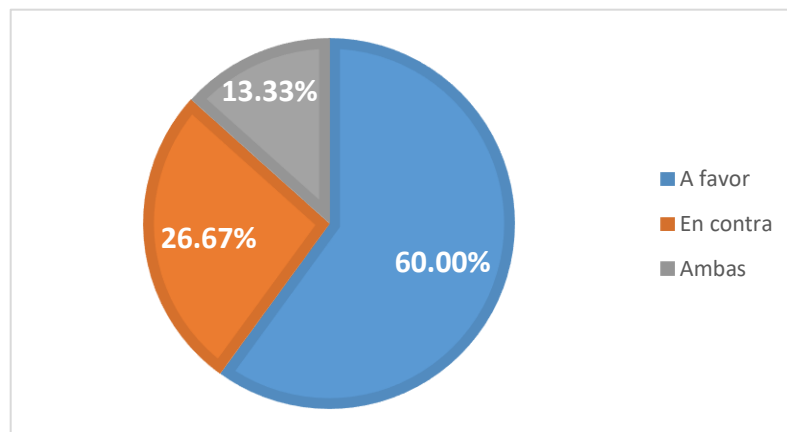


Figura 09. Posición de los autores referente a la aplicación de biocarbón para la remoción de nitratos.

Fuente: Elaboración propia.

Además importante considerar que el dentro de la composición biocarbón se obtiene nitrógeno, lo que puede alterar la concentración de lixiviación de nitratos, así Weng *et al.* (2020, p. 8) menciona que la aplicación de biocarbón en el suelo aumenta el contenido de nitrógeno total del suelo, sin embargo, Nwajiaku *et al.* (2018, p. 4) en oposición indica que el contenido total de nitrógeno contenido en el biocarbón disminuye con el aumento de la temperatura de pirólisis debido a que las estructuras nitrogenadas como amino azúcares, aminoácidos y aminos se transforman en estructuras aromáticas heterocíclicas de nitrógeno, por lo que se liberarán en el suelo con el tiempo.

Tabla 09. Beneficios y desventajas del bagazo y del biochar de la caña de azúcar.

Autor	Beneficios	Autor	Desventajas
Azeem <i>et al.</i> (2019)	El biocarbón mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo y aumentar la abundancia de micro-organismos implicados en la fijación de N ² .	Adamu y Ahmadu (2015)	Baja remoción de nitratos y otros componentes orgánicos e inorgánicos en aguas residuales.
Chen, <i>et al.</i> (2010)	La absorción de N por la planta, así como la disminución de la eluviación de N y la acumulación en el suelo se puede lograr con el uso de carbón de bagazo.	Aghoghovwia <i>et al.</i> (2020)	El biocarbón de caña de azúcar tenía la menor capacidad de adsorción NO ₃ ⁻ (15,2 mg g ⁻¹) en comparación con los otros biochars.
Chuquimboques <i>et al.</i> (2019)	La remoción de nitratos de las aguas residuales municipales con biocarbón de caña de azúcar tiene porcentajes de remoción mayores al 90%.	Carrier <i>et al.</i> (2012)	El biocarbón no se pudo considerar como fertilizante equilibrado por sí solo, ya que contiene niveles relativamente bajos de nutrientes solubles en agua y carece del elemento más vital, N. Por lo tanto, debe aplicarse junto con un fertilizante NPK.
Divband <i>et al.</i> (2016)	El biochar de caña de azúcar modificado es un adsorbente efectivo para la adsorción de nitratos de la solución acuosa cuyo equilibrio de adsorción se alcanzó dentro de los 60 min.	Weng <i>et al.</i> (2020)	El biocarbón incorporado también resultaron en pequeñas, pero significativamente mayor contenido de N total del suelo en comparación con el control y residuos incorporados.
Schwantes <i>et al.</i> (2015)	La cantidad máxima adsorbida se produjo en el tiempo de 30 minutos, un espacio de tiempo relativamente corto, lo que puede reducir los costos de despliegue de un sistema de tratamiento.	Schwantes <i>et al.</i> (2015)	La tasa de adsorción a concentraciones más altas, el porcentaje de eliminación es menor.
Zhang <i>et al.</i> (2012)	Los nanocompuestos MgO-biochar de una excelente capacidad de adsorción a fosfatos y nitratos debido a su carga positiva en soluciones acuosas para mitigar la eutrofización.	Zhang <i>et al.</i> (2012)	Los biocarbones a base de carbono no modificados tienen carga negativa por lo que tienen poca o nula capacidad para eliminar aniones, particularmente con respecto a fosfato y nitrato.
Diriba <i>et al.</i> (2014)	El biocarbón de caña de azúcar es un biosorbente muy eficaz para la eliminación de nitrito del agua.		
Kameyama <i>et al.</i> (2015)	La aplicación de carbón de bagazo suelo aumentará el tiempo de residencia del NO en la zona de raíces de los cultivos y para que los cultivos absorban NO.		
Liao <i>et al.</i> (2018)	La capacidad de sorción de NO ₃ ⁻ -N caña de azúcar se incrementaron con el aumento de la temperatura de pirólisis.		
Pengjun li <i>et al.</i> (2017)	Sin controlar el pH se podrían obtener altas tasas de eliminación de nitratos superiores al 93% en concentraciones de nitratos inferiores a 50 mg / L.		
Yao, <i>et al.</i> (2012)	El aumento de la temperatura de pirólisis puede mejorar la capacidad adsorción de los biochars al nitrato acuoso.		

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Biocarbón de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar) para el tratamiento de aguas contaminadas con nitratos

Esta revisión revela que el 60% de los artículos se aplicó biocarbón sobre suelo para estudiar la reducción de lixiviación de nitratos, lográndose en un 3,7 a 59 % con tiempos de contacto desde 4 días hasta 2 años, los cuales se han realizado bajo una pequeña gama de clases de textura del suelo, los cuales se llevaron a cabo principalmente en suelos de textura arenosa, que son más susceptibles a la lixiviación de nitratos. En general, el biochar puede ser más eficaz para mejorar las propiedades del suelo y la productividad en suelos de textura gruesa, suelos de materia orgánica baja y suelos con una menor estabilidad de agregados, pues Chen *et al.* (2010, p.4) determinó que el uso de carbón de bagazo disminuye la eluviación de nitrógeno debido a que aumenta la humedad del suelo, filtra eficazmente la escorrentía urbana, adsorbe nitratos en el agua y reduce las pérdidas de pesticidas.

Mientras que el 40% destinó el uso del biochar sobre agua, de los cuales sólo dos estudios trataron agua residual que fueron Aghoghovwia *et al.* (2020) y Chuquimboques *et al.* (2019), los demás hicieron uso de una solución contaminante sintética para la simulación de agua contaminado con nitratos, sin embargo, todos utilizaron lotes para la experimentación, alcanzando tasas de 1.52% a 100% con tiempos de contacto desde 20 minutos hasta 24 horas.

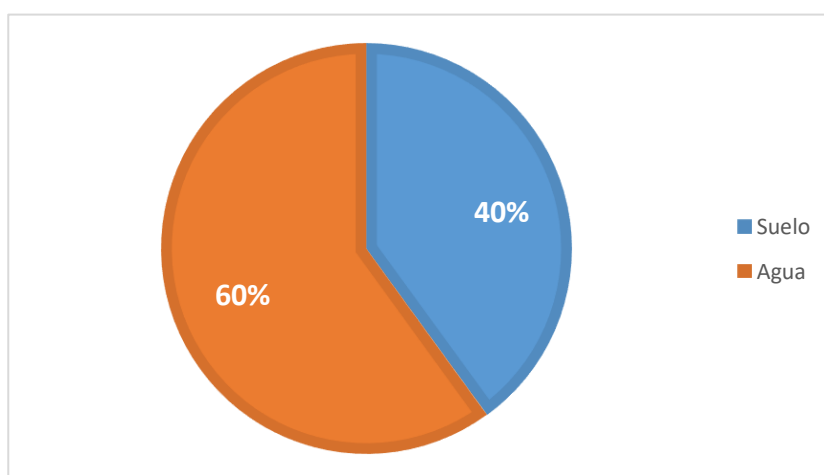


Figura 10. Matriz de aplicación de biocarbón de caña de azúcar.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Comparación de las características del biochar en la remoción de nitratos.

Autor	Método	Aplicación		Investigación		Tiempo de contacto	Remoción de nitrato (%)
		Suelo (textura)	Agua (fuente)	Tipo	Equipo		
Adamu y Ahmadu (2015)	Adsorción	Arenoso	Lixiviación	Ex situ	Maceta	120 días	40
Aghoghovwia <i>et al.</i> (2020)	Coagulación	-	Agua residual	Ex situ	Equilibrio por lotes	20 min	65,1
Azeem <i>et al.</i> (2019)	Adsorción	-	Solución cloruro de potasio (KCl)	Ex situ	Equilibrio por lotes	24 h	1.52
Carrier <i>et al.</i> (2012)	Adsorción	Franco arenoso	Lixiviación	In situ	Parcelas	2 años	26,5
Chen, <i>et al.</i> (2010)	Adsorción	Arcilla pesada	Lixiviación	In situ	Lisímetro	1 año	59
Chuquimboques <i>et al.</i> (2019)	Adsorción	-	Agua residual	Ex situ	Equilibrio por lotes	4 h	70,7
Diriba <i>et al.</i> (2014)	Adsorción	-	Solución nitrito de sodio (NaNO ₂)	Ex situ	Equilibrio por lotes	6 h	89,8
Divband <i>et al.</i> (2016)	Adsorción	-	Solución de nitrato	Ex situ	Equilibrio por lotes	60 min	56,2
Kameyama <i>et al.</i> (2015)	Adsorción	Arcilla	Lixiviación	Ex situ	Columnas de suelo	180 días	5
Liao <i>et al.</i> (2018)	Adsorción	-	Solución nitrato de amonio (NH ₄ NO ₃)	Ex situ	Equilibrio por lotes	2 h	58,8
Pengjun li <i>et al.</i> (2017)	Adsorción	-	Solución nitrato de potasio (KNO ₃)	Ex situ	Equilibrio por lotes	60 min	99,5
Schwantes <i>et al.</i> (2015)	Adsorción	-	Solución nitrato de potasio (KNO ₃)	Ex situ	Equilibrio por lotes	30 min	100
Weng <i>et al.</i> (2020)	Adsorción	Arenoso	Lixiviación	Ex situ	Macetas	84 días	21
Yao, <i>et al.</i> (2012)	Adsorción	Arenoso	Lixiviación de Solución de nitrato	Ex situ	Columnas de suelo	4 días	3,7
Zhang <i>et al.</i> (2012)	Adsorción	-	Solución nitrato de sodio	Ex situ	Equilibrio por lotes	24 h	11,7

Fuente: Elaboración propia.

Así se descubrió que el proceso de sorción se ve afectado significativamente por diferentes parámetros tales como concentración inicial de contaminantes, tiempo de contacto, solución pH, dosis de adsorbente, temperatura. Para ello, Adamu y Ahmadu (2015) tuvo la eficiencia alta en eliminación de nitrato usando bagazo de caña de azúcar fue 65.14% en la dosis de 3.75 g. en 500 ml de agua residual. Sin embargo, Kameyama *et al.* (2012) obtuvo menos eficiencia con 5% en la lixiviación de nitrato en un suelo rojo oscuro calcáreo con baja capacidad para la retención de agua y fertilizantes en columnas de suelo en laboratorio.

V. CONCLUSIONES

1. Las metodologías de producción de biocarbón dependen de la temperatura que varían desde 200 °C hasta 800 °C y el tiempo de residencia desde 0.0275 segundos hasta 240 minutos, afectan la composición, la estructura, el rendimiento y la capacidad de adsorción del biocarbón, siendo así la pirolisis lenta el proceso más utilizado debido a que se condiciona en temperaturas menores con tiempos prolongados, es decir, a velocidades de calentamientos bajos, obteniendo mayor rendimiento del biocarbón.
2. Las características de sorción del biocarbón de caña de azúcar para la remoción de nitratos son el tamaño de las partículas que varía desde 0.005 mm hasta 20 mm, la humedad que varía desde 2,6% hasta 26.7%, la superficie específica que varía desde 0.01 m²/g hasta 533,6 m² /g y el pH del biocarbón que según los estudios son mayormente ácidos.
3. El biocarbón de caña de azúcar es una estrategia de bajo costo para el tratamiento de aguas contaminadas por nitratos, pues su producción reduce los desechos de la agricultura y su aplicación no requiere energías elevadas, sin embargo, la diversidad de producción genera que el biocarbón no conserve el mismo efecto en todas las condiciones de los sistemas contaminados.
4. La aplicación de biocarbón de caña de azúcar en el tratamiento de cuerpos contaminadas con nitratos se llevó a cabo en experimentos del 60% sobre el suelo logrando de 3,7 a 59% de remoción con tiempos de contacto desde 4 días hasta 2 años y un 40% en soluciones acuosas alcanzando tasas de 1.52% a 100% de remoción con tiempos de contacto desde 20 minutos hasta 24 horas.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la aplicación del biocarbón como enmiendas sobre recursos hídricos adyacentes a campos de cultivo de caña de azúcar para desarrollar un tratamiento circular para los residuos agropecuarios, aprovechándolos como materia prima para el tratamiento de agua contaminada con nitratos, el cual posteriormente se puede utilizar para riego en nuevas plantaciones de caña de azúcar.
2. Desarrollar investigaciones sobre el manejo y la disposición final del material adsorbente luego de su aplicación para la remoción de nitratos, pues el proceso de adsorción convierte al biocarbón en un pasivo ambiental con una gran cantidad de residuos contaminantes cargados en su estructura.
3. Profundizar el análisis sobre el contenido de nitrógeno del biocarbón de bagazo de caña de azúcar y su posible influencia sobre la concentración final de nitratos de la matriz de aplicación en el suelo y cuerpos hídricos.
4. Destinar todos los productos o subproductos procedente de la pirólisis a otras aplicaciones para maximizar la eficiencia del proceso.

REFERENCIAS

ABBRUZZINI, Thalita [et al.]. Dynamic biochar effects on nitrogen use efficiency, crop yield and soil nitrous oxide emissions during a tropical wheat-growing season. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol.252, October 2019. [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2020]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719313568>

ISSN 0301-4797

ADAMU, Aliyu y AHMADU, Ms. Comparative Performance of Saccharum Officinarum (Sugar Cane) Bagasse and Parkia Biglobosa (Locust Bean) in Wastewater Treatment. *Nigerian Journal of Technology*. [en línea]. Septiembre 2015, vol. 34. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2020] Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/297680185 Comparative Performance of Saccharum Officinarum Sugar Cane Bagasse and Parkia Biglobosa Locust Bean in Wastewater Treatment](https://www.researchgate.net/publication/297680185_Comparative_Performance_of_Saccharum_Officinarum_Sugar_Cane_Bagasse_and_Parkia_Biglobosa_Locust_Bean_in_Wastewater_Treatment)

ADENIYI, Adewale [et al.]. Thermochemical Co-conversión of Sugarcane Bagasse – LDPE Hybrid Waste into Biochar. *Chemical Engineering* [en línea]. November 2020. [Fecha de consulta: 17 de agosto de 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/346038905 Thermochemical Co-conversion of Sugarcane Bagasse-LDPE Hybrid Waste into Biochar](https://www.researchgate.net/publication/346038905_Thermochemical_Co-conversion_of_Sugarcane_Bagasse-LDPE_Hybrid_Waste_into_Biochar)

AGHOGHOVWIA, Makhosazana [et al.]. Characterisation, adsorption and desorption of ammonium and nitrate of biochar derived from different feedstocks. *Environ Technol* [en línea], vol.186, august 2020. [Fecha de consulta: 04 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32741271/>

Agricultura Orgánica. FAO. 17 de noviembre de 2008. Disponible en: <http://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq6/es/>

ANASTOPOULOS, Loannis [et al.]. A review on waste-derived adsorbents from sugar industry for pollutant removal in water and wastewater. *Journal of Molecular Liquids* [en línea], vol. 240, august 2017 [Fecha de consulta: 28 de mayo de 2020]

Disponible

en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732217313314>

ISSN 0167-7322

ARIAS, Fidias. El proyecto de investigación [en línea]. 6ta ed. Caracas: Editorial episteme, Julio de 2012. [Fecha de consulta: 08 de febrero 2020]. Disponible en:

<https://ebevidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACION-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf>

ISBN: 980-07-8529-9

AZEEM, Muhammad [et al.]. Biochar improves soil quality and N₂-fixation and reduces net ecosystem CO₂ exchange in a dryland legume-cereal cropping system. *Soil and Tillage Research* [en línea], march 2019. [Fecha de consulta: 11 de septiembre de 2020]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198718303763>

ISSN 0167-1987

BLANCO, Canqui. Biochar and Water Quality. *J Environ Qual* [en línea], vol.48, january 2019. [Fecha de consulta: 14 de octubre de 2020]. Disponible en:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30640344/#:~:text=Literature%20indicates%20that%20in%20general,erosion%20reduction%20is%20highly%20variable.>

BORCHARD, Nils [et al.]. Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N₂O emissions: A meta-analysis. *Science of The Total Environment* [en línea] vol.651, n°2, february 2019. [Fecha de consulta: 07 de noviembre de 2020]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718339330>

ISSN 0048-9697

BT AZMI, Nurshazwani [et al.]. Optimización de las condiciones de preparación de carbón activado de bagazo de caña de azúcar mediante activación de KOH inducida por microondas para la remediación estabilizada de lixiviados de vertederos. *Environ Earth Sci* [en línea], vol 75, may 2016. [Fecha de consulta: 14

de agosto de 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-016-5698-y#citeas>

CARRIER, Marion [et al.]. Production of char from vacuum pyrolysis of South-African sugar cane bagasse and its characterization as activated carbon and biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea], vol.96, july 2012. [Fecha de consulta: 19 de agosto de 2020]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016523701200037X>

ISSN 0165-2370

CHEN, Yan, SHINOBI, Yoshiyuki y TAIRA, Masahiko. Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters and groundwater quality. *Australian Journal of Soil Research* [en línea], vol. 48, n.º 7, 19 de octubre de 2010, 526-530 pp. Australia. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262956934_Influence_of_biochar_use_on_sugarcane_growth_soil_parameters_and_groundwater_quality

ISSN 10.1071/SR10011

CHUQUIMBOQUES, Jerson, VERGARA, Jorge y MENDOZA, Jorge. Optimización de la remoción simultánea de nitrato, nitrito, amonio y fosfato de aguas residuales municipales. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. Perú [en línea], vol. 85, nº 1, 2019 [Fecha de consulta: 01 de mayo de 2020 citado]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000100009&lng=es&nrm=iso. ISSN 1810-634X

DEBALINA, B [et al.]. Production of carbon nanostructures in biochar, bio-oil and gases from bagasse via microwave assisted pyrolysis using Fe and Co as susceptors. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea], vol.124, march 2017. [Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2020]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237016304272>

ISSN 0165-2370

DIRIBA, Dereje [et al.]. Removal of nitrite from aqueous solution using sugarcane bagasse and wheat Straw. *Bull Environ Contam Toxicol* [en línea], vol.93, nº 1, july 2014. [Fecha de consulta: 21 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24845426/>

DIVBAND, Laleh, [et al.]. Removal of nitrate from aqueous solution by modified sugarcane bagasse biochar. *Ecological Engineering* [en línea], vol. 95, october 2016. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857416303603>

ISSN 0925-8574

DRUCKER, Aaron, FLEMING, Patrick y CHAN, An-Wen. Research techniques made simple: assessing risk of bias in systematic reviews. *Journal of Investigative Dermatology* [en línea], vol. 136, nº 11, 2016. [Fecha de consulta: 08 de junio de 2020] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022202X16323569>

ISSN 1024-9435.

DULZAIDES, María y MOLINA, Ana. Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. *ACIMED* [en línea], vol.12, nº 2, marzo-abril 2004. [Fecha de consulta: 22 de abril de 2020] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352004000200011

EL-GAMAL, Eman [et al.]. Comparison between Properties of Biochar Produced by Traditional and Controlled Pyrolysis. *Alex Sci Exch J.* [en línea], vol.38, august 2017. [Fecha de consulta: 21 de octubre de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/319260110_Comparison_between_Properties_of_Biochar_Produced_by_Traditional_and_Controlled_Pyrolysis/citations

ESCALANTE, Ariadna [et al.]. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoam* [en línea], vol.34, nº 3, julio-septiembre 2016. [Fecha de consulta: 22 de abril de 2020] Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000300367&lng=es&nrm=iso.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000300367&lng=es&nrm=iso)

ISSN 2395-8030.

FANG, Zheng [et al.]. Conversion of biological solid waste to graphene-containing biochar for water remediation: A critical review. *Chemical Engineering Journal* [en línea] vol.390, june 2020. [Fecha de consulta: 09 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894720306021>

ISSN 1385-8947

FAO, FIDA, UNICEF, PMA Y OMS. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo [en línea]. Roma, FAO, 2018 [fecha de consulta: 21 de abril de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/I9553ES/i9553es.pdf>

ISBN 978-92-5-130841-7

FOSTER, Kristi y NEUFELDT, Henry. Biocarbon projects in agroforestry: Lessons from the past for future development. *Current Opinion in Environmental Sustainability* [en línea], vol 6, february 2014. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259991787_Biocarbon_projects_in_agroforestry_Lessons_from_the_past_for_future_development

FRANCISCO, Bruno [et al.]. Bioproducts from the Slow and Fast Pyrolysis of Sugar Cane Bagasse. *Materials Science Forum* [en línea], vol.899, june 2017. [Fecha de consulta: 02 de octubre de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318118908_Bioproducts_from_the_Slow_and_Fast_Pyrolysis_of_Sugar_Cane_Bagasse/references

GARNIQUE, Pedro y GONZALES, Dallas. Estudio de suelos con fines de zonificación ecológica económica [en línea]. Perú: Gobierno Regional de Lambayeque, 2012. [Fecha de consulta: 28 de mayo de 2020] Disponible en: http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Lambayeque/Memoria_Descriptiva_Suelos.pdf

GRIFFIN, G. The effect of fire retardants on combustion and pyrolysis of sugar-cane bagasse. *Bioresource Technology* [en línea], vol.102, nº 17, september 2011.

[Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2020]. Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852411007115>

ISSN 0960-8524

Grupo de Investigación Asociación Española de Enfermería de Cuidados Paliativos. Guía para una revisión sistemática. [en línea]. España: De Planificación, Fase Operativa O. 2017. [Fecha de consulta: 17 de junio de 2020]. Disponible en:
<http://www.secpal.com/Documentos/Blog/Gu%C3%ADa%20Revisi%C3%B3n%20Sistem%C3%A1tica.pdf>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. El cambio climático y el agua. Documento técnico [en línea]. Ginebra: Secretaría del IPCC, 2008, 224 pp. [Fecha de consulta: 21 de abril de 2020]. Disponible en:
<https://www.ipcc.ch/publication/climate-change-and-water-2/>

ISBN: 978-92-9169-323-8

HERNÁNDEZ, Rosa. Caracterización del financiamiento y rentabilidad de las micro y pequeñas empresas del sector agrícola caso concreto Inversiones Agrícolas Olmo SAC, 2017. Tesis (Pregrado en Contabilidad). Perú: Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote, Escuela Profesional de Contabilidad, 2017. 70 pp.

HLAVÁČIKOVÁ, Hana [et al.]. Two types of biochars: One made from sugarcane bagasse, other one produced from paper fiber sludge and grain husks and their effects on water retention of a clay, a loamy soil and a silica sand. *Soil and Water Research* [en línea], vol.14 n°2, december 2018. [Fecha de consulta: 05 de septiembre de 2020]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/329541243_Two_types_of_biochars_One_made_from_sugarcane_bagasse_other_one_produced_from_paper_fiber_sludge_and_grain_husks_and_their_effects_on_water_retention_of_a_clay_a_loamy_soil_and_a_silica_sand

HUANG, Yu-Fong [et al.]. Microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass: Heating performance and reaction kinetics. *Energy* [en línea], vol.100, april 2016. [Fecha de

consulta: 13 de septiembre de 2020]. Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216300251>

ISSN 0360-5442

IGLESIAS, Sergio [*et al.*]. El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria* [en línea], vol.9, nº 1, enero- marzo 2018. [Fecha de consulta: 05 de mayo de 2020]. Disponible en:
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000100003&lng=es&nrm=iso

ISSN 2077-9917

INYANG, Mandu [*et al.*]. Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. *Bioresource Technology* [en línea] vol.101, nº22, november 2010. [Fecha de consulta: 13 de octubre de 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852410010692>

ISSN 0960-8524

JEONG, Chang Yoon [*et al.*]. Fundamental and molecular composition characteristics of biochars produced from sugarcane and rice crop residues and by-products. *Chemosphere* [en línea], vol.142, january 2016. [Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2020]. Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653515005652>

ISSN 0045-6535

KAMEYAMA K [*et al.*]. Influence of sugarcane bagasse-derived biochar application on nitrate leaching in calcareous dark red soil. *J Environ Qual* [en línea] vol.41, nº 4. Julio-agosto de 2012 [Fecha de consulta: 05 de junio de 2020]. Disponible en:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22751055/>

KHADEMI, Dariush [*et al.*]. Application of cane bagasse adsorption on nitrate removal from groundwater sources: Adsorption isotherm and reaction kinetics. *Desalination and water treatment*. [en línea], vol. 120, january 2018, [Fecha de consulta: 30 de abril de 2020] Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/327853571_Application_of_cane_bagasse_adsorption_on_nitrate_removal_from_groundwater_sources_Adsorption_isotherm_and_reaction_kinetics

KITCHENHAM, Barbara. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. EBSE Technical Report [en línea]. Ver. 2.3, 9 July 2007
Disponible en: http://www.academia.edu/download/35830450/2_143465389588742151.pdf

KLUG, Michael. Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química PUCP* [en línea], vol. 26, nº1-2, 2012. [Fecha de consulta: 14 de junio de 2020].
Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547>

LEE, Yongwoonet [et al.]. Comparison of biochar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500°C. *Bioresource Technology* [en línea] vol.148, november 2013. [Fecha de consulta: 17 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852413013862>

ISSN 0960-8524

LIAO, Fen [et al.]. Characteristics and inorganic N holding ability of biochar derived from the pyrolysis of agricultural and forestal residues in the southern China. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea], vol.134, september 2018. [Fecha de consulta: 07 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237018303085>

ISSN 0165-2370

LIN, Tsung-Ying y KUO, Chun-Pao. Study of products yield of bagasse and sawdust via slow pyrolysis and iron-catalyze. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea] vol.96, July 2012. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237012000897>

ISSN 0165-2370

MONTIEL, Silvia [et al.]. Identificación de zonas de contaminación por nitratos en el agua subterránea de la zona sur de la Cuenca de México. *Rev. Int. Contam.*

Ambient [en línea], vol.30, nº 2, mayo 2014. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000200003

ISSN 0188-4999.

MONTOYA, J [et al.]. Bio-oil production from Colombian bagasse by fast pyrolysis in a fluidized bed: An experimental study. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea] vol.112, march 2015. [Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237014002800>

ISSN 0165-2370

NOVAIS, Sarah [et al.]. Phosphorus removal from eutrophic water using modified biochar. *Science of The Total Environment* [en línea] vol.633, august 2018. [Fecha de consulta: 11 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718310052>

ISSN 0048-9697

NWAJIAKU, Ifeoma [et al.]. Change in nutrient composition of biochar from rice husk and sugarcane bagasse at varying pyrolytic temperatures. *Int J Recycl Org Waste Agricult* [en línea], vol.7, august 2018. [Fecha de consulta: 27 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-018-0213-y#citeas>

OBREGÓN, Daniel y SUN-KOU, María. Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna. *Pontificia Universidad Católica Del Perú* [en línea], vol. 26, nº 1-2, 2012. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280716470_Estudio_comparativo_de_la_capacidad_de_adsorcion_de_cadmio_utilizando_carbones_activados_preparados_a_partir_de_semillas_de_aguaje_y_de_aceituna

ONGLEY, E.D. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos [en línea]. Canadá: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1997. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2020] Disponible en:<https://books.google.com.pe/books?id=LYdW3nQ3KvoC&lpg=PP1&hl=es&pg=PA15#v=onepage&q&f=false>

ISBN: 92-5-303875-6.

OUNAS, A [et al.]. Pyrolysis of olive residue and sugar cane bagasse: Nonisothermal thermogravimetric kinetic analysis. Bioresource Technology [en línea] vol.102, n°24, december 2011. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852411012788>

ISSN 0960-8524

PEERSMAN, Greet. Sinopsis: Métodos de recolección y análisis de datos en la evaluación de Impacto, Síntesis metodológica n°10 [en línea] Florencia: Centro de Investigaciones de UNICEF, 2014. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020] Disponible en:
https://www.unicef-irc.org/publications/pdf/brief_10_data_collection_analysis_spa.pdf

PENGJUN, Li [et al.]. Enhanced nitrate removal by novel bimetallic Fe/Ni nanoparticles supported on biochar. Journal of Cleaner Production [en línea] vol.151, may 2017. [Fecha de consulta: 05 de octubre de 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617304778>

ISSN 0959-6526

PÉREZ, Rosario y AGUILAR, Alonso. Agricultura y contaminación del agua [en línea]. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, 2012, 288 pp. [Fecha de consulta: 22 de abril de 2020]. Disponible en: <http://ru.iiec.unam.mx/1885/1/AGRIContAgua-IMPRESI%C3%93N-12-10-2012.pdf>

ISBN 978-607-02-3550-4

QUINTANA, Alberto. Psicología: Tópicos de actualidad. [en línea]. Perú, Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2006. [Fecha de consulta: 21 de junio de 2020]. Capítulo. Metodología de Investigación Científica Cualitativa. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/278784432_Metodologia_de_Investigacion_Cientifica_Cualitativa

RAMÍREZ, Carlos. Los presupuestos: Sus objetivos e importancia. *Revista Cultural UNILIBRE* [en línea]. Nº 2, diciembre de 2011 [Fecha de consulta 30 de junio de 2020] Disponible en:

https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/revista_cultural/article/view/3981

RINCONES, Félix [et al.]. Adsorción de hidrocarburos de petróleo en agua mediante una columna empacada con bagazo de caña de azúcar. *Saber: Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente* [en línea], vol. 27, nº. 3, 2015. [Fecha de consulta 23 de mayo de 2020] Disponible en:

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622015000300010&lng=es&nrm=iso

ISSN 2343-6468.

SHELLEKENS, Judith [et al.]. Molecular characterization of biochar from five Brazilian agricultural residues obtained at different charring temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea] vol.130, march 2018. [Fecha de consulta: 03 de octubre de 2020]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237017309336>

ISSN 0165-2370

SIZMUR, Tom [et al.]. Biochar modification to enhance sorption of inorganics from water. *Bioresource Technology* [en línea] vol.246, december 2017. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020]. Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417311987>

ISSN 0960-8524

SONG, Fanhao [et al.]. Spectroscopic analyses combined with Gaussian and CoatsRedfern models to investigate the characteristics and pyrolysis kinetics of sugarcane residue-derived biochars. *Journal of Cleaner Production* [en línea] vol.237, november 2019. [Fecha de consulta: 04 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619327258>

ISSN 0959-6526

SPOKAS, Kurt et al. Qualitative analysis of volatile organic compounds on biochar. *Chemosphere* [en línea], vol.85, october 2011. [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2020]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653511007661>

ISSN 0045-6535

STEEVOORDEN, Joop y ENDRENY, Theodore. Wastewater Re-use and Groundwater Quality. *International Association of Hydrological Sciences* [en línea]. nº 285, 2004 [Fecha de consulta: 04 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Theodore_Endreny/publication/40125686_Wastewater_re-use_and_groundwater_quality/links/551abff80cf2fdce843729ab.pdf

ISBN 1-901502-52-X

SUÁREZ, Laura [et al.]. Pirólisis del bagazo de caña panelera para la producción de combustibles líquidos. Tesis (Maestría en Ingeniería Mecánica) 2015. Colombia: Universidad de los Andes, 2015.

TAM, Jorge, VERA, Giovanna, OLIVEROS, Ricargo. Tipos, métodos y estrategias de investigación científica. *Pensamiento y acción* [en línea]. 2008, vol. 5, nº 1. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2020]. Disponible en: http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/oceanografia/adj_modela_pa-5-145-tam-2008-investig.pdf

TAN, Xiaofei. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere* [en línea], vol. 125, april 2015. [Fecha de consulta: 14 de

junio de 2020]. Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653514015008>

ISSN 0045-6535

TOLEDO, E [et al.]. Estimación de la producción de residuos agrícolas en agroecosistemas de caña de azúcar. *Cultivos Tropicales*. [en línea], vol.29, Septiembre 2008. [Fecha de consulta: 21 de abril de 2020]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/262482479_Estimacion_de_la_produccion_de_residuos_agricolas_en_agroECOsistemas_de_cana_de_azucar

URRA, Eugenia y BARRÍA, René. La revisión sistemática y su relación con la práctica basada en la evidencia en salud. *Revista Latino-Americana de Enfermagem* [en línea], vol. 18, nº 4, 2010 [Fecha de consulta: 14 de junio 2020]. Disponible en:
https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-11692010000400023&script=sci_abstract&tlng=es

ISSN 1518-8345

VARMA, Anil y MONDAL, Prasenjit. Pyrolysis of sugarcane bagasse in semi batch reactor: Effects of process parameters on product yields and characterization of products. *Industrial Crops and Products* [en línea] vol.95, january 2017. [Fecha de consulta: 14 de noviembre de 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669016308020>

ISSN 0926-6690

VERA Luisa [et al.]. Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada* [en línea], vol 73, 2016 [Fecha de consulta: 09 de mayo 2020]. Disponible en:
<http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/308436/398451>

WENG, Zhe [et al.]. Priming of soil organic carbon induced by sugarcane residues and its biochar control the source of nitrogen for plant uptake: A dual ¹³C and ¹⁵N isotope three-source-partitioning study. *Soil Biology and Biochemistry* [en línea]

vol.146, July 2020. [Fecha de consulta: 14 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071720300894>

ISSN 0038-0717

YANG, Hailan [et al.]. Utilization of biochar for resource recovery from water: A review. *Chemical Engineering Journal* [en línea] vol.397, October 2020. [Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894720316302>

ISSN 1385-8947

YAO, Ying [et al.]. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere* [en línea], vol.89 n°11, November 2012. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653512007709>

ISSN 0045-6535

YAO, Ying [et al.]. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere* [en línea], vol.89, July 2012. [Fecha de consulta: 29 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228324273_Effect_of_biochar_amendment_on_sorption_and_leaching_of_nitrate_ammonium_and_phosphate_in_a_sandy_soil

YEBOAH, Edward [et al.]. Effect of biochar type and rate of application on maize yield indices and water use efficiency on an Ultisol in Ghana. *Energy Procedia* [en línea] vol.93, August 2016. [Fecha de consulta: 06 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610216305707>

ISSN 1876-6102

ZHANG, Ming [et al.]. Evaluating biochar and its modifications for the removal of ammonium, nitrate, and phosphate in water. *Water Research* [en línea] vol.186, November 2020. [Fecha de consulta: 30 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135420308393>

ISSN 0043-1354


ZHANG, Ming [et al.]. Synthesis of porous MgO-biochar nanocomposites for removal of phosphate and nitrate from aqueous solutions. Chemical Engineering Journal [en línea] vol.210, november 2012. [Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2020]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894712011175>

ISSN 1385-8947

ANEXOS

Anexo 01. Ficha de selección de artículos potenciales

		FICHA DE SELECCIÓN DE ARTÍCULOS POTENCIALES					
REFERENCIA							
TÍTULO							
AUTOR (ES)							
IDIOMA		ESPAÑOL	INGLÉS		OTRO		
BASE DE DATOS DE PROCEDENCIA		ScienceDirect		Pubmed		EBSCO	
REVISTA		NOMBRE		¿Revista indexada?		CUARTIL	CATEGORIA
				SI		NO	
				H INDEX			
PRIMER CRITERIO							
NIVEL DE SELECCIÓN		TÍTULO		RESUMEN		TEXTO	
AÑO DE PUBLICACIÓN		¿Publicada en la última década?					
		SI	DATA		NO		DATA
LUGAR DE PUBLICACIÓN		INTERNACIONAL			NACIONAL		
SEGUNDO CRITERIO							
CAÑA DE AZÚCAR		PRODUCCIÓN					
¿Se usa biocarón de bagazo?		¿Se indican las metodologías de producción?			¿Se indican las características del producto?		
SI	NO	SI	NO		SI	NO	
TRATAMIENTO DE AGUA							
¿Se estudia la adsorción de nitratos?		¿Se incluye la aplicación en el recurso hídrico?		¿Se indican los beneficios y desventajas del procedimiento?			
SI	NO	SI	NO	SI	NO		
ACCIÓN							
<i>Incluir sólo en caso de que la respuesta de 3 hasta 6 de las preguntas anteriores haya sido sí</i>							
INCLUIR			EXCLUIR			DUDOSO	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 02. Ficha de recolección de experiencias en remoción de nitratos con biomasa de caña de azúcar en fuentes de agua.

Referencia	Objetivo	Lugar	Muestra	Resultados	Conclusiones	Recomendaciones
Chen, <i>et al.</i> (2010)	Mejorar la calidad del agua subterránea utilizando biochars de bagazo en el suelo.	Isla de Miyago - Japón	seis parcelas de lisímetros con cultivos de caña de azúcar en la isla de Miyago,	La concentración de nitrato-N en la filtración de agua redució un 11%	Aumenta la humedad del suelo	
					El uso de carbón de bagazo disminuye la eluviación de nitrógeno	
				Las concentraciones de nitrato-N en el agua de filtración redujeron en un 59%	Reduce la concentración de nitrato en el agua y el suelo.	
				La cantidad de agua de filtración se redujo en un 9%	Adiciona rendimiento y contenido de azúcar en la planta	
Divband, <i>et al.</i> (2016)	Evaluar los parámetros que influyen en el proceso de adsorción de nitratos utilizando biochar	Khuzestan en Irán.	Diez gramos de biochar	El porcentaje máximo de adsorción de nitratos fue de 28,21 mg g ⁻¹ en pH de equilibrio 4,64.	Los iones carbonato y cloruro han demostrado una influencia máxima y mínima en la adsorción de nitrato.	Se sugirió que el bagazo de caña de azúcar modificado es un adsorbente efectivo para la adsorción de nitratos de la solución acuosa.
					La eficacia de adsorción fue mayor bajo pH ácido en comparación con el pH básico.	Se recomendó una dosis adsorbente de 2 g/l en 60 minutos de tiempo de contacto.
Yao, <i>et al.</i> (2012)	determinar el efecto de la modificación del biochar en la lixiviación de nitrato, amonio y fosfato en	Gainesville en Florida	Las doce muestras de biochar resultantes se denominaron BG300, BG450,	De los trece biochars analizados en este estudio, la mayoría mostraron poca o ninguna capacidad de adsorción de nitrato o fosfato. Sin embargo, nueve biochars eliminaron el amonio acuoso.	efecto del biochar en la retención y liberación de iones nutrientes (es decir, nitrato, amonio y fosfato) varía con el tipo de nutriente y biochar.	Se sugiere que el efecto del biochar sobre los nutrientes en los suelos podría determinarse a través de estudios de laboratorio de adsorción por lotes.

	suelos arenosos.		BG600, PH300, PH450, PH600, BP300, BP450, BP600, BBB300, BBB450 y BB600.	Quando se usaron dos biochares seleccionados con relativamente buena capacidad de sorción en columnas de suelo, pudieron reducir eficazmente la lixiviación de nitrato y amonio. Sin embargo, sólo un biochar podría reducir la lixiviación del fosfato de las columnas del suelo.		se recomienda determinar la capacidad de sorción de los biochares a los nutrientes antes de su aplicación a los suelos como modificación
ADAMU, Aliyu y AHMAD U, Ms (2015)	Comparar la eficacia de los carbonos activados producidos a partir de la vaina de parkia biglobosa y el bagazo de saccharum officinarum en el tratamiento de aguas residuales basado en la eliminación de contaminantes orgánicos	Makarfi del estado de Kaduna	0.25, 0.5, 1.5, 2.5, 3.75 y 5.0 g EN 50 ML DE AGUA RESIDUAL	El saccharum officinarum registró eficiencias de eliminación de: 31.07,64,10, 61,62, 45,40, 65,14 y 49,2%, respectivamente a las dosis correspondientes de: 0.25, 0.5, 1.5, 2.5, 3.75y 5,00 g / 500 ml.	El saccharum officinarum y la parkia biglobosa se pueden utilizar para eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas residuales.	Se recomienda que la eliminación demetales pesados utilizando la parkia biglobosa ysaccharum officinarum bagazo debe ser estudiado paracomprobar su eficacia en tal dimensión
				La eficiencia más baja es 31,07% y la máxima es 65,14% en las dosis de 0,25 g / 500 ml y 3,75, respectivamente para la eliminación de nitratos en agua.	Cuanto mayor sea la dosis, mayor será la eficiencia de eliminación de los contaminantes.	
				El parkia biglobossa tuvo mayores eficiencias de eliminación nitratos de las aguas residuales que el bagazo saccharum officinarum.		
Carrier, et al.. (2012)	caracterizar el biochar de pirólisis al vacío para su posible aplicación como enmienda del suelo y comparar sus propiedades adsorbtivas con el carbón activado	Durban (Sudáfrica).	1 g	biochar de bagazo de caña de azúcar fue ligeramente ácido, una propiedad notable considerando que la mayoría de los biochares reportados son alcalinos.	bagazo tiene potencial para decolorar las aguas residuales y aumentar los niveles de nutrientes del suelo y la capacidad de retención de nutrientes.	se sugiere que el biochar mejoraría efectivamente la retención de agua en suelos, lo cual es especialmente deseable en suelos arenosos.
				el pH óptimo para las plantas y microbios en los suelos, por lo que es un biochar mucho más ampliamente utilizable que el biochar alcalino	las propiedades de adsorción hacen del biochar un excelente medio de intercambio para macro y micronutrientes de plantas catiónicas.	carece del elemento más vital, N. Por lo tanto, debe aplicarse junto con un fertilizante NPK cuando se utiliza como enmienda del suelo.

KHADEM I, <i>et al.</i> (2018)	Determinar el efecto de la concentración inicial de nitratos, pH y tiempo de contacto sobre la eficiencia de adsorción del bagazo de caña modificado por ZnCl ₂ para eliminar el nitrato de las fuentes subterráneas	de la ciudad de Izeh, Juzestán, provincia de Irán.			Los resultados del estudio mostraron que el absorbente de fibra de bagazo modificado tiene un gran potencial para la eliminación de nitratos	se sugiere eliminar el nitrato de las aguas subterráneas de la ciudad de Izeh a través de azúcar de caña (bagazo) modificado por cloruro de zinc
Weng, <i>et al.</i> (2020)	cuantificar la mineralización de C y N a partir de residuos de caña de azúcar y su correspondiente biochar, así como la eficiencia en el carbono orgánico del suelo y fertilizante N-uso de las plantas de caña de azúcar.	Nueva Gales del Sur, Australia	500 g de residuos	La proporción de absorción de N de la urea aplicada fue menor que el control o la modificación del biochar (P<0,01), en sólo el 20,6% para los residuos incorporados y el 24,8% para los residuos de superficie aplicada, en comparación con el control	el biochar redujo la mineralización COS con plantas de caña de azúcar de crecimiento activo, por lo tanto se estabiliza No hubo un efecto significativo de las enmiendas orgánicas sobre el totalabsorción de suelo nativo el biochar resultó en una mayor absorción de fertilizante (urea) 15N, mientras que la retención e incorporación de residuos resultó en una mayor absorción de plantas del suelo N.	Es necesaria una investigación futura para validar los resultados de este estudio sobre el medio ambiente controlado en condiciones de campo
Abbruzzi ni, <i>et al.</i> (2019)	evaluar los efectos del biocarbón de paja de caña de azúcar en atributos del suelo tropical,		doce réplicas (bloques) y cinco tratamientos por bloque	Los 15 N restantes en suelos con la dosis más alta de La enmienda de biocarbón (solo T4, datos no mostrados) se relacionó positivamente con nitrato del suelo (r ¼	La aplicación del biochar al suelo tropical mejoró la disponibilidad de N y la eficiencia con la que el fertilizante-N es adquirido por las plantas y convertido al rendimiento de grano,	señala la necesidad de nuevos estudios para investigar la relación entre la aplicación de fertilizantes N y las vías de producción de compuestos gaseosos de nitrógeno en suelos tropicales modificados por biochar.

	productividad de los cultivos, emisiones de N ₂ O y eficiencia en el uso de N			0.89, p < 0.05), mientras que esta relación se encontró negativo en ausencia de biocarbón. El biochar redujo las emisiones de N ₂ O en un 71% los suelos modificados con biocarbón produjeron mucho menos N ₂ O que el tratamiento sin biocarbón	mejorando así el rendimiento del cultivo. El aumento de la enmienda del biochar actúa como agente atenuante de las emisiones de GEI a la atmósfera. las macetas no permitían lixiviación, la pérdida estimada de 15 N se debe principalmente a la volatilización del N.	
Liao, et al. (2018)	Investigar las propiedades fisicoquímicas y la capacidad de retención de N inorgánico de biocarros que se obtienen a partir de diferentes residuos agrícolas y forestales a bajas temperaturas de pirólisis variables en el sur de China		Se utilizaron ocho tipos de materia prima, incluidos la hoja de caña de azúcar y tallo de caña de azúcar pirolizados en 300, 500 y 650 °C	los biocarbones de caña de azúcar a temperatura de 500 y 650 °C tienen dos veces más contenido de carbono que a 300 °C, sin embargo tienen baja capacidad de remoción de nitratos.	los suelos con mayor contenido de intercambio catiónico tienden a prevenir la lixiviación de nutrientes. el rendimiento del biocarbón disminuyó a medida que la temperatura de pirólisis aumentó	
				caña de azúcar pirolizados a 500 oC y 350 oC respectivamente obtuvieron una mayor cantidad de sorción NO ₃ - -N capacidad de sorción	La temperatura tuvo un efecto poco evidente en la capacidad de sorción NO ₃ - -N de los biochares	
				caña de azúcar tiene remoción de nitrato de 67.9% y el ladrillo reciclado de 57.2%	caña de azúcar pirolizados a 500 oC y 350 oC respectivamente obtuvieron una mayor cantidad de sorción NO ₃ - -N, NO ₃ - -N capacidad de sorción	
Zhang, et al. (2012)	desarrollar un nuevo método para producir un biochar diseñado que pueda eliminar eficazmente el fosfato y			Demostró una capacidad excepcional de adsorción de aniones, por tanto, se puede utilizar para eliminar fosfatos y nitratos de las soluciones para reducir la	desarrollar un adsorbente de bajo costo y alta eficiencia para mitigar la eutrofización e introduce técnicas de nanofabricación para diseñar biochares multifuncionales (es decir, biochares de ingeniería).	

	el nitrato del agua.			eutrofización en agua dulce		
Pengjun Li, <i>et al.</i> (2017)	la degradación completa de contaminación por nitrógeno, la resina de intercambio catiónico se aplicaría a eliminar la contaminación secundaria por amoníaco producida durante la degradación de nitratos por BC @ Fe / Ni.			Después de denitrificación por las nanopartículas bimetálicas de hierro / níquel soportadas en biocarbón, la mayor parte del nitrato se convirtió en amoníaco (17.04 mg / L) y solo había una pequeña cantidad de nitrito (0.024 mg / L) con alto contenido de nitrato de eliminación (99,5%). Y la mayor parte del amoníaco puede ser absorbido por la resina de intercambio catiónico con una concentración de amoníaco de 0,58 mg / L. Por fin, las concentraciones de nitrato (0,24 mg / L), nitrito (0,021 mg / L) y el nitrógeno total (0,84 mg / L) fueron los más bajos en el sistema de nanocompuestos.	las nanopartículas de hierro / níquel bimetálicas y partículas de hierro de valencia cero a nanoescala con respecto a la degradación eficiente del nitrato, evitando el hierro y contaminación por níquel y eliminación de contaminación por amoníaco en combinación con resina de intercambio catiónico	

Fuente: Elaboración propia.