



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Uso de biocarbón para la disminución de emisiones de dióxido de
carbono en la agricultura: Revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE :

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORES:

Carrión Sanchez, Katherine Teresa (ORCID:0000-0003-4931-6017)

Huaman Olmos, Maricruz (ORCID: 0000-0001-9888-8236)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (ORCID:0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mis padres que me estuvieron apoyando moralmente y económicamente, deseándome lo mejor a lo largo de mi carrera, a mis hermanos y a las personas que estuvieron a mi alrededor dándome ánimo en cumplir mis objetivos propuestos para seguir desarrollándome profesionalmente.

Katherine T. Carrión Sanchez

A mis padres por su apoyo incondicional, muchos de mis logros se los debo a ellos, entre ello se incluye este. A mis hermanos, personas y maestros por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de mi vida universitaria.

Maricruz Huaman Olmos

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarnos en el buen camino, a nuestros profesores quienes nos apoyaron en nuestra formación profesional y a nuestro asesor el Dr. Fernando Sernaque Auccahuasi, por su paciencia y dedicación que estuvo guiándonos en la elaboración de nuestro proyecto de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGÍA	14
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	14
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	15
3.3. Escenario de estudio.....	16
3.4. Participantes	16
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
3.6. Procedimiento	17
3.7. Rigor científico	19
3.8. Método de análisis de información	20
3.9. Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
V. CONCLUSIONES.....	34
VI. RECOMENDACIONES.....	36

REFERENCIAS	37
-------------	-------	----

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Matriz de categorización apriorística.

Tabla N°2: Producción del biocarbón para la absorción de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura.

Tabla N°3: Rendimiento del biocarbón para la absorción de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura.

Tabla N°4: Propiedades fisicoquímicas del biocarbón para la absorción de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Procedimiento de selección de artículos.

Gráfico N° 2: Producción del biocarbón.

Gráfico N°2: Rendimiento del biocarbón.

Gráfico N°3: Propiedades fisicoquímicas del biocarbón.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CO₂: Dióxido de carbono.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo principal explicar el uso del biocarbón para la disminución de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura, para lo cual se buscó detallar la producción del biocarbón, así como conocer el rendimiento de cada uno de los residuos orgánicos convertidos en biocarbón y conocer las propiedades fisicoquímicas, presentando una metodología aplicada. Se obtuvo que en la producción del biocarbón el método de pirólisis térmico fue la más relevante, ya que se realizó a una temperatura de 600 °C durante 3h, obteniendo una acumulación mayor de 2,77g. Asimismo para el rendimiento del biocarbón en la absorción de CO₂ utilizó piel de rambután a temperatura de 700 °C, con un tiempo de duración de 10°C/min, obteniendo un resultado de 122 mg g⁻¹, podemos mencionar que es eficiente para la absorción de CO₂ y en las propiedades fisicoquímicas del biocarbón, se obtuvo que el biocarbón a base de cáscara de granada modificado con KOH mostró una mayor área específica, debido a su temperatura de 700°C a la que estuvo expuesta y al agente activador, logrando así una absorción de 265.32 g CO₂. Se concluye que el método más eficiente es la pirólisis térmica utilizando la cáscara de arroz. Por otro lado, para conocer el rendimiento de cada una de las materias primas se identificaron criterios que son cantidad de biocarbón, temperatura, duración de pirólisis, velocidad de calentamiento y la modificación del biocarbón. Por último, las principales propiedades fisicoquímicas del biocarbón como son la temperatura, pH, porosidad y área de superficie.

Palabras claves: Biocarbón, pirólisis, rendimiento , temperatura.

ABSTRACT

The main objective of this study was to explain the use of biochar to reduce carbon dioxide emissions in agriculture, for which it was sought to detail the production of biochar, as well as to know the performance of each of the organic waste converted into biochar and know the physicochemical properties, presenting an applied methodology. It was obtained that in the production of biochar the thermal pyrolysis method was the most relevant, since it was carried out at a temperature of 600 ° C for 3h, obtaining an accumulation greater than 2.77g, also for the performance of the biochar in the absorption of CO₂ used rambutan skin at a temperature of 700 ° C, with a duration time of 10 ° C / min, obtaining a result of 122 mg g⁻¹, we can mention that it is efficient for the absorption of CO₂ and in the physicochemical properties From the biochar, it was obtained that the biochar based on pomegranate peel modified with KOH showed a greater specific area, due to its temperature of 700 ° C to which it was exposed and to the activating agent, thus achieving an absorption of 265.32 g CO₂. It is concluded that the most efficient method is thermal pyrolysis using the rice husk. On the other hand, to know the performance of each of the raw materials, criteria were identified: quantity of biochar, temperature, duration of pyrolysis, heating rate and modification of the biochar. Finally, the main physicochemical properties of biochar such as temperature, pH, porosity and surface area.

Keywords: Biochar, pyrolysis, yield , temperature

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura en la actualidad es una de las fuentes de alimentos más importantes para la población, el cual ha ido aumentando con el tiempo debido al incremento poblacional, por lo que su demanda de nutrientes para la fertilización al suelo es elevada, es por ello que se requerirá una producción adecuada. (Mona et al. 2021, p.2). En la actualidad el calentamiento global se ha convertido en una gran problemática y está ocasionando el cambio climático debido a la emisión de dióxido de carbono y los efectos invernaderos que afecta directamente al suelo agrícola. (Rehman et al.2021). Por otro lado, el dióxido de carbono se genera de la descomposición microbiana o la quema de residuo agrícola y materia orgánica del suelo, a pesar que la fotosíntesis juega un papel fundamental y es eficiente en la captura de carbono de la atmósfera sin embargo a largo plazo su eficiencia disminuye y es muy limitada ya que una gran parte de carbono capturado es inestable y regresa a la atmósfera. (SEMIDA et al. 2019). Los desechos orgánicos en los cultivos pueden presentar un incremento de dióxido de carbono y a la vez generar un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, ocasionando graves riesgos en la productividad de los alimentos, debido a que los nutrientes como son los restos de cultivos orgánicos que aporta al suelo conllevaría al crecimiento de plagas, es por ello estos desechos deberán de pasar por un proceso de pirólisis convirtiéndolos en biocarbón, de esa manera se logrará evitar la generación de enfermedades por el inadecuado cultivo de estos alimentos, asimismo mejorará la productividad y la calidad del suelo. (Qi et al., 2020, p. 3). Asimismo, el uso incorrecto de fertilizantes genera daños a las propiedades naturales del suelo, generando infertilidad, acidez, disminución de microorganismos benéficos. (MINAGRI, 2017), es por ello que frente a estos problemas se presenta como alternativa sostenible el biocarbón, de esa manera evitar que en la producción de los cultivos puedan descomponerse en el suelo generando la liberación de dióxido de carbono hacia la atmósfera. (Wan et al., 2020, p.2). El biochar ha generado la productividad del suelo hasta un 25 % proporcionando un equilibrio ambiental. (Cosmo, 2018)

En el presente estudio justifica de manera teórica, debido a que en la actualidad el incremento del dióxido de carbono se ha convertido en uno de los problemas más difíciles, debido a la acumulación de estas emisiones en los suelos agrícolas, conllevando a su deterioro e infertilidad, del mismo modo afecta directamente a la salud de la población por el consumo de estos alimentos contaminados, es por ello que mediante este presente trabajo de investigación se estudiará al biocarbón como un método sostenible, para mejorar la productividad en los cultivos y disminuir las emisiones de dióxido de carbono, asimismo la producción de este biocarbón es económico y genera ingresos a la población, debido a que su elaboración es a base de la biomasa de los residuos orgánicos, de esa manera se logrará evitar el uso de agroquímicos para fertilizar los suelos y el calentamiento global.

Por lo tanto, el problema general planteado para la investigación es el siguiente:

¿Cuál es la importancia del uso de biocarbón para la disminución de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura?, y los problemas específicos fueron, ¿Cómo se realiza la producción del biocarbón para disminuir el dióxido de carbono en los suelos agrícolas?, ¿Cómo es el rendimiento del biocarbón en la absorción del dióxido de carbono en la agricultura?, ¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas del biocarbón para la disminución de emisiones de dióxido de carbono en el suelo?

Por ello los objetivos de la presente revisión sistemática son: Como objetivo general es explicar el uso del biocarbón para la disminución de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura. Como objetivos específicos: Detallar la producción del biocarbón para la disminución del dióxido de carbono en suelos agrícolas, conocer el rendimiento del biocarbón para la absorción de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura, Conocer las propiedades fisicoquímicas del biocarbón para la disminución de emisiones de dióxido de carbono en el suelo.

II. MARCO TEÓRICO

Según, Igalavithana et al. (2020), menciona sobre la capacidad del biocarbón derivado de aserrín de pino y lodo de fábrica de papel para la reducción de la concentración de CO₂ en el suelo, por lo que se evaluó la morfología de la materia prima, asimismo se utilizó el método de temperatura de pirólisis y la activación de vapor para su conversión a biocarbón. Se elaboró el biocarbón de aserrín de pino a una temperatura de 550° C y su activación fue de 45 minutos, del mismo modo el lodo de fábrica de papel su proceso de pirólisis fue de 300°C y 600°C, mediante ello se determinó la capacidad de absorción de CO₂ a 25°C usando un analizador de absorción volumétrico, los resultados mostraron que la capacidad de absorción del biocarbón de aserrín de pino fue elevada, a diferencia del biocarbón de lodo de fábrica producido con una menor temperatura, pero la de mayor temperatura sí mostró una elevada absorción, debido a su alta superficie y microporosidad, con ello se concluye que las temperaturas elevadas generan mayor microporos y el aumento de superficie que ayudarán a absorber las emisiones de CO₂ en el suelo, además de que su elaboración son con materiales ecológico y económicos.

Según, Hu et al. (2019), evaluó el residuo de la sacarificación a partir de la paja de arroz como materia prima para la elaboración del biocarbón, mediante sus características en el proceso de pirólisis, asimismo se indicó que su rendimiento fue de 32.45g en 100 g de la paja de arroz, a diferencia del residuos de sacarificación que fue de 30.14g y los monosacáridos de 30.46g, al añadirse los líquidos del suelo como enmienda no se evidencio la liberación del residuo de sacarificación, pero si en la paja de arroz alrededor de 70 mg/L, el biocarbón derivado de sacarificación se mezcló con bacterias autótrofas generando una mejora de carbono orgánico en el suelo, en comparación de la quema de la paja de arroz, la producción del biocarbón derivado de sacarificación generó una disminución de CO₂ en un 67.53%, se concluye que de acuerdo a los resultados mostrados se evidencio que el biochar de sacarificación tiene un elevado potencial en cuanto a la absorción de CO₂.

Según, Zhang et al. (2021), menciona sobre la retención del carbono para mitigar el cambio climático, mediante el biocarbón orgánico, las tasas de retención del carbono se aplicó en un campo de arroz durante 6 años, asimismo se realizó la recolección de muestras de suelo en 2018, con ello poder conocer los efectos a largo plazo del biocarbón, los resultados obtenidos nos evidencia que la absorción anual del carbono disminuyó en dos años, pero aumentó durante los 4 años, además mostró un rendimiento mayor a los 9% en los cultivos es por ello que su absorción de carbono fue mayor, a diferencia con el tratamiento de nitrógeno, respecto a ello, el biocarbón de 6 años disminuye la mineralización del carbono orgánico en el suelo de granel, macroagregado y microagregado, pero su tamaño incremento de limo en 2 a 53 μm , mayor de 5% y arcilla en 0.1 a 2 μm , mayor de 24%, se concluye que el biocarbón incrementó la probabilidad del carbono de macro a micro, sin el biocarbón modificado, por lo que protegió los compuestos de carbono de un menor peso molecular en el macro y una rápida transferencia a micro, que posee un almacenamiento más prolongado y la cantidad de carbono estable, por lo que su disminución de las actividades hidrolasas del suelo atraído por el biocarbón de macro a micro contribuye al secuestro de carbono

Según, Oledede et al (2020) evaluó los efectos del biocarbón (12 t ha^{-1}) y fertilizantes N (90 Kg N ha^{-1}), fertilizante N (90 Kg ha^{-1}) solo y control (sin enmienda) en carbono orgánico, grupos de carbono orgánico, índice de labilidad y las emisiones de dióxido de carbono de un alfisol tropical en el cultivo de arroz de secano, este estudio se realizó a escala de campo durante dos años cuantificando los efectos del biocarbón, los resultados obtenidos demostraron que la enmienda de biocarbón combinada con fertilizante N incrementó la proporción de carbono orgánico, carbono orgánico particulado y carbono orgánico particulado a carbono orgánico. Asimismo, esta combinación disminuye la proporción de carbono orgánico disuelto, carbono orgánico disuelto a carbono orgánico, carbono fácilmente oxidable a carbono orgánico, carbono de biomasa microbiana, proporción de carbono de biomasa microbiana a carbono orgánico, la emisión de dióxido de carbono en comparación con otros tratamientos, el hallazgo estableció una relación entre las agrupaciones orgánicas lábiles de Carbono y la emisión de dióxido de carbono. En conclusión, el estudio realizado sugiere la aplicación de

biocarbón y la adición de los fertilizantes nitrogenados pueden disminuir la emisión de dióxido de carbono (CO₂) de las tierras de cultivo en África Subsahariana en el cultivo de arroz de secano, asimismo incrementar las reservas de carbono orgánico lábiles esenciales, proteger las reservas de carbón orgánico lábiles y secuestrar carbono orgánico con implicaciones positivas para la globalización y mejora de la calidad del suelo.

Según, Deng et al (2020) evaluó la utilización del biocarbón derivado de residuos biológicos agrícolas o forestales fueron utilizados en la agricultura y puede mitigar las emisiones de gas de efecto invernadero. Se estudió el tamaño de las partículas de la materia prima sobre las características del biocarbón y las emisiones de óxido nitroso (N₂O) y el dióxido de carbono (CO₂) del suelo se estudiaron utilizando camellia oleifera como materia prima la cáscara de frutas con tres fracciones de tamaño de partícula (0,5 -2 y 5 - 10 mm) cada uno de ellos pirolizada a 300, 450 y 600 °C. Por ende, los resultados obtenidos mostraron que el carbono orgánico disuelto en el biocarbón incrementa con el tamaño de las partículas cuando se piroliza a 300°C, pero disminuye con la temperatura de pirólisis. Asimismo, el biocarbón de cáscara de 0,5 a 2 mm se relacionó con la tasa más baja de emisiones de N₂O y CO₂. Por otro lado el tamaño de las partículas de la materia prima de la cáscara fue más importante para los procesos del suelo a temperaturas de la pirolisis más baja con menos variación entre los tamaños de las partículas a temperaturas de pirólisis más altas. En conclusión, los resultados indican que el tamaño de las partículas de la materia prima interactúa con la temperatura de la pirólisis y la mitigación del impacto del N del suelo y la emisión del dióxido de carbono.

Según, Walkiewicz et al (2019) evaluó el biocarbón de madera producido a partir de aserrín de abeto por pirólisis a 650 °C a un suelo recolectado de un bosque y un huerto cultivado adyacente a largo plazo para probar la respuesta a corto plazo de la respiración del suelo y la metanotrofia bajo 100 % de humedad y 55 °C de la capacidad de la retención del agua, la metodología empleada se basó en los controles de los estudios de respiración (sin biocarbón), la emisión de dióxido de carbono fue más alta por debajo del 55 % que el 100% la capacidad de la retención del agua, en ambos suelos, por otro lado el uso del biocarbón al suelo forestal

redujo significativamente la tasa de emisión del dióxido de carbono en ambos niveles de la capacidad de la retención del agua, ya que en el suelo del huerto donde la tasa de emisión del dióxido de carbono no se modificó significativamente. En los controles del estudio metanotrofia se presentó una ligera concentración de metano, el efecto del biocarbón depende del nivel de la capacidad de la retención del agua por debajo del 100% de la capacidad de la retención del agua, el metano se consumió por completo en ambos suelos, se concluye que la respuesta a corto plazo de la respiración y la metanotrofia del suelo a la enmienda de biocarbón es influenciada por el uso de la tierra y es dependiente en gran medida de las condiciones de la humedad del suelo, asimismo se demostró que la efectividad de la adición de biocarbón como un método para limpiar la emisión de dióxido de carbono en el suelo forestal no saturados y para absorber metano en suelos saturados, lo que confirma su eficacia para la reducción significativamente del efecto invernadero.

Según, Olajide et al (2020) evaluó los efectos de la aplicación del biocarbón de la cáscara de arroz sobre las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), se realizaron experimentos en campo durante 91 días entre tipos de suelo Anthraquic Ustosthent, groossarenic kandiustalf y ustic quartzipsamment en el sur de Guinea en Nigeria utilizando tres aplicaciones de biocarbón, tasas de 5, 15 y 25, obteniendo como resultados una anova de dos vías en la que muestra que las emisiones acumuladas del dióxido de carbono fueron muy significativas ($p < 0.01$) entre los tipos de suelo y el tratamiento obtuvo resultados significativas en $p = 0.05$ fue la mayor acumulación de dióxido de carbono de $2,77 \text{ g} / \text{m}^2$ que se registró en el groossarenic kandiustalf, mientras que el valor mínimo fue de $2,11 \text{ g}/\text{m}^2$ en ustic quartzipsamment, la acumulación del dióxido de carbono (CO₂) incremento con el aumento de la aplicación del biocarbón obteniendo $3,06 \text{ CO}_2 \text{ g}/\text{m}^2$ en 25 t/ha, mientras que $2,78 \text{ g}/\text{m}^2$ y $1,52 \text{ g}/\text{m}^2$ en 5 t/ha de cada tratamiento respectivo, se obtuvo como conclusión los factores que tuvieron una correlación significativa en la emisión del dióxido de carbono en los suelos fueron a adición de biocarbón, el pH del suelo, N, P; Ca, Mg, y K, al día 91 no hubo ninguna diferencia en la emisión de CO₂ entre los tratamientos modificados, solo un pequeño porcentaje se había mineralizado.

Según, Dshani et al (2020) evaluó el tipo de materia prima, la temperatura de pirólisis y la adición por vapor de biocarbón para la determinación de la capacidad de absorción del dióxido de carbono, realizando biocarbón de aserrín de pino a 550 °C activándose con vapor durante 45 minutos a misma temperatura después de completar la pirólisis (PS550 y PSS 550), asimismo el biocarbón de lodos de una fábrica de papel se realizó a 300 y 600 °C (PM 300 y PMS600) la capacidad de absorción del dióxido de carbono se aprobó a 25 °C , se utilizó un analizador de sorción volumétrico, el biocarbón de aserrín de pino demostró que tiene una capacidad de absorción de dióxido de carbono muy significativamente más que el biocarbón de lodos de una papel por su alta superficie y microporosidad. Se concluyó que ambos materiales presentaron una absorción selectiva de dióxido de carbono sobre N₂, el PSS550 tenía una capacidad de absorción de dióxido de carbono superior a 0,73 mol g⁻¹ frente a 0,67 mol g⁻¹ y la selectividad de dióxido de carbono sobre el N₂ (26 frente a 18) que PSS550 probablemente al incremento de la microporosidad, el área superficial y los grupos funcionales básicos que tiene el oxígeno a través de la activación con vapor, asimismo el biocarbón de aserrín de pino es un material ecológico y bajo costo para la captura de dióxido de carbono.

Según, Cremer et al (2017) evaluó su capacidad para capturar el dióxido de carbono a temperatura ambiente y presión atmosférica, asimismo produjo y caracterizó los compuestos de hidróxido de aluminio, hidróxido de magnesio y óxido de hierro – biocarbón, realizó mediante métodos experimentales, las materias primas de la biomasa se trataron con iones metálicos de una variedad de concentraciones y luego se piroliza a 600 °C, los experimentos mostraron que proceso no solo convierte la materia en biocarbón , también convierte los iones metálicos en nanopartículas de oxihidróxido de metal en las superficies de carbono con la matriz del biocarbón. Obteniendo como resultado los que tenían relaciones óptimas de metal a biomasa tenía más capacidad de captura del dióxido de carbono que el biocarbón sin modificar. Asimismo, todos los materiales compuestos contaban con una superficie relativamente grande y la captura del dióxido de carbono era principalmente por absorción física, aunque los compuestos de Fe₂O₃ – biocarbón tuvieron la mayor superficie, mientras que el AlOOH – biocarbón demostró mayor absorción, de tal manera las características de los oxihidróxidos

metálicos como el área superficial contribuyeron a la capacidad de la captura del dióxido de carbono, siendo la capacidad (71 mg g^{-1} a 25 °C) de ALOOH – biocarbón, las muestras obtuvieron entre 90% y 99% de absorción a 120°C , todos los compuestos a base de biocarbón podrían resultar ser un absorbente de muy alta eficacia y muy rentable debido al costo para capturar dióxido de carbono.

Según, Nguyen y Lee (2017) este estudio evaluó las características para la eliminación del dióxido de carbono mediante un absorbente de perlas realizadas de biocarbón dopado con nitrógeno poroso (AMBC), se realizó a escalas de laboratorio utilizando las perlas de nitrógeno poroso que poseía una estructura de sus poros muy desarrolladas con una superficie de $328,6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, que es muy eficaz para la absorción de dióxido de carbono, las prueba de absorción realizadas con una columna de lecho fijo en laboratorio, mejorando más el rendimiento de la eliminación del dióxido de carbono ,asimismo incrementando la porosidad y la superficie del solvente. Se obtuvieron como resultado que las perlas con nitrógeno poroso sintetizadas exhibieron una capacidad de eliminación de dióxido de carbono de $10,15 \text{ mol g}^{-1}$ a 20 °C , siendo mucho más alto que la del carbón activado comercial. Se concluyó que la capacidad de absorción del dióxido de carbono de la perla de nitrógeno poroso se mantuvo al 85% de su capacidad inicial de absorción de las perlas, dichas perlas de nitrógeno poroso sintetizadas fácilmente recolectadas se pueden utilizar como eficaz, ecológico para la captura del dióxido de carbono.

Según, Xu et al. (2020), en su artículo analizaron la capacidad del biocarbón para el secuestro de carbono del ecosistema en un bosque de bambú de Moso, para ello se realizará en este bosque una prueba de campo que consta de 24 meses, el cual nos mostrará sobre los efectos en cuanto a las gases de efecto invernadero, carbono orgánico en el suelo y carbono de la vegetación con tasas diferentes al aplicar el biocarbón en el suelo de 0, 5 y 15 Mg, obteniendo como resultado que el efecto en la tasa de 0 Mg, se evidencio carbono orgánico con un aumento para el tratamiento de la tasa 5 con 26.60% y la tasa 15 con 7.07%. Del mismo modo para las tasas 5 y 15 incrementaron en 66.79% y 59.84% respectivamente, por lo que la emisión del efecto invernadero fue mayor en la tasa 5 con 19.70% y la tasa 15 con

21.23%, al aplicar el biocarbón en estos suelos disminuye las emisiones de NO₂ en la tasa 5 y 15 con un 18.02% y 24.42%, pero aumentó la captura del metano en un 16.22% y 8.11% respectivamente, por lo que se concluye que el biocarbón puede secuestrar el carbono en los ecosistemas del bosque, por lo que se considera eficaz para la reducción de emisiones de GEI.

Según, Memici y Ekinci (2020), describieron las propiedades fisicoquímicas y la energía en la producción del biocarbón derivado de residuos de cosecha de tomate en relación a la temperatura, tiempo de duración y la intervención del biocarbón en las emisiones de CO₂ en el suelo, para ello se realizó el proceso de pirólisis a la materia prima en un reactor de 50L su calentamiento fue mediante un sistema eléctrico, expuesta a elevadas temperaturas para determinar el tiempo de inmovilización, carbono, pH, carbono fijo y la cantidad de energía consumida por unidad de masa de biocarbón, los cuales fueron elevados y su pH era ácido al estar expuesta a una temperatura de 300°C pero alcalino en 400 y 700°C, pero la capacidad del biocarbón y el contenido de volátiles disminuyó, asimismo el nitrógeno del biocarbón disminuyó debido al incremento del tiempo de inmovilización, respecto a las emisiones de CO₂ en el suelo aumenta pero disminuye con la aplicación del biocarbón que fue producido con elevadas y menores temperaturas, en las emisiones de CO₂ bajas se usó el biocarbón elaborado a 500°C con un duración de 240 min., y las altas fueron de 300°C con una duración de 40min. Con ello se concluye que el proceso de pirólisis con temperatura de 500°C es adecuado para la producción de biocarbón, debido al consumo de energía en relación al CO₂ del suelo.

Según, Gascó et al. (2017), evaluó el biocarbón producido a partir de desechos de estiércol de cerdo para darle un adecuado manejo a estos desechos, asimismo como enmienda para el suelo y el CO₂, para ello se realizó la producción del biocarbón con dos muestras, al pasar por el proceso de pirólisis se encontraron estos desechos a una temperatura de 300°C y 500°C respectivamente. Asimismo, se diseñó una incubación, el suelo se modificó con el estiércol de cerdo y las dos muestras de este desecho con una tasa del 8% de peso. el cual fueron incubadas en 219 días, obteniendo como resultado que la enmienda del suelo con el biocarbón disminuye la mineralización del carbono, al contrario, con el suelo que fue

enmendado con el estiércol de cerdo incrementa las actividades de deshidrogenasa, fosfomonoesterasa y fosfodiesterasa. La muestra 1 con temperatura de 300°C tuvo un efecto adecuado en la actividad deshidrogenasa, pero la muestra 2 con temperatura de 500°C su efecto no fue lo adecuado sobre la actividad enzimática del suelo, por lo que se concluye que la temperatura en el proceso de pirólisis es un importante parámetro para elaborar el biocarbón.

Según, Kang et al, (2017) evaluó el potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero mediante el cultivo de coles chinas en adición del biocarbón derivado de la paja de cebada, para ello el material orgánico se colocó en una olla wagner en cantidades de 0, 100, 300 y 500 kg, asimismo al colocar la primera cantidad al suelo, se observó un incremento de CO₂ pero en la emisión de metano y el óxido nitroso disminuyó, los resultados mostraron que en la muestra de 500 kg el flujo del CO₂ fue mayor que el resto de las muestras, además respecto al flujo del metano fue menor en un 31.6% y óxido nitroso en un 26.1%. En el tratamiento potencial del calentamiento global en ausencia del biocarbón fue de 281.4g de CO₂ y con el biocarbón tuvo un rango de 194.1 a 224.9g de CO₂, es por ello que la adición del biocarbón de paja de cebada en suelo para el cultivo de coles aumenta la respiración y aireación del suelo conllevando a reducción del potencial de calentamiento global.

Según, Sial et al. (2019), realizó la comparación entre los desechos de la cáscara de plátano y el biocarbón para conocer la influencia sobre los GEI, propiedades químicas, el cual fue realizado mediante una incubación que duró 90 días, asimismo se utilizaron 5 tratamientos de enmiendas, los cuales fueron, sin enmienda, cáscara de plátano al 1% y 2%, biocarbón al 1% y 2%, obteniendo como resultado que el biocarbón disminuye el contenido de N₂O en un 37.1% a 54.8%, mientras que la cáscara de plátano no disminuyó el NO₂ acumulándose en un 1.3% a 5.3% a diferencia con el tratamiento sin enmienda. El contenido de nitrógeno amoníaco y nitrógeno nitrato en el suelo disminuyó con el tratamiento del biocarbón, además la acumulación de CO₂ en el biocarbón al 1% fue de 20.0% y al 2% fue de 24.0% en comparación con la cáscara de plátano, respecto al metano su emisión fue elevada en la cáscara de plátano que, en el biocarbón, pero el biocarbón incrementó las enzimas del suelo y el residuo de plátano aumentó el nitrógeno amoníaco del suelo y

la biomasa microbiana, con ello se puede concluir que convertir el residuo de plátano a biocarbón es una alternativa para la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y también mejora las propiedades del suelo.

Los suelos agrícolas son aquellos que poseen mayor contenido de materia orgánica y una adecuada estructura que facilita el desarrollo de planta, debido a los nutrientes que contiene, asimismo estos suelos pueden llegar a degradarse debido al cambio climático, que afecta al cultivo de alimento, además la aplicación de fertilizantes para solucionar el problema de fertilidad es excesiva, los cuales impactaría a los suelos, por lo que es necesario de usar biofertilizantes, microorganismos y biocarbón que son sostenibles para que los suelos sean fértiles sin generar ningún impacto. (Gutiérrez y De Lira Fuentes, 2020, p.10)

Las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo mejoran al aplicar el biocarbón, debido a que aumenta la capacidad de intercambio iónico y el desarrollo de microorganismo, como también favorece la inmovilización de nutrientes y mejora la estructura del suelo. (Gutiérrez et al, 2021, p.3)

El biocarbón es considerado como un material vegetal, el cual puede ser generado por medio de residuos orgánicos debido a que su obtención será mediante el procesamiento de la pirólisis a elevadas temperaturas, asimismo este material es abundante en carbono, por lo que posee la capacidad de absorción, porosidad, estabilización al suelo e inmoviliza al dióxido de carbono que se encuentra en el suelo, conllevando a la disminución de estas emisiones. (Pranagal et al., 2017, p.1), debido a sus propiedades fisicoquímicas que posee el biocarbón para hacer cambios en la propiedad del suelo, como es en sus nutrientes, incremento de pH y retención del agua. (Dominchin et al. 2021, p. 2), con ello se puede evidenciar que el uso del biocarbón es efectivo y que su efectividad dependerá también de las propiedades que posea el suelo como también la reacción que genere. (Querejeta, Rubiera y Pevida, 2019, p.2)

El biocarbón está contenido de carbono y es muy resistente a la descomposición, por ello que funciona como un almacén de carbono recalcitrante cuando es aplicado al suelo, este carbono es retenido y no se transforma en CO₂ rápidamente por lo que se libera muy lentamente hacia la atmósfera, asimismo disminuye la

concentración de este gas, siendo factor negativo del cambio climático. (Balta,2019, p,12)

Las propiedades de los biocarbones son diversas, ya que la biomasa y las condiciones de la carbonización son los principales parámetros determinantes en las características fisicoquímicas del biocarbón. Asimismo, explica que algunas de las propiedades fisicoquímicas del biocarbón podría cambiar luego de la exposición al medio ambiente, desafiando la función del biocarbón a largo plazo en el medio ambiente, por ejemplo, la capacidad de intercambio del pH y catiónico. (Segura, 2018, p.12)

Además, las características físicas del biocarbón variarán de acuerdo al tipo y tamaño de la materia prima, así como también la duración de pirólisis, el biocarbón al tener una estructura porosa tiene la capacidad de retener la humedad y con sus microporos puede absorber compuestos sólidos, líquidos y gases producidos en la pirólisis por el incremento de temperatura. (Aquiye, 2019, p.14)

Los residuos sólidos orgánicos se denominan aquellos que poseen una descomposición rápida para ser convertidos en materia orgánica, asimismo estos residuos están compuestos por restos de cultivo, estiércol de animales, restos de comida, papel, entre otros, además estos residuos debido a su descomposición suelen presentar malos olores y desprendiendo gases de efecto invernadero. (Huerta, 2020, p.11)

La pirólisis es un proceso termoquímico que consiste en la conversión de biomasa de la materia prima para producir biocarbón, además la degradación térmica de biomasa es realizada a elevadas temperaturas en ausencia de oxígeno, este proceso varía adecuadamente para la obtención del biocarbón. (Singh et al. 2019)

La pirólisis lenta consiste en que su proceso de combustión de la biomasa es de una velocidad lenta con temperatura menor a 10^o C, el rango de temperatura va de 300 a 800^oC con una duración menor de 1 hora. (Mohan et al, 2017, p.9)

La pirólisis rápida es más usado en líquidos, ya que las condiciones que presenta de calentamiento es elevado en el transcurso del proceso, además de que su temperatura es de 500°C en solo dos segundos, por lo que se recomienda este tipo de pirólisis para la producción de líquido, asimismo esta producción genera gases y residuos sólidos. (Sisalima, 2020, p. 15)

El proceso térmico de la torrefacción es usado para la producción del biocarbón a partir de la biomasa de la materia prima, el cual es aprovechado como enmienda para el suelo. (Barskov et al., 2019, p.2), en este proceso la biomasa estará expuesta a una temperatura entre los 200 y 300°C con una duración de entre 20 a 120 minutos. (Wang et al., 2017, p.4)

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas generado del efecto invernadero, este gas contribuye con el incremento del efecto del calentamiento global, asimismo no es considerado como gas más peligroso en toxicidad, lo es si muestra una concentración alta, mil veces superior de cualquier producto industrial. La emisión del dióxido de carbono es considerada el 60% del efecto invernadero generado de las actividades antropogénicas, es generado principalmente por la quema de combustibles fósiles, de biomasa, el cambio de uso de suelo, como otros procesos industriales. (Soto,2018, p.24)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo aplicada, ya que está basada principalmente en hallazgos tecnológicos de la investigación básica, se dice que es básica ya que sirve de conocimiento a la investigación aplicada o tecnológica y se encarga del proceso de enlace entre la teoría y el producto. (Nieto, 2018 p.1). Según López (2017, p.18) considera que la investigación aplicada es la resolución de problemas en contexto formativo, ponen a prueba estudios teóricos para la resolución del problema específico. En ese sentido se identificó la investigación de tipo aplicada, porque se encontraron diferentes métodos y estudios encontrados, el cual brinda soluciones a la problemática, en este caso son las emisiones de dióxido de carbono en los suelos agrícolas.

3.1.2. Diseño de Investigación

La presente revisión sistemática es de diseño narrativo de tópico, ya que con este tipo de investigación se utilizan diversas informaciones disponibles para instituir nuevos métodos y tecnologías. Según, Gallardo (2017), considera que la investigación cualitativa narrativa de tópicos es obtener una comprensión profunda de los significados y las definiciones, a través de la recolección de datos para realizar la investigación. En esta presente investigación se realizó la recopilación de información mediante artículos científicos experimentales, de esta manera se logró sintetizar la información recolectada, con el fin desarrollar nuevos conocimientos y que pueda servir a las futuras investigaciones de estudios del uso del biocarbón para la disminución de dióxido de carbono.

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

En esta investigación se realizó la matriz apriorística en el cual se mencionó las categorías y subcategorías, asimismo se realizó la interpretación de las subcategorías que vienen a hacer los criterios, mediante ello se estableció el análisis de la recopilación de información para el desarrollo de la investigación.

Tabla N° 1: Matriz de categorización apriorística.

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2
Detallar la producción del biocarbón para la disminución del dióxido de carbono en suelos agrícolas	¿Cómo se realiza la producción del biocarbón para disminuir el dióxido de carbono en los suelos agrícolas?	Producción del biocarbón (López y Moreno, 2020, p.22)	-Pirolisis térmico de carbonización (Brito et al.,2019, p.1) - Carbonización hidrotermal (Mona et al, 2021, p.3) -Torrefacción (Mona et al, 2021, p.3)	De acuerdo el tipo de materia prima a utilizar en la producción del biocarbón	De acuerdo a la temperatura que la materia prima ha sido expuesta en su proceso de producción.
Describir el rendimiento del biocarbón para la absorción de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura	¿Como es el rendimiento del biocarbón en la absorción del dióxido de carbono en la agricultura?	Rendimiento del biocarbón	- Cantidad del biocarbón - Tiempo de duración de pirolisis - Tipo de biocarbón (Xu et al,2020)	De acuerdo a las características que el biocarbón adquiere en el transcurso de su producción	De acuerdo al rendimiento del biocarbón para retener el dióxido de carbono

Describir las propiedades fisicoquímicas del biocarbón para la disminución de emisiones de dióxido de carbono en el suelo.	¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas del biocarbón para la disminución de emisiones de dióxido de carbono en el suelo?	Propiedades Fisicoquímicas	- Temperatura (Wan et al, 2017, p. 1) - pH -Textura (Serafin et al, 2019, p.1) - morfología	De acuerdo a las características de los diferentes tipos de biomasa de materia prima	De acuerdo a los efectos que presente el biocarbón al aplicarlos en los suelos agrícolas
--	--	----------------------------	--	--	--

Fuente: Autoría Propia

3.3. Escenario de estudio

En esta revisión sistemática los escenarios de estudios fueron realizados en campos de cultivo agrícola y en bosques, se reutilizaron diferentes tipos de materia orgánica para convertirlos en biocarbón, de esa manera reducir las emisiones de dióxido de carbono, asimismo para la evaluación de estas muestras de materia orgánica fueron llevadas a laboratorios privados de investigación para su posterior tratamiento en incubadoras con diferentes periodos de tiempo, así como también se utilizó los instrumentos como peachimetro, estufas, para la utilización en los diversos métodos.

3.4. Participantes

En esta investigación de revisión sistemática, se realizó la búsqueda de información mediante la recopilación artículos científicos en relación a la problemática mencionada, las fuentes donde se obtuvo los artículos fueron scopus, scielo y sciencedirect.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica utilizada en esta investigación fue de análisis documental, en el que Arias, 2020, p. 52, menciona que esta técnica es una revisión de toda la información que contiene el documento y nos permitirá realizar las recopilaciones de estudio anteriores, el cual nos mostrará una proyección en nuestros resultados. Asimismo, Sánchez et al, 2018, p 53, nos dice que en esta técnica se analiza cada parte del documento, mediante la extracción de mayor relevancia para su posterior clasificación y ser analizados en el documento, ello facilitará en la obtención de datos para los resultados en dicho estudio. Para lo cual los instrumentos vienen a ser la elaboración de fichas de análisis sobre el contenido de los artículos científicos elegidos (Anexo 1).

3.6. Procedimientos

En esta investigación de revisión sistemática, se realizó la recopilación de artículos científicos internacionales, se buscó la información en el idioma inglés con una antigüedad de 5 años, los cuales comprenden desde el año 2017 hasta el 2021, asimismo estos artículos fueron encontrados de diferentes fuentes. Se encontraron información sobre el uso del biocarbón para la disminución de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura, por medio de una búsqueda de artículos del mes de Abril del 2017 hasta el mes de Diciembre del 2021 se encontraron 16 artículos de investigación.

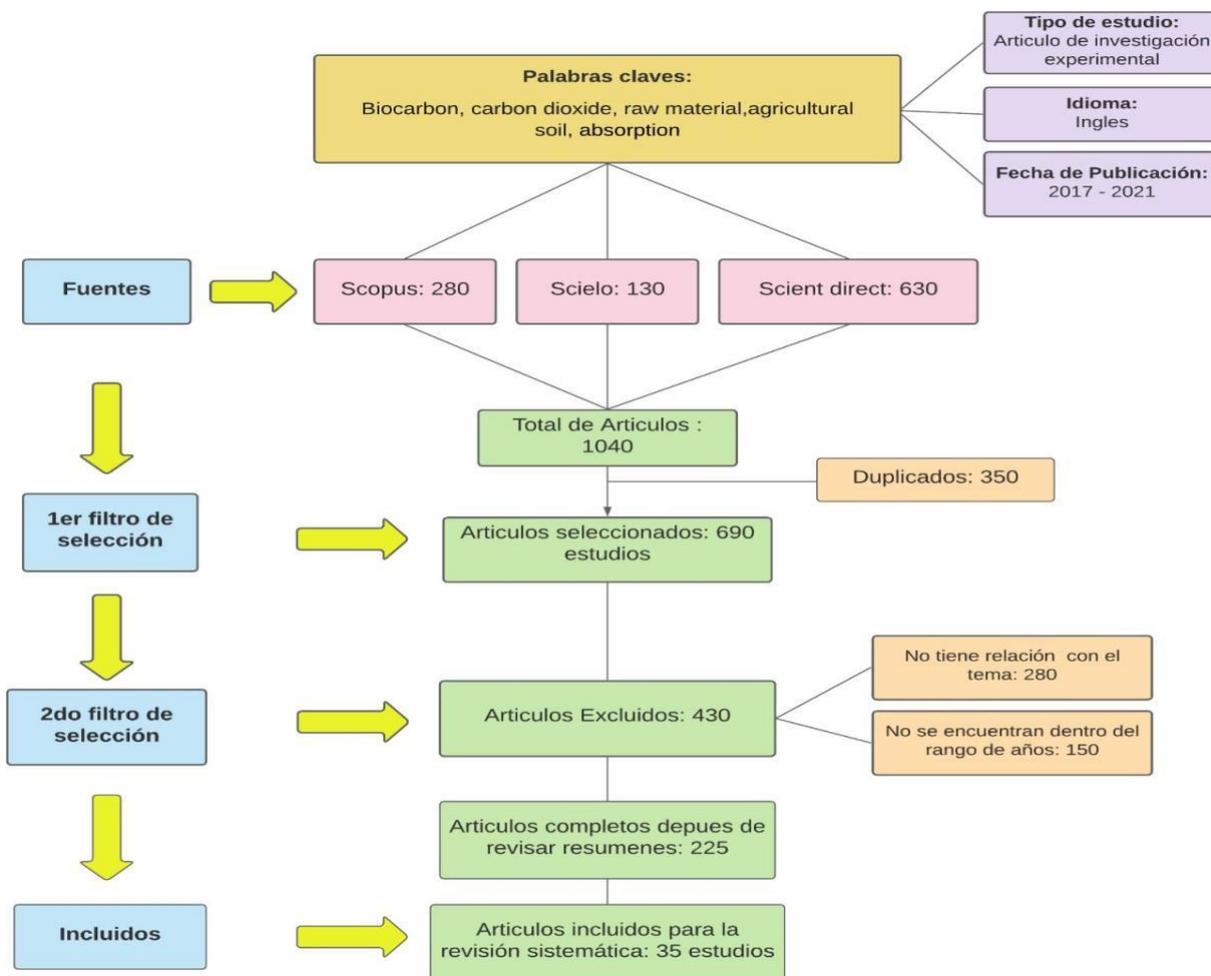
Se utilizaron diversas fuentes de artículos científicos, como técnica exploratoria y analítica de la recolección de información relevantes, los cuales fueron de Sciencedirect, Scielo y Scopus.

Para la búsqueda de artículos científicos se utilizaron palabras claves como es biocarbón, dióxido de carbono, materia prima, se encontraron un total de 1040 estudios, los filtros que se utilizaron para la búsqueda son de los últimos 5 años que comprende desde el año 2017 hasta 2021, de todos estos artículos solo se escogieron 35, los cuales fueron seleccionados de estudio experimental.

Para la selección de estos estudios, se realizó mediante una revisión de los títulos y resúmenes en los artículos, asimismo se analizó sobre la información que contenía con la finalidad de llegar a encontrar los estudios con los que se trabajara en esta revisión sistemática y tenerla guardadas en nuestra base de datos, de tal manera para revisarla de nuevo en caso de que presente duplicados.

En la selección de estos artículos científicos se aplicaron criterios de inclusión en donde los artículos deberán de tener relación con el tema a investigarse, asimismo se deberá de mostrar información sobre los tipos de materia prima utilizados para la producción del biocarbón, absorción del dióxido de carbono mediante el uso del biocarbón. Además, los criterios de exclusión utilizados fueron que los artículos eran antiguos y no estaban dentro del rango de años establecidos, no contaban con información importante. Por lo que, de acuerdo a los criterios evaluados de estos artículos, solo se seleccionaron un total de 35 estudios.

Gráfico N° 1: Procedimiento de selección de artículos



3.7. Rigor científico

Según, Fernández et al (2019), consideran que el rigor científico desde el enfoque cualitativo tiene como objetivo principal que el investigador demuestre resultados y descubrimientos, adaptándose a la realidad estudiada.

La presente revisión sistemática se basó en los siguientes criterios:

- La confiabilidad nos garantiza la calidad de búsqueda correcta de la investigación cualitativa. (Cypress, 2017). En la investigación cualitativa, el investigador selecciona la información de diferentes fuentes, mediante la técnica de análisis que permitirá poder utilizar artículos confiables.
- La validez en una investigación se refiere a los métodos e instrumentos válidos, para ello se requiere una revisión prolongada de la información obtenida. (Escudero y Cortez, 2018). Los investigadores cualitativos deben de realizar la recopilación de información minuciosamente, para la validación de los resultados en los artículos y obtener una mejor calidad de la información.
- La transferibilidad, da cuenta de la posibilidad de ampliar los resultados de la investigación a otros investigadores. En esta investigación cualitativa, nos permitirá transferir los resultados hacia otros contextos de diferentes estudios.
- La credibilidad permite a los investigadores, buscar información en los resultados de investigación de diversos estudios que han sido realizados anteriormente.

En esta revisión sistemática, cumple con los criterios establecidos, mediante las referencias bibliográficas, los cuales se recopilaron de diversos artículos científicos, que se encontraron en las fuentes utilizadas para argumentar la credibilidad, confiabilidad, validez y transferibilidad de la investigación, asimismo se logró detallar sobre el uso de biocarbón para la disminución de dióxido de carbono en la agricultura, con ello poder llegar hacia otros lectores e investigadores para que adquieran el conocimiento y puedan aplicarlo en investigaciones futuras.

3.8. Método de análisis de la Información

La matriz de categorización apriorista nos permitirá analizar las 3 categorías que es la producción del biocarbón, rendimiento del biocarbón y propiedades fisicoquímicas. La categoría producción del biocarbón consta de tres subcategorías, pirólisis térmico de carbonización, carbonización hidrotermal y torrefacción, además para el análisis de estas subcategorías se colocaron dos criterios, los cuales son, de acuerdo al tipo de materia prima a utilizar en la producción del biocarbón y de acuerdo a la temperatura que la materia prima ha sido expuesta en su proceso de producción, con estos criterios se podrá recopilar la información de los artículos científicos para argumentar los resultados y responder a los objetivos.

De acuerdo a la categoría rendimiento del biocarbón, tiene como subcategoría, cantidad del biocarbón, tiempo de duración de pirólisis y tipo de biocarbón, asimismo para su análisis se colocaron dos criterios, de acuerdo a las características que el biocarbón adquiere en el transcurso de su producción y de acuerdo al rendimiento del biocarbón para retener el dióxido de carbono, al incluir estos criterios nos permitirá poder seleccionar información de los artículos científicos para argumentar los resultados.

Finalmente la última categoría que es propiedades fisicoquímicas, presenta cuatro subcategorías que es temperatura, pH, textura y morfología, para el análisis de estas subcategorías se implementaron dos criterios, los cuales son, de acuerdo a las características de los diferentes tipos de biomasa de materia prima y de acuerdo a los efectos que presente el biocarbón al aplicarlos en los suelos agrícolas, con estos criterios se podrá recopilar la información de los artículos científicos, con ello poder fundamentar los resultados.

3.9. Aspectos éticos

La presente investigación fue realizada de fuentes confiables, citadas apropiadamente con su debido autor, respecto a las teorías y conocimientos, realizando las referencias bibliográficas correctamente mediante la guía de investigación de la Universidad César Vallejo (ISO 690: 2010). También la aplicación del rigor científico plasmados en el análisis de los resultados tomando en cuenta cada uno de los criterios.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la metodología de revisión sistemática de las investigaciones cualitativa relacionados al tema de estudio del Uso del biocarbón para la disminución de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura, se realizó la búsqueda en la base de datos de Sciencedirect, Scopus, Scielo, las cuales arrojando un total de 1040 artículos experimentales de los cuales se realizó el proceso de filtrado de búsqueda tomando en cuenta los últimos 5 años, tomando en consideración el idioma inglés, se analizaron 690 artículos experimentales, tomando en cuenta artículos que tratan del uso de biocarbón con diferentes tipos de materias primas, temperatura de la pirólisis, rango de aplicación del biocarbón, morfología, capacidad de absorción y propiedades fisicoquímicas, entre los años 2017 a 2021 de los cuales se seleccionó 35 estudios experimentales que fueron los más relevantes e importantes relacionados al tema de estudio, de los cuales pertenecen a la base de datos de Sciencedirect, Scopus, Scielo. Estudios recientes indican que se pueden realizar diferentes tipos de biocarbón generados a partir de materias primas como orujo de uva, bagazo de caña de azúcar, cáscara de coco, aserrín de pino, paja de arroz, palmera datilera, pozos de café, cáscara de piña, estiércol de lechería, malezas de cocodrilo, cascara de ajo, residuos de piel de rambután, corteza de abeto, granos de polen, algas marinas, viruta de pino, corteza de arce, cáscara de granada, cáscara de palmiste, hojas de helecho, astilla de nogal, convirtiéndose en un valioso biocarbón para la disminución de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura. Asimismo, las diferentes condiciones de pirólisis de la materia prima generan diferentes características del biocarbón (Qi, et al.,2017). Mediante este estudio se recopiló información de investigaciones experimentales evidenciadas en la Tabla I, que detalla sobre la producción del biocarbón como una alternativa sostenible para la disminución de las emisiones de dióxido de carbono en la agricultura.

Tabla N° 2 Producción del biocarbón

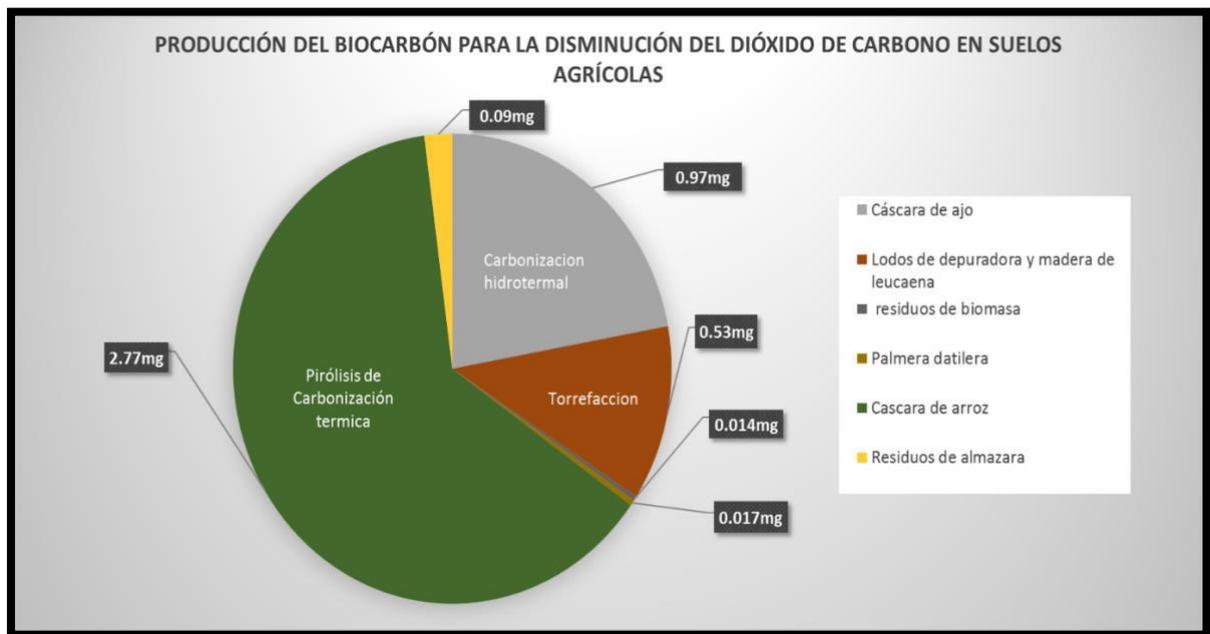
REFERENCIA	PAIS	IDIOMA	MATERIA PRIMA	MÉTODO DE PRODUCCIÓN DEL BIOCARBÓN	MODIFICACIÓN DEL BIOCARBON	TEMPERATURA (°C)	DURACIÓN DE PIROLISIS	EFFECTOS
1 Brito, et al. (2019)	Brasil	Ingles	Bagazo de caña de azúcar, cáscara de coco y endocarpio de coco babasú	Pirolisis térmica de carbonización	-	700 ° C	3 h	La aplicación de este método logro que estos residuos agrícolas tengan una alta superficie específica para absorber mayores cantidades de CO ₂ , además de que fueron superiores a los carbonos activados comerciales.
2 Ismail, et al. (2020)	Australia	Ingles	Orujo de uva	Pirolisis térmica de carbonización	KOH a 800°C	600 ° C	2 h	La conversión del orujo de uva con la activación de KOH demostró una estructura altamente porosa con mayores microporos y presenta un rendimiento en la captura de CO ₂
3 Huang, et al. (2019)	China	Ingles	Cáscara de ajo	Carbonización hidrotermal	KOH a 700 °C	200 °C	24 h	La conversión de la cascara de ajo a hidrocarburo con la activación del KOH para la obtención de biocarbón tuvo una elevada porosidad, área superficial y volumen de poros, estos factores permitieron una captura eficiente de CO ₂ .
4 Singh, et al. (2021)	Australia	Ingles	Malezas de cocodrilo	Pirolisis térmica de carbonización	KOH a 800°C	600° C	2h	Los biocarbones activados nanoporosos poseen una superficie específica extremadamente alta, por lo que demuestra que sus características son esenciales para capturar CO ₂ en temperaturas bajas y altas, su área de superficie es de 3106 m ² g ⁻¹ con un alto volumen de poros de 1,62 cm ³ g ⁻¹ y un alto porcentaje de grupos funcionales oxígeno.
5 Deshani, et al. (2020)	Corea	Ingles	Aserrín de pino	Pirolisis térmica de carbonización	-	550 C°	4h	Los biocarros de aserrín de pino mostraron una capacidad de adsorción de CO ₂ significativamente, debido a su alta superficie y microporosidad.

6	Salem, et al. (2021)	Emiratos Árabes Unidos	Ingles	Hoja de palma datilera	Pirolisis térmica de carbonización	-	300 °, 400 °, 500 ° y 600 ° C.	2h	El uso de la palma datilera convertida a biocarbón mostró un porcentaje elevado de absorción de 0.25kg de CO ₂ en la temperatura de 600°C.
7	Pokharel, et al. (2019)	Canadá	Ingles	Estiércol en gránulos y astillas de madera	Pirolisis térmica de carbonización	-	500 y 550 ° C	2h	Se evidencio que los biocarros convertidos a partir de estos residuos orgánicos presentan en los suelos de granel y rizosféricos una elevada absorción de CO ₂ .
8	Huang, Pei-Te and Shang (2019)	China	Ingles	Lodos de depuradora y madera de leucaena	Torrefacción	-	300 ° C	30 min.	El biocarbón que contiene mayor contenido de carbonoso es capaz de adsorber más CO ₂ , como es el biocarbón derivado de madera de leucaena pura que absorbió 53 mg / g.
9	Kwoczynski y Cmelík (2020)	Republica checa	Ingles	residuos de biomasa	Torrefacción	-	200 ° C y 350 ° C	-	Las biomasas en cuanto a sus térmicas comportamiento y efecto del aumento de la temperatura en la proporción, estructura y composición química de los productos finales de pirólisis son vitales para su función en el suelo, obteniendo resultados óptimos.
10	Salem, et al. (2021)	Emiratos Árabes Unidos	Ingles	Palmera datilera	Pirolisis térmica de carbonización	-	500 ° C	5h	La hoja de palma dialera de biochar muestra una eficiencia de absorción de CO ₂ del 20 % medida por g del biocarbón de 0.017 ga a 500 ° C de temperatura de pirolisis.
11	Huang, et al. (2017)	China	Ingles	Paja de arroz	Pirolisis térmica de carbonización	-	550 ° C	20min	La capacidad de absorción de CO ₂ del biocarbón es de 80 mg/g.
12	Olaniyan, et al. (2020)	Nigeria	Ingles	Cascara de arroz	Pirolisis térmica de carbonización	-	350 ° C	3h	La mayor emisión acumulada de CO ₂ –C de 2,77 g / m ² se registró en el Grossarenic Kandiustalf, mientras que el valor mínimo de 2,11 g / m ² se registró en el Ustic Quartzipsamment.

13	Namoi, et al. (2019)	Kenia	Inglés	Zanthoxylum gillettii (De Wild.) PG Waterman y Croton megalocarpus Hutch	Pirolisis térmica de carbonización	lombrices de tierra	500 °C	-	Las tasas de aplicación de biocarbón con 25 Mg ha ⁻¹ , lo que resultó en mayores flujos de CO ₂ en comparación con el control sin biocarbón (p = 0,002), mientras que no se observaron cambios con Z. gillettii -1 tanto para C. megalocarpus (p = 0,009) como para Z. gillettii (p = 0,011)
14	Lai, et al. (2017)	Taiwán	Inglés	astillas de madera de cedro	Pirolisis térmica de carbonización	-	290 °C y 700 °C	-	La aplicación de BC700 al 5% produjo el secuestro de carbono más significativo tanto en el arroz como en la remolacha. La aplicación de BC700 al 5% también redujo significativamente las emisiones acumuladas de CO ₂ e de los suelos de Pc (52%) y Hb (46%) plantados con arroz, mientras que la aplicación de BC700 al 2% redujo significativamente el CO ₂ acumulado
15	Ashig, et al. (2020)	Canadá	Inglés	Estiércol de lechería	Pirolisis térmica de carbonización	nitrógeno inorgánico	400 °C	-	La enmienda de BC a DM 1 , DM 2 e IN redujo significativamente las emisiones acumuladas de CO ₂ en un 16, 25,5 y 26,5%.
16	González and Manyá (2020)	España	Inglés	Residuos de almazara	Carbonización hidrotermal	KOH a 700°C	350 °C	24 h	El biocarbón activado físicamente con el KOH es mejor debido a su mayor absorción de CO ₂ , además de acuerdo a los resultados el dopaje de N no potencia las propiedades de absorción.

Respecto a nuestros objetivos propuestos de la investigación, el primer objetivo específico es detallar la producción del biocarbón para la disminución del dióxido de carbono en suelos agrícolas, de los artículos de investigación hallados, se tomaron en cuenta investigaciones importantes, previo a ello se compararon y se encontraron estudios recientes.

GRÁFICO N°2



Fuente: Autoría Propia

En el trabajo de investigación de Salem [et al] (2021), menciona que el biocarbón elaborado de hoja de palma datilera se realizó a 600 °C durante 2h, la mayor eficacia que se obtuvo fue de 250 g al absorber el CO₂, tomando en cuenta que las hojas de palma datilera es un material poroso a base de carbono tiene una alta capacidad de absorción de CO₂. Por otro lado Olaniyan [et al] (2020), indica que producción de biocarbón a base de cáscara de arroz se realizó a una temperatura de 350 °C y durante 3h , obteniendo una acumulación mayor de 2,77g /m² ya que los suelos tienen efectos significativos sobre las emisiones. De acuerdo a los dos estudios mencionados, la producción de biocarbón de hojas de palma datilera fue el biocarbón más eficiente, ya que se trabajó a una temperatura de 600 °C con un reactor de lecho fluidizado que mejoró los procesos de absorción, además de la eficiencia del biocarbón sintetizando en la absorción de CO₂, mientras que el

biocarbón a base de cáscara de arroz se pirolizó a 350 °C utilizando un mini reactor de acero inoxidable alimentado con biomasa, en este estudio se encontró que las tasas de aplicación de biocarbón y los suelos tienen efectos de absorción de 2,77 g, obteniendo una tasa baja a comparación del biocarbón de la hoja de palma datilera. Asimismo contemplamos otro proceso de producción de biocarbón que es la Torrefacción tomando en cuenta estudios identificados como de Huang, Pei-Te and Shang (2019) que mencionan el biocarbón de lodos de depuradora y madera de leucaena que contiene mayor contenido de carbonoso es capaz de absorber más CO₂, que absorbió 0,025 g, su pirólisis se realizó a 300 °C durante 30 min, mientras que en el estudio de Kwoczynski y Cmelík (2020) mencionan que se trabajó con biocarbón de residuos de biomasa a temperaturas de 200 °C y 350 °C. Las biomásas en cuanto a sus térmicas comportamiento y efecto del aumento de la temperatura en la proporción, estructura y composición química de los productos finales de pirólisis es vital para su función en el suelo, obteniendo resultados óptimos. En estos procesos de producción de biocarbón a base de torrefacción se determinó que el biocarbón de lodos de depuradora y madera de leucaena fue más eficiente en la absorción de CO₂ porque se llevó a cabo una torrefacción por microondas, ya que los rendimientos de masa y energía disminuyeron, mientras que los contenidos de carbono y carbono fijo aumentaron al aumentar la proporción de mezcla de madera de leucaena, mientras que en el otro estudio el biocarbón se produce a partir de biomasa mediante pirólisis a baja temperatura (torrefacción), no menciona lo eficaz que resultó más no un resultado numérico que refleje la eficacia del biocarbón. Por otro lado tenemos la producción de biocarbón mediante carbonización hidrotermal, Huang, et al. (2019), señala que mediante la realización de biocarbón a base de cascara de ajo que trabajo a una temperatura de 200 °C con una modificación de hidróxido de potasio a 700 °C, la conversión de la cascara de ajo a hidrocarburo con la activación del KOH para la obtención de biocarbón tuvo una elevada porosidad, área superficial y volumen de poros, estos factores permitieron una captura eficiente de CO₂, mientras que González and Manyá (2020) menciona en su estudio que utilizó biomasa de residuos de almazara a temperatura de 350°C durante 24h modificado con hidróxido de potasio a 700 °C, el biocarbón activado físicamente con el KOH es mejor debido a su mayor absorción de CO₂, además de acuerdo a los resultados el dopaje de N no potencia las propiedades de

absorción. Por el cual podemos mencionar que ambos estudios dieron resultados óptimos en la absorción del CO₂ ya que coincidieron con la modificación del biocarbón y las temperaturas a las que fueron expuestas. Luego de analizar cada uno de los procesos de biocarbón podemos mencionar que el proceso de biocarbón de pirólisis de carbonización es la más usada y eficiente en la absorción de CO₂ en el suelo, debido a las mayores temperaturas y su mejora en las propiedades físicas y químicas del biocarbón que es esencial para su función de absorción de CO₂.

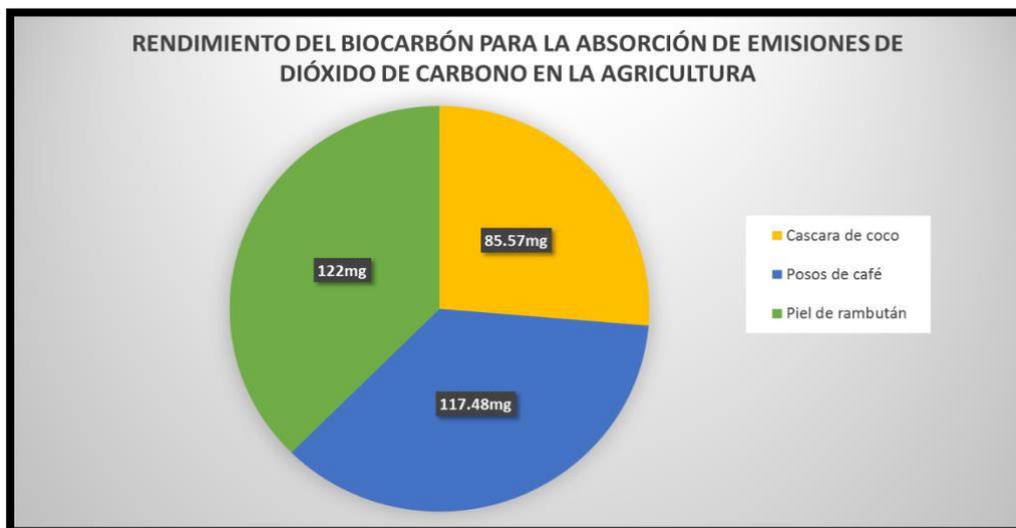
Tabla N° 3 Rendimiento del biocarbón para la absorción de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura

REFERENCIA	PAIS	IDIOMA	MATERIA PRIMA	RANGO DE APLICACIÓN	MODIFICACIÓN DEL BIOCARBON	TEMPERATUR (°C)	DURACIÓN DE PIROLISIS	VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO	EFFECTOS	
1	Luo, et al. (2017)	China	Ingles	Corteza de abeto	890g	Hidróxido de potasio (KOH)	450 °C	1h	3°C/min	Las capacidades de captura alcanzadas tan altas como 25.5m g
2	Salen, et al. (2021)	España	Español	Palmera dialera	181,38 g	-	500 °C	5h	10 ° C / min	El biocarbón de desperdicio de palmera dialera crudo tiene potencial y es capaz de adsorber eficientemente el 20% del dióxido de carbono.
3	Zhang, et al. (2021)	China	Ingles	Biomasa de aceites	756 g	Amoniaco	600 °C	1h	-	El biocarbón modificado con amoniaco producido a 600 ° C mostró una adsorción de CO ₂ 67,25 mg)
4	Azlina, et al. (2017)	China	Ingles	Cascara de coco	450 g	Aminas	800 °C	1h	10°C/min	El biocarbón modificado con amina presentó la mayor adsorción de dióxido de carbono que fue de 85.57 mg
5	Liu, et al. (2017)	Taiwán	Ingles	Posos de café	168,65 g	hidróxido de potasio	600 °C	2h	7 °C / min	El biocarbón modificado con hidróxido de potasio adsorción de dióxido de carbono que fue de 117.48 mg
6	Zubbri, et al. (2020)	Malasia	Ingles	piel de rambután	365 g	-	700 °C	-	10°C/min	Se alcanzó una capacidad de adsorción de CO ₂ de 122mg en condiciones ambientales.
7	Crearme, et al. (2017)	Estados Unidos	Ingles	bagazo de caña de azúcar y madera de nogal	432g	-	300, 450 y 600 ° C	-	10°C/min	El biocarbón de bagazo de caña de azúcar producido a 600 ° C mostró la mayor adsorción de CO ₂ (73,55 mg)

Fuente: Autoría Propia

En relación al segundo objetivo específico es conocer el rendimiento del biocarbón para la absorción de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura

GRÁFICO N°3



Fuente: Autoría Propia

Es entonces con el trabajo de investigación de Liu [et all] (2017), evaluó el rendimiento del biocarbón derivado de los posos de café que han sido mejorados con la activación del hidróxido de potasio, en el que tuvo como resultado una mayor capacidad de absorción del dióxido de carbono de 117.48 mg, ello se debe a la alta microporosidad desarrollada que presenta el biocarbón, así como también a la velocidad de la calentamiento que presentó de 7 °C / min en su proceso de pirólisis. Por otro lado Azlina [et all] (2017), usó como biocarbón a la cáscara de coco para conocer la capacidad de absorción de CO₂, en el que su proceso de pirólisis fue de 800°C, además se modificó el biocarbón con aminos para mejorar su rendimiento, en el que los resultados obtenidos mostraron una capacidad de captura de CO₂ de 85.57 mg y una velocidad de calentamiento de 10°C/min, por lo que esta absorción se debe a la basicidad de la superficie del carbono y a los grupos funcionales como la quinina, la amida cíclica. Asimismo, Zubri, et al. (2020) menciona que en su estudio que utilizó piel de rambután a temperatura de 700 °C, con un tiempo de duración de 10°C/min, obteniendo un resultado de 122mg en la absorción del CO₂ debido a la temperatura a la que fue expuesta fue favorable, podemos mencionar que es eficiente para la absorción de CO₂ en los suelos agrícola.

Tabla N° 4 Propiedades Fisicoquímicas del biocarbón para la absorción de emisiones de dióxido de carbono en la agricultura

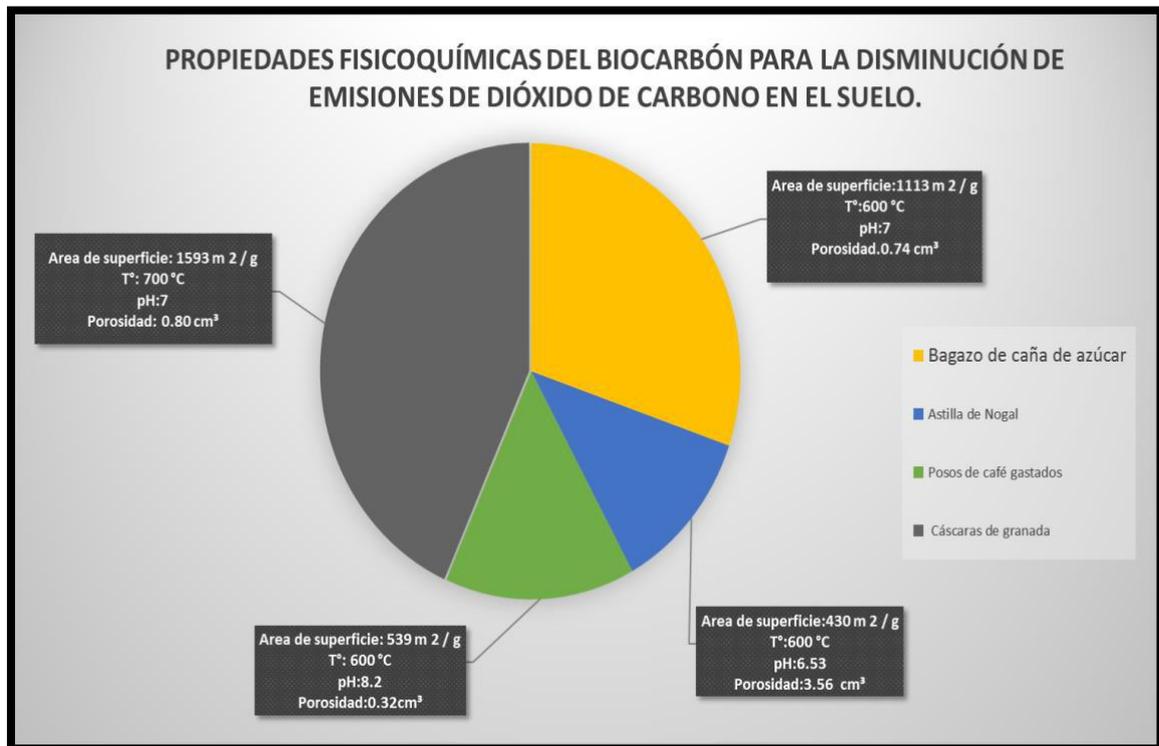
REFERENCIA	PAIS	MATERIA PRIMA	RANGO DE APLICACIÓN	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE RESIDENCIA	pH	POROSIDAD (cm³)	ÁREA DE LA SUPERFICIE	EFECTOS	
1	Lévesque, et al. (2018)	Canadá	- Corteza de arce - virutas de sauce - virutas de pino	- 0,5 y 5 cm - 1 y 1,5 cm - 0,3 cm	- 400, 550 y 700 °C - 700 °C - 400 °C	1 h	- 10.1, 11.3, 11.1 - 7.4 - 8.2	- 0.75, 0.76, 0.77 cm³ - cm³ - 0.90 cm³ 0.83 cm³	-	De acuerdo a las características de estos biocarbones se apreció que el pH mayor fue en la corteza de arce, además en la temperatura de 550°C logro reducir las concentraciones de CO ₂ en un 50% durante los 58 días en ausencia de compost.
2	Memici and Ekinci (2020)	Turquía	Residuos de cosecha de tomate	4 kg.	- 300°C - 400 °C - 500 °C - 600 °C - 700 °C	40, 80, 120 y 240 min.	- 5.41, 5.62, 5.86, 6.43 - 7.14, 7.20, 7.29, 7.54 - 8.17, 9.28, 9.45, 9.85 - 9.97, 9.18, 9.29, 9.40 - 9.76, 9.84, 9.87, 9.93	-	-	Este tipo de biocarbón mostro una mayor absorción de CO ₂ en la temperatura de 500°C y el tiempo de retención de 240min., a diferencia de la temperatura de 300°C que presento menor captación y tuvo un pH acido.
3	Ding and Liu (2020)	China	Algas marinas (sargazo y la enteromorfa)	Proporción 1 a 4	- 400 °C - 600 °C - 800 °C	2 h	7 pH	- 0.03, 0.06 cm³ - 0.17, 0.09 cm³ - 0.24, 0.13, 0.03,0.03,0.16, 0.13, 0.07, 0.04 cm³	- 5.8, 12.0 m ² / g - 220.0, 30.6 m ² / g - 291.8, 22.8, 7.1, 26.2, 6 0.2, 16.4, 11.2 m ² / g	Las propiedades de las algas marinas convertidas a biocarbón mejoraron con la activación de KOH a una temperatura de 800°C, presentando una capacidad máxima de absorción de CO ₂ .
4	Han, et al. (2019)	China	Bagazo de caña de azúcar	tamaño de 0,6-0,8 mm en proporción con urea de 5, 10, 15, 20 y 25%	600 °C	0.5 h	7 pH	0,574 cm³	1113 m ² / g	Los resultados llevaron a la conclusión de que los microporos estrechos y el contenido de N en el adsorbente se consideraban importantes para la adsorción de CO ₂ .
5	Xu, et al. (2019)	China	el bagazo (BG) y las astillas de nogal	1.81 gr.	- 450 °C - 600 °C	2 h	6.53 pH	- 0.415 cm³ - 3.56 cm³	- 304 a 342 m ² / g - 401 a 430 m ² / g	Los biocarbones dopados con nitrógeno presentan mayor retención de CO ₂ , alcanzando 40.3 y 48.2 mg en sus temperaturas, a diferencia de los biocarbones sin dopaje.

6	Mukherjee, et al. (2021)	Canada	Posos de café gastados	Tamaño de 522 μm en una proporción de 5% en peso	- 400 ° C - 500 ° C - 600 ° C	1 h	- 6.8 - 7.6 - 8.2	- 0.13 cm^3 - 0.24 cm^3 - 0.32 cm^3	179 m^2/g 311 m^2/g 539 m^2/g	Se observó que el aumento de la velocidad de calentamiento del biocarbón afecta a la porosidad y volumen, en cambio el aumento de temperatura mejora el área de la superficie, por lo que en la temperatura de 600°C presento la absorción de CO_2 de 123.2 g.
7	Igalavithana, et al. (2020)	Corea	Aserrín de pino y lodo de fábrica de papel	Tamaño <2 mm en 1,2 g	- 300 y 600 ° C - 550 ° C	2 h	-	- 0.11 cm^3 - 0.17 cm^3 - 0.17 cm^3	53.83 m^2/g 86.43 m^2/g 15.59 m^2/g	El biocarbón de aserrín de pino mostró una superficie y microporosidad elevada, debido a su alta temperatura que le facilito desarrollar más microporos, por lo que su capacidad de absorción de CO_2 fue mayor que los demás biocarbones.
8	Boujibar, et al. (2018)	Morocco	Cáscaras de frutas de argán	Tamaño de 1 y 3 mm en 50gr.	700 ° C	1 h	7 pH	1,04 cm^3	2251 m^2/g	Se evidenció que el biocarbón activado con el agente KOH genera una alta superficie específica, los cuales se derivan de microporos, además presenta una capacidad de absorción de CO_2 de 246.4 g.
9	Serafin, et al. (2017)	Poland	Hojas de helecho, Cáscaras de granada, Cáscaras de zanahoria	Tamaño de 1-3 mm	700 ° C	1 h	7 pH	0.28 - 0.80 cm^3	585 - 1593 m^2/g	El biocarbón derivado de la cascara de granada presentó mayor absorción de dióxido de carbono de 265.32 g con la activación de KOH
10	Li, et al. (2017)	China	Cáscara de Piña	1.30 gr	500°C	2 h	6.5 pH	0.70 cm^3	3931 m^2/g	Este tipo de biocarbón presenta una capacidad de absorción de 335.72 g. y 103.4 g., debido al tamaño de los microporos que posee el biocarbón.
11	Choi, et al. (2019)	Corea	Granos de polen	Tamaño 75 μm de 1g	800 ° C	4 h	7 pH	0,63 cm^3	1460 m^2/g	Las propiedades de textura del biocarbón tuvieron una mejora al ser activado con una mayor cantidad de KOH, además mostró una absorción de CO_2 de 150.48 g.
12	Promraksa and Nirattisai (2020)	Tailandia	-Cáscaras de palmis -Racimos de frutos palma vacíos -Fibras de palma de aceite	20 g	500°C	60 min	-	-	- 389,02 m^2/g - 36,1136 m^2/g - 18,2876 m^2/g	El biocarbón de cáscara de palmiste proporciona un mayor rendimiento y área de superficie más alta, asimismo es ideal para absorber altas cantidades de CO_2 de 20.24 g.

Fuente: Autoría Propia

De acuerdo al tercer objetivo específico es conocer las propiedades fisicoquímicas del biocarbón para la disminución de emisiones de dióxido de carbono en el suelo, los cuales se identificará los factores que potencializaran la mejora en la absorción de CO₂ respecto al tipo de biocarbón que se esté utilizando.

GRÁFICO N°4



Fuente: Autoría Propia

En el trabajo de investigación de Han [et. al] (2019), utilizaron como materia prima el bagazo de caña de azúcar para su conversión a biocarbón a una temperatura de 600°C con un pH neutro, asimismo nos demuestra que la activación física con KOH mejora las propiedades del biocarbón presentando una mayor área de superficie y porosidad, teniendo como resultado la absorción máxima de CO₂ y mejorando la calidad de los suelos. Del mismo modo, Serafín [et. al] (2017), utilizó hojas de helecho, cáscaras de granada y cáscaras de zanahoria para su posterior conversión, el proceso de pirólisis fue de 700°C, de los cuales tuvo como resultado que la cáscara de granada presentaba una alta área de superficie específica con la activación de KOH, que generó mayores cantidades de microporos, el cual permitió que su capacidad de absorción de CO₂ fuera elevado. Por otro lado, Mukherjee [et

all] (2021) uso como biocarbón a los posos de café gastados para evaluar sus propiedades, su proceso de pirólisis estuvo expuesta a 400°C, 500°C y 600°C en el que obtuvo como resultado que en la temperatura de 600°C presentaba una mayor área de superficie, además que el aumento de la velocidad de calentamiento del biocarbón genera que la porosidad y volumen sean mayores, conllevando retener el contenido de dióxido de carbono en los suelos agrícolas. En cambio Xu [et al] (2019), tuvo como resultado que en el biocarbón de bagazo y la astilla de nogal producido a una temperatura de 450°C y 600°C respectivamente, mostraron mayor capacidad de absorción de CO₂ al ser dopado con N presentando en la astilla de nogal entre un 31,6% y un 55,2% y en el bagazo de 3.66 a 16.2, con ello se puede evidenciar que la astilla de nogal puede capturar mayor contenido de CO₂, a diferencia del biocarbón sin dopaje de N.

V. CONCLUSIONES

- Se concluye que el uso de biocarbón a largo plazo es sostenible, ya que se puede utilizar variedades de materia prima, las cuales se identificaron aquellos residuos más utilizados y eficientes como la palmera datilera, cáscara de arroz, residuos de biomasa de hojas, residuo de almazara, cáscara de coco, posos de café, cáscara de granada, bagazo de caña de azúcar, ya que presentan factores que favorecen su eficacia de absorción que permitirá reducir las emisiones de CO₂ en los suelos agrícolas, del mismo modo disminuir la acumulación de estos residuos y también servirá como enmienda para el cultivo.
- Se concluye que los métodos utilizados para la producción del biocarbón, siendo los más eficientes, tales como la pirólisis térmica de carbonización, utilizando la materia prima de la cáscara de arroz, con una temperatura de 600°C, obteniendo una absorción máxima de 2,77g de CO₂. Del mismo modo se utilizó la palmera datilera con el mismo método, obteniendo una absorción de 0,017g de CO₂. Por otro lado el método de torrefacción se utilizó residuo de biomasa, con una temperatura de 200 °C y 350°C en el proceso de pirólisis, obteniendo el resultado de 0,014g de CO₂ y en el método de carbonización hidrotermal se utilizó el residuo de almazara, presentando en la pirólisis una temperatura de 350 °C, con una absorción de 0,09 g CO₂. El método más eficiente resultó ser la pirólisis de carbonización utilizando la cáscara de arroz, debido a que su temperatura fue elevada y el tiempo de carbonización, el cual favoreció a que los poros sean más grandes y de esa manera captura el CO₂.
- Se concluye que para conocer el rendimiento de cada una de las materias primas se consideraron los siguientes criterios que son cantidad de biocarbón, temperatura, duración de pirólisis, velocidad de calentamiento y la modificación del biocarbón, obteniendo en la palmera datilera que se utilizó 181,38g, temperatura de 500°C durante 5h y con una velocidad de calentamiento de 10°C / min; en la cáscara de coco se usó 450 g, con temperatura de 800 °C durante 1h y velocidad

de 10°C/min, fue modificado con el agente Aminas; en los posos de café se utilizó 168,65 g, temperatura de 600 °C durante 2h con una velocidad de 7 °C / min y fue modificado con el agente KOH, de esa manera se identificó que los posos de café son más eficientes presentando una absorción de 117.48g de CO₂

- Se identificaron las propiedades fisicoquímicas del biocarbón como son la temperatura, pH, porosidad y área de la superficie, de acuerdo a los estudios que se realizaron con diferentes tipos de residuos orgánicos, los cuales se obtuvieron los siguientes valores, considerando a la cáscara de granada modificado con KOH con una temperatura de 700°C, pH 7, 0.80 cm³ porosidad, 1593 m²/g área; bagazo de caña de azúcar con 600°C, pH 7, 0,574 cm³ porosidad, 1113 m²/g área; posos de café gastados con 600°C, pH 8.2, 0.32 cm³ porosidad y presentando una área de superficie de 539 m²/g, conllevando a que la cáscara de granada modificado con KOH presenta a una mayor área de la superficie con una absorción de 265.32 g CO₂, por lo que es adecuado para disminuir estas emisiones y mejorar la calidad en los cultivos.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los estudiantes realizar investigaciones cuantitativas con biocarbón modificadas, ya que son más efectivas para disminuir las emisiones de CO₂ en los suelos agrícolas.
- Para las futuras investigaciones se recomienda usar el método de pirólisis de carbonización térmica para la producción del biocarbón, ya que en estudios anteriores realizados muestran resultados más eficientes para la absorción del CO₂, asimismo se deberá de tomar en cuenta las propiedades que presenta cada materia prima, debido a que ello influirá en el rendimiento para la absorción del dióxido de carbono, asimismo al usar esta técnica no presentara ningún impacto hacia el medio ambiente, ya que son renovables y sostenibles, por lo que es adecuado utilizar esta técnica para disminuir las emisiones de CO₂ en los suelos y la acumulación de residuos orgánicos.
- Realizar estudios de la aplicación del biocarbón modificado con hidróxido de potasio a escala de campo a temperatura mayor de 700 °C, asimismo deberían centrarse en el desarrollo de nuevas tecnologías y compuestos de biocarbón de nanopartículas a base de carbono para mejorar la capacidad de absorción del dióxido de carbono.

REFERENCIAS

1. ARIAS, J. Técnicas e instrumentos de investigación científica. Enfoques Consulting EIRL, 1ed. 2020.
ISBN: 9786124844409

Disponible en: <http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2238>

2. AQUIJE, C. Optimización de la agricultura sostenible mediante el uso del biocarbón en el Perú. Universidad Científica del Sur, 2019. 36pp.

Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1372>

3. ASHIQ, W. et al. Biochar amendment mitigates greenhouse gases emission and global warming potential in dairy manure based silage corn in boreal climate. Environmental Pollution, 2020, vol. 265, 186p.

ISSN: 0269-7491

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749120302694>

4. BARSKOV, S., et al. Torrefaction of biomass: A review of production methods for biocoal from cultured and waste lignocellulosic feedstocks. Renewable Energy, 2019, vol. 142, 624-642 p.

ISSN: 0960-1481

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811930552X#bib2>

5. BRITO, G., et al. One-step methodology for preparing physically activated biocarbons from agricultural biomass waste. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2019, vol. 7, no 3, 131p.

ISSN: 2213-3437

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343719302362>

6. BOUJIBAR, O., et al. CO₂ capture using N-containing nanoporous activated carbon obtained from argan fruit shells. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2018, vol. 6, no 2, 1995-2002p.

ISSN: 1995-2002

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221334371830126X>

7. CYPRESS, B. Rigor o confiabilidad y validez en la investigación cualitativa: perspectivas, estrategias, reconceptualización y recomendaciones. *Dimensiones de la enfermería en cuidados críticos*, Colombia. Universidad del Valle Colombia 2017, vol. 36, no 4, 253-263 p.

ISSN: 0120-8322

8. CREAMER, A.; GAO, B.; WANG, Shengsen. Carbon dioxide capture using various metal oxyhydroxide–biochar composites. *Chemical Engineering Journal*, 2016, vol. 283, 826-832p.

ISSN: 1385-8947

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894715011183?via%3>

Dihub

9. COSMOS. 2018. Abono orgánico que dura toda la vida. *Cosmos Industries*

10. DOMINCHIN, M., et al. Impact of N-fertilization and peanut shell biochar on soil microbial community structure and enzyme activities in a Typic Haplustoll under different management practices. *European Journal of Soil Biology*, 2021, vol. 104, 103p.

ISSN: 1164-5563

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556321000224>

11. CHOI, S., et al. Pollen-derived porous carbon by KOH activation: Effect of physicochemical structure on CO₂ adsorption. Journal of CO₂ Utilization, 2019, vol. 29, 146-155p.

ISSN: 2212-9820

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221298201830670X?via%3Dihub>

12. DENG, B., et al. Feedstock particle size and pyrolysis temperature regulate effects of biochar on soil nitrous oxide and carbon dioxide emissions. Waste Management, 2021, vol. 120, p. 33-40.

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X20306310>

13. DING, S.; LIU, Y. Adsorption of CO₂ from flue gas by novel seaweed-based KOH-activated porous biochars. Fuel, 2020, vol. 260, 116p.

ISSN: 0016-2361

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236119317363>

14. ESCUDERO, C.; CORTEZ, L. Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica. Universidad técnica de Machala, Ecuador. 1ed. 2018, 106pp.

ISBN: 9789942240927

Disponible en:
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12501/1/Tecnicas-y-MetodoscualitativosParaInvestigacionCientifica.pdf>

15. GASCÓ, G., et al. Influence of pig manure and its biochar on soil CO₂ emissions and soil enzymes. Ecological Engineering, 2017, vol. 95, 19-24p.

ISSN: 0925-8574

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84976869523&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls7118126950ca917217ab503cf60&sot=b&sdt=b&sl=57&s=TITLE-ABS-KEY%28biochar+to+reduce+carbon+dioxide+emissions%29&relpos=86&citeCnt=52&searchTerm=>

16. GUTIÉRREZ, G.; LIRA, R. Elaboración de biocarbón para el aprovechamiento de residuos proveniente de las podas de bambú (*Guadua angustifolia*). Revista Mexicana de Agroecosistemas. 2020, vol. 7, 1-9p.

ISSN: 2007-9559

Disponible en:

https://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/docs/RMAE%20vol%207_1_2020/1-RMAE_2019-15-Biocarbon-To%20edit.pdf

17. GUTIÉRREZ, G., et al. Biocarbón de bambú como mejorador de la fertilidad del suelo en caña de azúcar. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 2021, vol. 12, no 65. [citado 1 de julio .2021]

ISSN: 2448-6671

Disponible en:

<http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/780>

18. GONZÁLEZ, B.; MANYÀ, J. Activated olive mill waste-based hydrochars as selective adsorbents for CO₂ capture under postcombustion conditions. Chemical Engineering and Processing-Process Intensification, 2020, vol. 149, 107p.

ISSN: 0255-2701

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0255270119311742>

19. HU, J., et al. Utilization of the saccharification residue of rice straw in the preparation of biochar is a novel strategy for reducing CO₂ emissions. Science of The Total Environment, 2019, vol. 650, 114-1148p.

ISSN: 0048-9697

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718335411>

20. HUANG, Y., et al. Microwave pyrolysis of rice straw to produce biochar as an adsorbent for CO₂ capture. *Energy*, 2017, vol. 84, 75-82p.

ISSN: 0360-5442

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544215001814?via%3>

Dihub

21. HUANG, G., et al. Activated carbons prepared by the KOH activation of a hydrochar from garlic peel and their CO₂ adsorption performance. *New Carbon Materials*, 2019, vol. 34, no 3, p. 247-257.

ISSN: 1872-5805

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1872580519600144>

22. HUERTA, A. Influencia del biocarbón elaborado con residuos sólidos orgánicos sobre la calidad y producción del cultivo de la papa en el centro experimental ecológico de Tuyu Ruri, noviembre 2018 a abril 2019. 2020.

Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4085>

23. HUANG, Y; CHIUEH, P.; LO, S. CO₂ adsorption on biochar from co-torrefaction of sewage sludge and leucaena wood using microwave heating. *Energy Procedia*, 2019, vol. 158, 444-450p.

ISSN: 1876-6102

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219308100>

24. HAN, J., et al. The N-doped activated carbon derived from sugarcane bagasse for CO₂ adsorption. *Industrial Crops and Products*, 2019, vol. 128, p. 290-297.

ISSN: 0926-6690

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669018310033>

25. IGALAVITHANA, A., et al. Carbon dioxide capture in biochar produced from pine sawdust and paper mill sludge: Effect of porous structure and surface chemistry. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 739, 139 p.

ISSN: 0048-9697

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720333659>

26. ISMAIL, I., et al. Oxygen functionalized porous activated biocarbons with high surface area derived from grape marc for enhanced capture of CO₂ at elevated-pressure. *Carbon*, 2020, vol. 160, p. 113-124.

ISSN: 0008-6223

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008622320300087>

27. KANG, S., et al. Effect of barley straw biochar application on greenhouse gas emissions from upland soil for Chinese cabbage cultivation in short-term laboratory experiments. *Journal of Mountain Science*, 2017, vol. 13, no 4, 693-702p.

Disponibile en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84962418089&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=f90ba7118126950ca917217ab503cf60&sot=b&sdt=b&sl=57&s=TITLE-ABSKEY%28biochar+to+reduce+carbon+dioxide+emissions%29&relpos=91&citeCnt=8&searchTerm=>

28. KWOCZYNSKI, Z.; ČMELÍK, J. Characterization of biomass wastes and its possibility of agriculture utilization due to biochar production by torrefaction process. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 280, 124p.

ISSN: 0959-6526

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262034347X>

29. LÉVESQUE, V., et al. Mitigation of CO₂, CH₄ and N₂O from a fertigated horticultural growing medium amended with biochars and a compost. *Applied Soil Ecology*, 2018, vol. 126, 129-139p.

ISSN: 0929-1393

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139317313276#t0005>

30. LAI, W., et al. The effects of woodchip biochar application on crop yield, carbon sequestration and greenhouse gas emissions from soils planted with rice or leaf beet. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2013, vol. 44, no 6, 1039-1044p.

ISSN: 1876-1070

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876107013001740>

31. LUO, L., et al. Heteroatom self-doped activated biocarbons from fir bark and their excellent performance for carbon dioxide adsorption. *Journal of CO₂ Utilization*, 2018, vol. 25, 89-98p.

ISSN: 2212-9820

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212982017308351>

32. LIU, S.; HUANG, Y. Valorization of coffee grounds to biochar-derived adsorbents for CO₂ adsorption. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 175, 354-360p.

ISSN: 0959-6526

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617330111>

33. LI, K., et al. Pine cone shell-based activated carbon used for CO₂ adsorption. *Journal of Materials Chemistry A*, 2016, vol. 4, no 14, 523-524p.

Disponible en:
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/TA/C5TA09908K#!divRelatedContent&articles>

34. MONA, S., et al. Towards sustainable agriculture with carbon sequestration, and greenhouse gas mitigation using algal biochar. *Chemosphere*, 2021, 129 p.

ISSN: 0045-6535

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521003258>

35. MINAGRI. Reducción de la degradación de los suelos agrarios. Ministerio de Agricultura y Riego, Perú, 2017.

Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12542/251>

36. MEMICI, M.; EKINCI, K. Pyrolysis of tomato harvest waste as a function of temperature and duration: Characteristics, production energy, and carbon dioxide emission in field conditions. *Soil and Tillage Research*, 2020, vol. 202, 146p.

ISSN: 0167-1987

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198720304347>

37. MUKHERJEE, A., et al. Carbon dioxide capture from flue gas in biochar produced from spent coffee grounds: Effect of surface chemistry and porous structure. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 5, 106p.

ISSN: 2213-3437

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343721010265#tbl0015>

38. NAMOI, N., et al. Earthworms regulate ability of biochar to mitigate CO₂ and N₂O emissions from a tropical soil. *Applied Soil Ecology*, 2019, vol. 140, 57-67p.

ISSN: 0929-1393

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139318311387>

39. PRANAGAL, J., et al. Effect of biochar application on the physical properties of Haplic Podzol. *Soil and Tillage Research*, 2017, vol. 174, 92-103p.

ISSN: 0167-1987

Disponibile

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198717301265>

40. PROMRAKSA, A.; RAKMAK, N. Biochar production from palm oil mill residues and application of the biochar to adsorb carbon dioxide. *Heliyon*, 2020, vol. 6, no 5, 419p.

ISSN: 2405-8440

Disponibile

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240584402030863X>

41. POKHAREL, P.; CHANG, S.. Manure pellet, woodchip and their biochars differently affect wheat yield and carbon dioxide emission from bulk and rhizosphere soils. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 659, p. 463-472.

ISSN: 0048-9697

Disponibile

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718352744>

42. QI, L., et al. Biochar application increased methane emission, soil carbon storage and net ecosystem carbon budget in a 2-year vegetable–rice rotation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020, vol. 292, 106p.

ISSN: 0167-8809

Disponibile

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880920300165>

43. QUEREJETA, N.; RUBIERA, F.; PEVIDA, C. Enhanced capacity to CO₂ sorption in humid conditions with a K-doped biocarbon. *Journal of Energy Chemistry*, 2019, vol. 34, 208-219 p.

ISSN: 2095-4956

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095495618306466>

44. REHMAN, A., et al. Towards environmental Sustainability: Devolving the influence of carbon dioxide emission to population growth, climate change, Forestry, livestock and crops production in Pakistan. *Ecological Indicators*, 2021, vol. 125, 107p.

ISSN:1470-160X

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21001254>

45. SEMIDA, W., et al. Biochar implications for sustainable agriculture and environment: A review. *South African Journal of Botany*, 2019, vol. 127, 333-347p.

ISSN: 0254-6299

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629919300602>

46. SISALIMA, P. Efectos de biocarbón en un cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) obtenido a partir de su cáscara. Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador 2020.

Disponibile en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15557>

47. SINGH, G., et al. Biomass derived porous carbon for CO₂ capture. *Carbon*, 2019, vol. 148, 164-186p.

ISSN 0008-6223

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000862231930274X>

48. SIAL, T., et al. Contrasting effects of banana peels waste and its biochar on greenhouse gas emissions and soil biochemical properties. *Process Safety and Environmental Protection*, 2019, vol. 122, 366-377p.

ISSN: 0957-582

Disponibile en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85059467615&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s=a1606f3423> [f0cbd305-](#)

[ddb5f20cd0e77c&sot=b&sdt=b&sl=58&s=TITLE-ABS-KEY%28biochar+to+reduce+carbon+dioxide+emissions.%29&relpos=40&citeCnt=28&searchTerm=](#)

49. SÁNCHEZ, H.; REYES, C.; MEJÍA, K. Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística. Lima: Universidad Ricardo Palma Departamento de Investigación, 2018.

ISBN: 9786124735141

Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1480>

50. SALEM, I., et al. Date palm waste pyrolysis into biochar for carbon dioxide adsorption. Energy Reports, 2021, vol. 7, 152-159p.

ISSN: 2352-4847

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721003905#fig1>

51. SÁEZ, J. Investigación Educativa. Fundamentos teóricos, procesos y elementos prácticos (Enfoque práctico con ejemplos. Esencial para TFG, TFM y TESIS). Madrid, 1 ed.UNED, 2017. 173 p.

ISBN: 9788436272208

Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=c3CZDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=investigacion+aplicada+tesis&ots=hJPfKfEWQx&sig=92XFPmjHL2IsW8J84B8FAYmn59M#v=onepage&q&f=false>

52. SERAFIN, J., et al. Highly microporous activated carbons from biomass for CO₂ capture and effective micropores at different conditions. Journal of CO₂ Utilization, 2017, vol. 18, 73-79p.

ISSN: 2212-9820

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221298201630453X>

53. SALEM, I., et al. Utilization of the UAE date palm leaf biochar in carbon dioxide capture and sequestration processes. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 299, p. 164.

ISSN: 0301-4797

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721017060>

54. WANG, H., et al. Research and application of biochar in soil CO₂ emission, fertility, and microorganisms: A sustainable solution to solve China's agricultural straw burning problem. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no 5, 192p.

ISSN: 2071-1050

Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/5/1922>

55. WANG, L., et al. Impact of torrefaction on woody biomass properties. *Energy Procedia*, 2017, vol. 105, 149-154p.

ISSN: 1876-6102

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217305271>

56. WALKIEWICZ, A., et al. Usage of biochar for mitigation of CO₂ emission and enhancement of CH₄ consumption in forest and orchard Haplic Luvisol (Siltic) soils. *Applied Soil Ecology*, 2020, vol. 156, 120p.

ISSN: 0929-1393

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139320306405>

57. XU, L., et al. Biochar application increased ecosystem carbon sequestration capacity in a Moso bamboo forest. *Forest Ecology and Management*, 2020, vol. 475, 118p.

ISSN: 0378-1127

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112720312160>

58. XU, X., et al. N-doped biochar synthesized by a facile ball-milling method for enhanced sorption of CO₂ and reactive red. Chemical Engineering Journal, 2019, vol. 368, 564-572p.

ISSN: 1385-8947

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894719304139>

59. YUE, Y., et al. Slow pyrolysis as a measure for rapidly treating cow manure and the biochar characteristics. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2017, vol. 124, 355-361p.

ISSN: 0165-2370

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237016304697>

60. ZHANG, Q., et al. Mitigation of carbon dioxide by accelerated sequestration from long-term biochar amended paddy soil. Soil and Tillage Research, 2021, vol. 209, 104p.

ISSN: 0167-1987

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198721000258>

ANEXOS

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE RECOLECCION DE DATOS	ANEXO 1
---	-------------------------------	---------

Fecha:	
--------	--

TITULO:		
REVISTA :		
TIPO DE INVESTIGACION :		
AÑO DE REVISTA :		
LUGAR DE PUBLICACION :		
FUENTE :	ISSN:	VOL:
AUTORES :		
PALABRAS CLAVES :		
RESULTADOS :		
CONCLUSION :		