



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

Producción de biochar de residuos lignocelulósicos y su efecto en  
las propiedades y uso en suelos degradados

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Guevara Salinas, Ghina Mirella ([orcid.org/0000-0002-6561-5001](https://orcid.org/0000-0002-6561-5001))

Odar Ruiz, Moises ([orcid.org/0000-0002-7059-3011](https://orcid.org/0000-0002-7059-3011))

**ASESOR:**

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo ([orcid.org/0000-0001-9146-7615](https://orcid.org/0000-0001-9146-7615))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenibles y adaptación al cambio climático

**TRUJILLO – PERÚ**

**2023**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por su amor incondicional, por brindarnos su guía y fortaleza en cada instante de nuestra vida.

A nuestros padres, por ser la mayor fortaleza para seguir adelante ya que ellos fueron quienes estuvieron día a día brindándonos su apoyo incondicional y por brindarnos enseñanzas para ser personas más responsables con valores, quienes nunca nos abandonaron y siempre nos dieron ánimos para cumplir todos nuestros objetivos.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestra familia por apoyarnos en cada decisión y proyecto, ya que nos motivaron en nuestro aprendizaje académico, creyendo en nuestras habilidades en todo momento

A nuestros docentes, a quienes les agradecemos por brindarnos gran parte de nuestros aprendizajes, finalmente un gran agradecimiento a la Universidad César Vallejo por brindarnos y ofrecernos a todos los jóvenes como nosotros una enseñanza de calidad, preparándonos para tener un futuro prometedor y competitivo.

A nuestros amigos, por todas las experiencias y por siempre darnos una mano cuando lo necesitamos.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, CRUZ MONZON JOSE ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Producción de Biochar de residuos lignocelulósicos y su efecto en las propiedades y uso en suelos degradados", cuyos autores son ODAR RUIZ MOISES, GUEVARA SALINAS GHINA MIRELLA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 12.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 27 de Junio del 2023

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
CRUZ MONZON JOSE ALFREDO <b>DNI:</b> 18887838 <b>ORCID:</b> 0000-0001-9146-7615	Firmado electrónicamente por: JACRUZM el 04-07- 2023 22:48:04

Código documento Trilce: TRI - 0555813



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

### **Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, ODAR RUIZ MOISES, GUEVARA SALINAS GHINA MIRELLA estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Producción de Biochar de residuos lignocelulósicos y su efecto en las propiedades y uso en suelos degradados", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
GHINA MIRELLA GUEVARA SALINAS <b>DNI:</b> 73059783 <b>ORCID:</b> 0000-0002-6561-5001	Firmado electrónicamente por: GGUEVARASA16 el 27-06-2023 20:02:18
MOISES ODAR RUIZ <b>DNI:</b> 75502801 <b>ORCID:</b> 0000-0002-7059-3011	Firmado electrónicamente por: MODARR el 27-06-2023 19:58:23

Código documento Trilce: TRI - 0555814

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR.....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS.....	ix
ABSTRACT.....	xii
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>10</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	10
3.2. Variables y operacionalización.....	10
3.3. Población, muestra y muestreo.....	11
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	11
3.5. Procedimiento .....	11
3.6. Método de análisis de datos.....	15
3.7. Aspectos éticos .....	16
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>17</b>
<b>V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>32</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>47</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Tratamiento con el residuo de yuca.</i>	13
Tabla 2.	<i>Tratamiento con residuo de trigo.</i>	13
Tabla 3.	<i>Evaluación de las características del biochar a base de cascara de yuca y paja de trigo.</i>	17
Tabla 4.	<i>Promedio del contenido de Lignina en el Biochar. Test: LSD Fisher.</i>	18
Tabla 5.	<i>Promedio del contenido de Ceniza en el Biochar. Test: LSD Fisher.</i>	18
Tabla 6.	<i>Promedios de la relación Carbono/Nitrógeno en el Biochar. Test: LSD Fisher.</i>	19
Tabla 7.	<i>Promedio del contenido de Humedad en el Biochar. Test: LSD Fisher.</i>	20
Tabla 8.	<i>Evaluación de las propiedades del suelo aplicado con biochar (Cáscara de yuca).</i>	20
Tabla 9.	<i>Evaluación de las propiedades del suelo aplicado con biochar (Paja de Trigo).</i>	22
Tabla 10.	<i>Evaluación de las propiedades del suelo aplicado con biochar. Test: LSD Fisher.</i>	23
Tabla 11.	<i>Promedio del contenido de pH en el Biochar. Test: LSD Fisher.</i>	24
Tabla 12.	<i>Promedio del contenido de Conductividad eléctrica en el Biochar. Test: LSD Fisher.</i>	24
Tabla 13.	<i>Promedio del contenido de Materia orgánica en el Biochar. Test: LSD Fisher.</i>	25
Tabla 14.	<i>Promedio del contenido de Humedad en el Biochar. Test: LSD Fisher.</i>	25
Tabla 15.	<i>Cantidad (%) de nitrógeno en el suelo aplicado con biochar de cáscara de yuca (800°C).</i>	26
Tabla 16.	<i>Cantidad (%) de nitrógeno en el suelo aplicado con biochar de paja de trigo (900°C).</i>	27
Tabla 17.	<i>Promedio de altura de la Lactuca Sativa en Biochar. Test: LSD Fisher.</i>	29
Tabla 18.	<i>Promedio del número de hojas de la Lactuca Sativa en Biochar. Test: LSD Fisher.</i>	30

Tabla 19.	<i>Promedio de la longitud de la Lactuca Sativa en Biochar. Test: LSD Fisher.</i>	30
Tabla 20.	<i>Promedio del número de plantas por recipiente en Biochar. Test: LSD Fisher.</i>	31
Tabla 21.	<i>Matriz de operacionalización de las variables de investigación.</i>	47
Tabla 22.	<i>Ficha de recolección de datos de la Lactuca sativa</i>	50
Tabla 23.	<i>Ficha de medición de los parámetros de las propiedades del suelo</i>	51
Tabla 24.	<i>Ficha de medición de los parámetros del Biochar</i>	51
Tabla 25.	<i>Medición de las características de la Lactuca Sativa en Biochar (Cáscara de yuca)</i>	67
Tabla 26.	<i>Medición de las características de la Lactuca Sativa en Biochar (Paja de trigo)</i>	68



## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1.	<i>Obtención del Biochar</i>	13
Figura 2.	<i>Evaluación de las características del biochar a base de cáscara de yuca y paja de trigo</i>	17
Figura 3.	<i>Evaluación de las propiedades del suelo aplicado con biochar (Cáscara de yuca)</i>	21
Figura 4.	<i>Evaluación de las propiedades del suelo aplicado con biochar (Paja de Trigo)</i>	23
Figura 5.	<i>Cantidad (%) de nitrógeno en el suelo aplicado con biochar de cáscara de yuca (800°C)</i>	27
Figura 6.	<i>Cantidad (%) de nitrógeno en el suelo aplicado con biochar de paja de trigo (900°C)</i>	28
Figura 7.	<i>Ficha 1 de validación de recolección de datos</i>	52
Figura 8.	<i>Ficha 2 de validación de recolección de datos</i>	53
Figura 9.	<i>Ficha 3 de validación de recolección de datos</i>	54
Figura 10.	<i>Lugar de toma de muestra del suelo</i>	55
Figura 11.	<i>Análisis de los parámetros del suelo</i>	56
Figura 12.	<i>Incineración de los residuos de cascara de yuca y paja de trigo</i>	57
Figura 13.	<i>Aplicación del biochar en el suelo</i>	58
Figura 14.	<i>Sembrado de la lechuga</i>	58
Figura 15.	<i>Crecimiento de la lechuga en suelo aplicado con biochar de cáscara de yuca de 800°C y dosis de 20 g</i>	59
Figura 16.	<i>Crecimiento de la lechuga en suelo aplicado con biochar de cáscara de yuca de 800°C y dosis de 30 g</i>	59
Figura 17.	<i>Crecimiento de la lechuga en suelo aplicado con biochar de cáscara de yuca de 800°C y dosis de 40 g</i>	60
Figura 18.	<i>Crecimiento de la lechuga en suelo aplicado con biochar de paja de trigo de 900°C y dosis de 40 g</i>	60
Figura 19.	<i>Crecimiento de la lechuga en suelo aplicado con biochar de paja de trigo de 900°C y dosis de 50 g</i>	61
Figura 20.	<i>Crecimiento de la lechuga en suelo aplicado con biochar de paja de trigo de 900°C y dosis de 60 g</i>	61

Figura 21.	<i>Medición de Materia orgánica</i>	62
Figura 22.	<i>Análisis de Nitrógeno</i>	62
Figura 23.	<i>Medición de pH</i>	63
Figura 24.	<i>Medición de conductividad</i>	63
Figura 25.	<i>Medición de humedad</i>	64
Figura 26.	<i>Resultados de Medición de Nitrógeno en el suelo</i>	65
Figura 27.	<i>Medición de los parámetros del suelo con biochar</i>	66

## RESUMEN

La degradación de los suelos es un problema vigente que afecta a millones de agricultores y que ha dado lugar al uso de diversas técnicas de tratamiento de suelos, por lo cual es importante contar con técnicas de recuperación sostenibles. La investigación desarrollada tuvo como propósito investigar el efecto que tiene el uso del biochar obtenidos de residuos lignocelulósicos en las propiedades del suelo, adicionalmente evaluar en la mejora de un cultivo. Fue de investigación básica, de diseño experimental transversal correlacional, que consistió en utilizar residuos de cáscara de yuca y paja de trigo a tres diferentes temperaturas para obtener biochar que fue aplicado en 36 pruebas totales, para finalmente evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo, tanto en prueba experimental como testigo. Los resultados muestran que las mejores temperaturas de pirolisis a las condiciones realizadas y que permitieron mejorar las propiedades del suelo y al mismo tiempo el crecimiento de un cultivo, fueron de 800°C y 900°C y con una dosis de 40 g y 60 g respectivamente. Se concluye que la temperatura y el tipo de residuo lignocelulósico utilizado en la producción del biochar, afectan a las propiedades y a la vez influyen en el desarrollo de un cultivo en suelos degradados.

**Palabras clave:** Suelo degradado, cáscara de yuca, paja de trigo, biochar, pirolisis.

## **ABSTRACT**

Soil degradation is a current problem that affects millions of farmers and has led to the use of various soil treatment techniques, which is why it is important to have sustainable recovery techniques. The purpose of the research developed was to investigate the effect of the use of biochar obtained from lignocellulosic residues on soil properties, additionally to evaluate the improvement of a crop. It was basic research, with a cross-correlational experimental design, which consisted of using cassava husk residues and wheat straw at three different temperatures to obtain biochar that was applied in 36 total tests, to finally evaluate the physical and chemical properties of the soil. both in experimental test and control. The results show that the best pyrolysis temperatures under the conditions carried out and that allowed to improve the properties of the soil and at the same time the growth of a crop, were 800°C and 900°C and with a dose of 40 g and 60 g respectively. . It is concluded that the temperature and the type of lignocellulosic residue used in the production of biochar affect the properties and at the same time influence the development of a crop in degraded soils.

**Keywords:** Degraded soil, cassava husk, wheat straw, biochar, pyrolysis.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se estima que cerca del 40% del suelo de todo el planeta, presenta diversos grados de degradación, lo cual afecta alrededor de 700 millones de personas, ya que la data indica que el 90% de la misma se dedica a actividades agrícolas (ONU, 2022). Las preocupaciones sobre la contaminación y degradación han aumentado en todas las regiones, tanto que la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA-3) aprobó una resolución que pide una acción acelerada para ayudar a prevenir y gestionar la contaminación del suelo, donde están en consenso más de 170 países (Rodríguez, 2018). En Latinoamérica, la degradación del suelo sigue aumentando en los últimos años, afectando el rendimiento de los diferentes cultivos de hortalizas, donde las estadísticas indican que más del 68% del suelo ha sido degradado y está afectando su productividad (Díaz, Varona y Sánchez, 2019).

Para la recuperación de suelos degradados, son muchos los métodos utilizados, entre ellos el Biochar, el cual es generado a partir de cáscara de yuca, trigo, maíz, palta, arroz, entre otros. Sin embargo el rendimiento del Biochar va a depender mucho de diversos factores, como es el método de pirolisis, la temperatura, el tipo de residuos y la dosis aplicadas (Benitez, Pabón y Gallo, 2021), no todos los residuos lignocelulósicos obtienen el mismo resultado, el Biochar obtenido de pepa de palta, bagazo de caña de azúcar, hojas secas, entre otros no aumenta el rendimiento del cultivo así se aplique diversas dosis y se realice en temperaturas diferentes, a diferencia de los residuos que provienen de cereales como cáscara de arroz, maíz, trigo y yuca (Escalante et al., 2019). El método utilizado tiene mucha influencia ya que, si se realiza por pirolisis, la temperatura va a variar las propiedades del Biochar, es por ello que muchos residuos no funcionan en su totalidad como abono (Yilmaz y Ergun, 2019).

El Perú no es ajeno a esta situación, puesto que las principales causas de desertificación o degradación del suelo son el uso de diferentes tipos de agroquímicos o sustancias tóxicas que puedan estar dañando las propiedades; como se evidencia en la costa, la salinización del suelo y los

relaves mineros (Centro Peruano de Estudios Sociales, 2019). Asimismo, en el 2018 el Perú contaba con aproximadamente 2 224 100 hectáreas de tierras degradadas, que corresponden al 17,5% de toda su superficie, ocasionando una disminución en su productividad y afectando económicamente a los agricultores (MINAM, 2020).

Los cultivos que mejores resultados han tenido en la obtención de Biochar son cáscara de yuca, arroz, trigo y maíz; debido a que son residuos que tienen gran concentración de lignina, celulosa y hemicelulosa (Palomo y Luciana, 2020).

Las Pampas de Cherrepe de la Provincia de Chepen, se ha caracterizado, por ser una zona dedicada 100% a los cultivos, sin embargo, el uso excesivo de abonos químicos ha degradado los suelos, hasta bajar el nivel de fertilidad y afectar económicamente a los pobladores, los agricultores por su parte no han aplicado ningún método o solución para recuperar los suelos y mejorar el rendimiento de los cultivos. Frente a esta problemática de la contaminación y deterioro del suelo, se realiza la siguiente pregunta, ¿Cuál es el efecto de la temperatura y dosis diferentes, en la obtención de Biochar y la recuperación de suelos degradados a su vez aplicados al cultivo de lechuga? De modo que, la justificación teórica, implica el logro de conocimiento respecto al manejo de residuos lignocelulósicos, como parte de la búsqueda de soluciones por medio de la investigación, para la recuperación y productividad de los suelos degradados. La justificación práctica, consiste en demostrar la efectividad del Biochar, en la mejora de las propiedades fisicoquímicas de los suelos degradados, para beneficiar a los agricultores de la localidad pampas de cherrepe. La justificación social, va a mejorar la calidad del suelo, lo cual va evitar el uso de productos químicos, que afecten la salud de los agricultores. La justificación metodológica, implica utilizar un procedimiento para la elaboración del Biochar y determinar cuál es su efecto en las propiedades fisicoquímicas del suelo, para poder proponer como un método económico y sustentable a los agricultores.

Es por ello que tiene como objetivo general, evaluar el efecto del tipo de

residuos lignocelulósicos y temperatura de pirólisis en las propiedades y uso de biochar en suelo degradados; asimismo se proponen como objetivos específicos; evaluar el efecto de la temperatura de pirolisis en las propiedades del biochar obtenido de residuos lignocelulósicos de cáscara de yuca y paja de trigo; como segundo objetivo se tiene, evaluar el efecto de las dosis de biochar de cáscara de yuca y paja de trigo, en las propiedades del suelo, como último objetivo se tiene determinar el tipo de residuo, temperatura y dosis de Biochar que mejora el cultivo de la *Lactuca sativa* en suelos degradados.

## II. MARCO TEÓRICO

El Biochar está elaborado a base de biomasa agrícola (p. ej. maíz, caña de azúcar, malas hierbas, etc.) puede actuar como enmienda para rehabilitar suelos degradados, especialmente en ausencia de oxígeno a diferentes temperaturas debido al método de pirólisis (Ali et al., 2019). Aunque las propiedades fisicoquímicas del biochar varían significativamente debido a su procesamiento de varios tipos de biomasa diferentes, utilizados en diversas operaciones de pirólisis, estas propiedades también pueden afectar el pH, la conductividad y las propiedades de adsorción superficial del biochar. El tamaño está determinado en gran medida por la composición de la materia prima, por lo general es más pequeña debido a su contracción y desmoralización durante el pirólisis lento (Narayanan & Mom, 2022). Por otro lado, Kumar et al. (2023), menciona que, la calidad del Biochar va a depender siempre del tipo de residuo y la temperatura de pirolisis con el cual este se ha elaborado, teniendo un impacto en las diferentes propiedades fisicoquímicas del suelo, donde será aplicado.

Según Sasmita, Septianda y Elystia (2023), la respiración del suelo contribuye al calentamiento global ya que está liberando emisiones de CO<sub>2</sub> para reducir este impacto se aplicó Biochar a base de cáscaras de palma, ya que este cuenta con potencial que contiene hemicelulosa, celulosa y lignina. Por su parte Wang et al. (2023), menciona que el suelo cuenta con diferentes propiedades las cuales ayudan a mejorar la productividad de los cultivos, sin embargo, a causa de la degradación estas se están perdiendo y por esa razón se está elaborando Biochar para que actúe como un remediador y se recuperen las principales propiedades que lo vuelven apto para algún cultivo.

Por su lado, Wang et al. (2022), indica que el biochar también se puede producir a partir de los principales desechos agrícolas, desechos forestales y biosólidos (lodos de depuradora), pero no todos tienen el mismo rendimiento en la mejora de la calidad del suelo dañado. La falta de pautas específicas para la selección del biochar a diferentes tipos de contaminación del suelo puede reducir la eficiencia de contaminación del tratamiento, en general, el biochar obtenido de residuos de cultivos y



biomasa leñosa, que es la lignina, celulosa y hemicelulosa, es más adecuado para el tratamiento de la contaminación. Según Lataf et al. (2022), el biochar está siendo un método innovador, dentro de las aplicaciones agrícolas, donde tiene que ver la adecuada selección de residuos lignocelulósicos y las condiciones de pirólisis, para aumentar el rendimiento. En este estudio, el biochar se caracteriza por la suma de 16 hidrocarburos aromáticos policíclicos de la EPA de EE. UU. y las propiedades agronómicas del biochar (pH, capacidad de amortiguación de ácidos, estabilidad del biocarbón, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y capacidad de retención de agua) donde se examinaron dieciocho materias primas para la producción de biochar en función de cuatro criterios de selección: contenido de humedad, de cenizas, de carbono fijo y presencia de elementos potencialmente tóxicos.

Según Yuan et al. (2022), el biocarbón (BC) y el ácido pirolínico (PA) han recibido mucha atención ya que mejoran la calidad del suelo. Sin embargo, se han realizado pocos estudios sobre el efecto de la aplicación combinada del biocarbón y ácido pirolínico en la producción de maní en suelos costeros. La aplicación conjunta aumentó significativamente el rendimiento y el contenido de aminoácidos en vainas de maní en comparación con BC o PA solos, estas mejoran las propiedades del suelo (por ejemplo, la capacidad de retención de agua) y los nutrientes altamente disponibles en el suelo (por ejemplo, N, K y P). El biocarbón es un sólido rico en carbono formado a partir de desechos orgánicos mediante pirólisis. La productividad del biocarbón depende del tipo de materia prima y de las condiciones de pirólisis. Se discute la investigación de biocarbón, su uso y producción como fuente de remediación de suelos y bioeconomía (Oni, Oziegbe y Olawole, 2019). Por otro lado, Zixi, Xu, Wuzhi y Yong (2023), mencionan que, el biochar elaborado a base de cascara de maíz, evaluado en un cultivo de maní, ha tenido mayor eficiencia en la recuperación de algunos parámetros del suelo, como es la concentración de nitrógeno a 16.18%, así mismo se aumentó el contenido de oxígeno a 7,6% durante todo su experimento.

Según Mohoma et al. (2022), la influencia de las temperaturas en la producción del Biochar cumple un rol muy importante ya que esto definirá su

capacidad, para ello incineran residuos verdes a 400°C, 600°C y 800°C en esas mismas condiciones de pirólisis. Los resultados variaron dependiendo de la temperatura, siendo la más significativa la temperatura de 800°C teniendo más capacidad para poder remediar diferentes tipos de suelos degradados. Sin embargo, Castrejón et al. (2023), menciona que las temperaturas más óptimas para producir Biochar de residuos de poda olivo son de 400°C y 800°C, lo cual ayuda a mejorar el potencial de nitrógeno en el suelo. La estabilidad del Biochar producido de residuos agrícolas de madera, herbáceas y frutos secos producidos a 500°C, 700°C y 900°C, indicaron que las dos últimas temperaturas son más recomendables ya que según el estudio realizaron por, Peterson et al. (2023) las temperaturas mayores a 700°C, tienen un contenido más alto de carbono orgánico siendo así un potencial más para recuperar los suelos degradados.

Según Yan et al. (2022), menciona que, se obtuvo seis tipos de biocarbon a base de aserrín de madera y cáscara de maní, calcinado a temperaturas de 300°C, 500°C y 700°C, para la recuperación un suelo degradado por el uso excesivo de pesticidas, teniendo mayor efectividad en la temperatura de 500°C, donde la materia orgánica aumento significativamente. Por otro lado, Jining et al. (2022), en su investigación utilizó el fertilizante nitrogenado donde aumentó el rendimiento de la paja entre un 115,4 % y un 190,6. Las temperaturas de pirólisis utilizadas (300°C, 500°C y 700°C) tuvieron cambios significativos en las muestras de biochar derivadas de aserrín de madera. El rendimiento se redujo de 41,4 % en peso a 23,2 %, el tiempo de residencia aumentó de 272 años a 2194 años y el coeficiente residual de Carbono orgánico (permanente) aumentó de 0,65 a 0,93 para las muestras de biocarbón a medida que aumentaba la temperatura. Según Alataf et al. (2022), examinaron dieciocho materias primas para la producción de biocarbón en función de cuatro criterios de selección: contenido de humedad, contenido de cenizas, contenido de carbono fijo y presencia de elementos potencialmente tóxicos. Ocho materias primas (turba gastada, desechos verdes leñosos, corteza de árbol) usando pirólisis lento en un reactor de horno rotatorio a escala piloto, se mostró un aumento significativo en las propiedades del suelo, utilizando la temperatura de 750°C en

comparación con los producidos en el 450–600°C. Asimismo, Ocho materias primas (gastadas turba), desechos verdes leñosos, corteza de árbol, madera de manzano, linaza, posos de café, excrementos de insectos y estiércol de pollo) fueron seleccionados y procesados en 24 biocarbón (a tres temperaturas de pirólisis: 450, 600 y 750 °C). Los resultados mostraron que la materia prima y la temperatura de pirólisis son factores cruciales donde se mostró un aumento de 750 °C en comparación con los producidos en el rango de 450 a 600 °C.

Para Zhou et al. (2021), el biocarbón podría mejorar las propiedades físicas como también químicas del suelo, el cual promueve el crecimiento de los cultivos, se usa ampliamente en la remediación de suelos, especialmente en suelos salinos, debemos tener en cuenta que rara vez se estudia la aplicación de biocarbón ácido en terrenos salinos-alcalinos, un experimento de campo con biocarbón ácido de tallo de maíz (ACSBC) como enmienda del suelo en la llanura Songnen occidental de China. Se añadió ACSBC (0; 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 1, 6 y 15 t ha<sup>-1</sup>) a la capa superficial del suelo para evaluar los efectos combinados sobre el suelo y el rendimiento del sorgo. Durante el período de siembra y cosecha, el contenido de agua del suelo, elementos nutritivos, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica (MO), cationes solubles (K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) aumentó, el contenido de Na<sup>+</sup> mostró una tendencia opuesta. Sin embargo, el pH del suelo disminuyó en promedio 0.3 y 1.0 durante el período de siembra y cosecha respectivamente, la salinidad disminuyó 19.37 % y 18.14 %, el porcentaje de intercambio de sodio (ESP) disminuyó 37.08 % y 37.04 %.

Por su parte Sharma et al. (2022), manifiesta que las cáscaras de frutas, cáscaras, madera y hojas son los materiales de desecho abundantes asociados con la producción de frutas, lo que representa un recurso biológico potencial para ser transformado en materiales valiosos llamados biocarbón. Los cultivos frutales son conocidos principalmente por sus propiedades nutracéuticas. La producción de biocarbón y sus aplicaciones pueden ofrecer un nuevo concepto para enfrentar este desafío. Los beneficios incluyen la productividad y la calidad de la fruta a través de sus efectos positivos en diferentes características de la planta. El papel del biocarbón en la mejora

de las propiedades fisicoquímicas del suelo también se ha descrito a través de la comprensión de los mecanismos de los microbios del suelo y sus interacciones en los huertos frutales.

El biocarbón es un producto industrial elaborado a partir de residuos orgánicos mediante un proceso de pirólisis y se sabe que su aplicación en los sistemas suelo-planta genera varios beneficios. Sin embargo, se debe tener cuidado para seleccionar las dosis apropiadas, en función de los suelos y las condiciones ambientales, el efecto de dosis crecientes de biocarbón (0,5%; 1%; 2,5%; 5% y 10%) sobre algunos parámetros agroquímicos y biológicos del suelo arenoso, en un sistema de cultivo ecológico donde existen pocas oportunidades para retener los nutrientes del suelo, mejorando la actividad biológica (sKocsis, Kotroczo, Kardos y Borbala, 2020). Por su parte, Kemawe et al. (2021), menciona que, la aplicación única de biocarbón como corrección del suelo y su interacción con el compost y el NPK en el rendimiento de diferentes cultivos durante tres temporadas de cultivo. Los tratamientos incluyeron biocarbón aplicado solo o junto con compost, fertilizante inorgánico NPK o ambos. Se sembraron sucesivamente maíz, okra y yuca y se recogieron datos sobre las concentraciones de N, P y K de los brotes, los rendimientos y parámetros seleccionados del suelo (pH, acidez intercambiable, bases intercambiables totales, capacidad de intercambio catiónico efectivo, N total, materia orgánica total).

Para Herman et al. (2019), el Biochar es una herramienta fundamental para contrarrestar el cambio climático, y que mejora el secuestro de carbono en su investigación utilizó 5, 10 y 20 toneladas/ha lo cual trajo como efecto el aumento del pH, y el contenido de nutrientes del suelo. Según Herrmann et al. (2019), los efectos de dosis crecientes de biocarbón en las comunidades microbianas se investigaron en una plantación de árboles de caucho en el noreste de Tailandia, meses después de la aplicación, los efectos de la dosis de biocarbón en el crecimiento y la eco-fisiología de las plantas en un experimento de invernadero que involucró a dos plantas comunes de sucesión temprana, abutilón theophrasti y *Trifolium repens*. Las plantas se cultivaron en suelos templados alterados con dosis crecientes de biocarbón de madera: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 50 t/ha. Se midieron las

características de intercambio de gases a nivel de hoja (Amáximo, gramos, WUE), concentración de clorofila y crecimiento del área foliar durante todo el experimento. (Gale & Sean, 2019).

Para Raj et al. (2018), la retención de agua y nutrientes son una de las causas más comunes de infertilidad del suelo y eso produce una baja productividad de los cultivos, aplicaron seis dosis (5 t/ha, 10 t/ha, 15 t/ha, 25 t/ha y 40 t/ha) de Biochar en un suelo moderadamente ácido con estas dosis que se aplicaron se observó un aumento significativo en los cultivos de maíz y mostaza, ya que evidenció una mejora en el P, K y pH del suelo. Sin embargo, Kubaczynski et al. (2022), menciona que, el Biochar promueve el secuestro de carbono en el suelo siendo una alternativa eficaz para contrarrestar el cambio climático, utilizaron una dosis alta de 30 t/ha lo cual tuvo como resultados positivos el aumento de pH, potencial redox, el contenido de carbono orgánico y carbono orgánico disuelto en el suelo.

### **III.METODOLOGÍA**

#### **3.1.Tipo y diseño de investigación**

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

Fue de tipo básica, porque tuvo como propósito obtención de nuevos conocimientos acerca del manejo de residuos lignocelulósicos de yuca y trigo, para la elaboración de abono (Biochar) y evaluar el efecto en la recuperación de suelos degradados provenientes de las Pampas de Cherrepe, Provincia de Chepén.

##### **3.1.2. Diseño de investigación**

Se aplicó un diseño experimental porque se manipulo las variables independientes y su efecto que tendrán en las variables dependientes

#### **3.2.Variables y operacionalización**

Se consideraron como variables independientes: Tipo de residuos lignocelulósicos, temperatura de la producción de Biochar y las diferentes dosis aplicadas. Asimismo, como variable dependiente: Propiedades del suelo.

Como variables independientes, se tiene el tipo de residuos lignocelulósicos, los cuales son cáscara de yuca y paja de trigo, midiendo las propiedades tanto físicas como químicas, como segunda variable se tiene los 3 niveles de temperatura, para cada tipo de residuo; para la cáscara de yuca se consideró las siguientes temperaturas siguiendo la metodología de Mohoma et al. (2022), 800°C, 850°C y 900°C; en el caso de paja de trigo según la metodología de Petersen et al.(2023), las temperaturas son 900°C, 950°C y 1000° C; como tercer variable dependiente se tiene las dosis que se va a variar en cada temperatura, dependiendo del residuo, para el biochar de cáscara de yuca; según Zhoua et al. (2021), se aplicaron 20 g, 30 g y 40 g; por cada kilo de suelo, y para la paja de trigo; 40 g, 50 g y 60 g (sKocsis, Kotroczo, Kardos y Borbala, 2020) por kilo.

Asimismo, como variable dependiente se tiene las propiedades del suelo, donde sus dimensiones son las propiedades físicas y químicas.

Como se puede observar en el *Anexo 1*.

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **3.3.1. Población**

Estuvo conformada por el suelo degradado del sector Pampas de Cherrepe, provincia de Chepen, departamento la Libertad.

#### **3.3.2. Muestra**

Se tomó una muestra de 160 kilogramos de suelo degradado, con coordenadas UTM por parte del Este, 654734 y por el Norte, 9210739, proveniente del lugar las Pampas de Cherrepe, provincia de Chepén.

#### **3.3.3. Muestreo**

La técnica de muestreo que se utilizó es el método probabilístico, de forma aleatoria compuesta, debido que las temperaturas del biochar y las dosis aplicadas han variado, en cada tratamiento.

#### **3.3.4. Unidad de análisis**

Correspondió a un recipiente con las siguientes dimensiones (40 cm de ancho por 16 cm de largo), donde su capacidad fue de 5 kilos.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se utilizó la técnica de observación experimental directa, ya que permitió el contacto con las variables de estudio tanto dependientes como independientes.

Los instrumentos que se utilizó para la recopilación de datos, fueron tres fichas de observación, que consistieron en medir los residuos lignocelulósicos, las propiedades del suelo y el cultivo de lechuga; ya que esta investigación se basó en seleccionar datos tanto de campo como laboratorio, donde se consiguieron datos puntuales para el proceso de información.

### **3.5. Procedimiento**

El procedimiento a realizar en la investigación fue el siguiente:

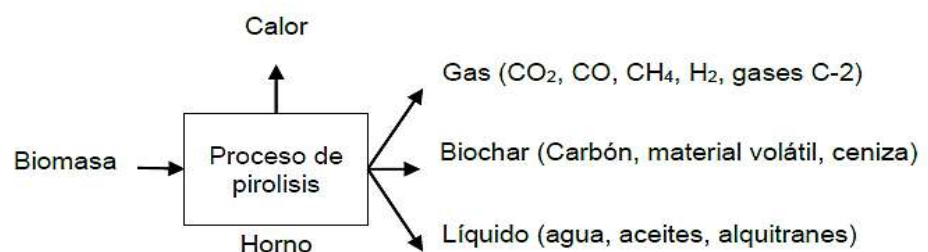
- **Procedimiento para la obtención de los residuos lignocelulósicos**

Los residuos lignocelulósicos se recolectaron del Centro Poblado San Alfonso, distrito de Sartimbamba, Provincia Sánchez Carrión, Región la Libertad, lo cual de la parte alta (Jalca) con coordenadas UTM, por el Este 188411 y por el Norte 9167013, se obtuvo el residuo paja de trigo, donde se extrajo una cantidad de 12 kg para llevar a cabo el procedimiento de convertirlo en abono, este residuo ya se encontraba totalmente seco, lo cual fue más factible al momento de realizar el método de pirólisis; así mismo en la parte baja (Valle) con coordenadas UTM, por el Este 189207 y por el Norte 9168999, se obtuvo el residuo de cáscara de yuca, donde se procedió a traer un aproximado de 10 kg; este caso fue diferente al residuo anterior, ya que se realizó un pretratamiento para retirar material extraño del residuo.

- **Procedimiento para la producción del Biochar**

Se utilizó una Mufla, lo cual se procesó por separado ambos residuos como cáscara de yuca y paja de trigo, mediante el método de pirólisis (fig.01). Se empezó con la cáscara de yuca; donde cada etapa de calcinación fue de 45 minutos, con una cantidad de 750 gramos de biochar, obteniendo como resultado final un aproximado de 2 kg para cada temperatura 800°C, 850°C y 900°C, para el residuo de paja de trigo, cada etapa de calcinación fue en un tiempo de 30 minutos con una cantidad de 750 gramos, obteniendo como resultado final un aproximado de 2.5 kg, debido a su textura blanda que presenta el trigo fue más factible y de rápida calcinación.

**Figura 1.** *Obtención del Biochar*



Fuente: Pratt y Moran (2016)



**Tabla 1.** *Tratamiento con el residuo de yuca*

Dosis g	Temperatura (°C)		
	800	850	900
20	T° <sub>(800)</sub>	T° <sub>(850)</sub>	T° <sub>(900)</sub>
30	T° <sub>(800)</sub>	T° <sub>(850)</sub>	T° <sub>(900)</sub>
40	T° <sub>(800)</sub>	T° <sub>(850)</sub>	T° <sub>(900)</sub>

Elaboración propia, 2023.

Residuo A: Residuo de yuca.

**Tabla 2.** *Tratamiento con residuo de trigo*

Dosis g	Temperatura (°C)		
	900	950	1000
40	T° <sub>(900)</sub>	T° <sub>(950)</sub>	T° <sub>(1000)</sub>
50	T° <sub>(900)</sub>	T° <sub>(950)</sub>	T° <sub>(1000)</sub>
60	T° <sub>(900)</sub>	T° <sub>(950)</sub>	T° <sub>(1000)</sub>

Residuo B: Residuo de trigo.

Elaboración propia, 2023.

- **Procedimiento de medición de las propiedades del biochar**

Se procedió a medir los parámetros los cuales fueron; la cantidad de lignina, cenizas, humedad, nitrógeno y carbono.

El parámetro de lignina se realizó siguiendo la metodología de Lydia et al.(2015), las muestras de biochar se sometieron a hidrólisis ácida de ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, luego se procedió a dispersar el material en acido de 20 ± 1°C, por un periodo de 2 horas manteniendo la temperatura y la agitación constante, se continuo con el proceso de hidrólisis agregando 3 % de agua desionizada por un tiempo de ebullición de 4 horas; finalmente el residuo se procedió a secar y pesar para determinar la lignina de Klason.

Para determinar la cantidad de ceniza se realizó, utilizando el método de gravimétrico; el parámetro de humedad se realizó de la misma manera, donde se basó en la separación del agua y del residuo, por secado a una estufa en temperaturas de 103°C a 108°C, luego pasó al desecador, de esa manera poder sacar su peso final y calcular la humedad.

El porcentaje de nitrógeno se calculó mediante el método Kjeldahl, donde se procedió a colocar 1.0 g de muestra en un matraz de vidrio de 250 ml, luego se adicionó 1.0 g de mezcla catalítica y 3 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, se procedió a calentar la unidad de digestión hasta que la solución cambie a un color verde claro, luego se dejó enfriar, para agregar agua destilada y dar volumen (+/- 15 ml), después se adicionó al tubo de seguridad agregando fenolftaleína e hidróxido de sodio dando un color grosella, lo cual indicó la neutralización de la acidez, luego se inició el proceso de destilación, con 10 ml de ácido bórico, en un tiempo de destilación de 3 a 5 minutos, finalmente se tituló con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> estandarizado.

$$\% \text{ de } N \text{ en muestra} = me \text{ de } N \times 0.014 \times 100$$

La cantidad de carbono se calculó mediante el método de Walkley y Black; para esto se pesó 0.30 g de muestra ya tamizada de Biochar (2mm), luego se colocó en un Erlenmeyer de capacidad 250 ml, donde se agregaron 10 ml de la solución dicromato de potasio 0,17 M, también se agregó 10 ml de ácido sulfúrico, se procedió agitar durante un minuto, para luego dejar reposar 30 minutos con la finalidad de enfriarse, una vez listo se diluyo con agua destilada hasta completar 100 ml y poder adicionar 5 ml de ácido fosfórico, después de 10 minutos se agregó un promedio de 20 a 30 gotas de difenilamina al 0.5%, se valoró el exceso de dicromato en una solución de sulfato ferroso 0,5% y se logró valorar cuando cambio de color de purpura a un verde.

$$\% \text{ de } C = \frac{Nx (V1-V2)x0.39}{\text{peso del biochar en gramos}}$$

- **Procedimiento para muestreo de suelo**

Se localizo el punto de muestreo con coordenadas por parte del Este, 654734 y por el Norte, 9210739, se tomaron cantidades iguales del suelo en cada punto referenciado a una profundidad de 20 cm y a la misma profundidad, aplicando el método Zig-zag. Finalmente se

empacó un aproximado de 1 kg en bolsa hermética para traer a laboratorio analizarlo. Siguiendo la metodología de (MINAM,2014). Luego se procedió a medir los parámetros establecidos en su ficha de recolección, como conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, carbono total y pH.

- **Procedimiento para mezclar el biochar con el suelo degradado**

Se utilizaron 38 recipientes de medidas de 16 cm de largo y 40 cm de ancho, previamente el suelo fue tamizado (tamiz de 20 mm), para preparar 18 unidades muestrales para cada tipo de residuo, así como dos testigos conteniendo cada uno de ellos 4 kg de suelo, seguidamente se realizó la mezcla de suelo con las dosis necesarias de Biochar, para ello se empezó con el residuo de cáscara de yuca, donde a las tres temperaturas (800°C, 850° y 900°) se aplicó las dosis; de 20, 30 y 40 gramos por kilo, en las tres temperaturas diferentes, con respecto al biochar de paja de trigo también se ha diferenciado por tres dosis 40, 50 y 60 gramos por kilo, en las diversas temperaturas (900°C, 950°C y 1000°C).

Se esperó una semana para sembrar la lechuga, esto con el propósito de concentrar el biochar con el suelo, teniendo 3 semillas por recipiente, llegando a tener un total de 108 semillas, las cuales fueron sembradas en diferentes temperaturas, dosis y tipo de residuo lignocelulósico. Luego se procedió a medir de acuerdo a los indicadores establecidos en la ficha recolección de datos; los cuales son la altura, el número de hojas y peso de la planta, asimismo se regó con la misma cantidad de agua para todos los recipientes, siguiendo la metodología de (PROAIN, 2020) la cantidad de agua para la lechuga en la época de verano es de 30 mm/kg y para épocas de invierno es de 6mm/kg.

### **3.6. Método de análisis de datos**

Se utilizaron los datos registrados en campo, de acuerdo a las fichas de recolección de datos, asimismo se enviaron muestras de los diferentes tratamientos a un laboratorio reconocido, donde se realizarán los análisis

correspondientes al tema de investigación, para luego ser procesados por los programas Excel y el software InfoStat para determinar si existen diferencias significativas entre el tipo de residuos, temperatura y dosis aplicadas.

### **3.7. Aspectos éticos**

La ética se fundamentó en respetar las ideas y teorías de cada autor, para desarrollar las citas y referencias adecuadamente, por otro lado, se basó en criterios establecidos como la objetividad, originalidad y confidencialidad; así mismo los análisis y resultados fueron realizados con todas las medidas de seguridad necesarias para no ocasionar daño a los recursos naturales.

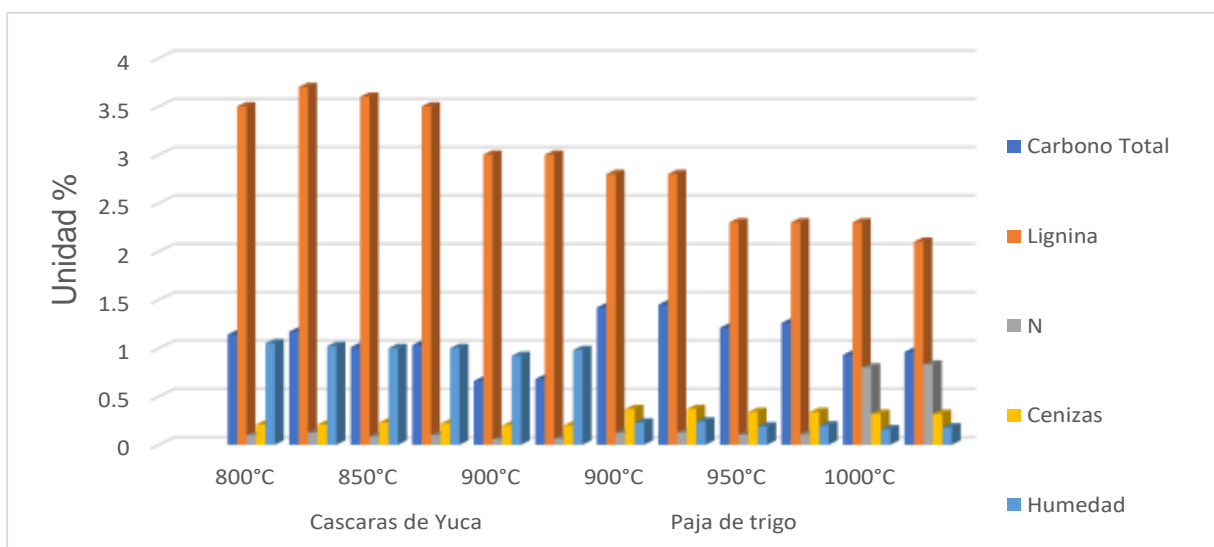
## IV. RESULTADOS

### 4.1. Evaluación del efecto de la temperatura de pirólisis en las propiedades del Biochar obtenido de residuos lignocelulósicos de cáscara de yuca y paja de trigo

**Tabla 3.** Evaluación de las características del biochar a base de cascara de yuca y paja de trigo

Residuo	Temperatura °C	Características químicas				Características físicas
		Carbono Total %	Lignina %	N %	Cenizas %	Humedad %
Cáscara de yuca	800	1.14	3.50	0.098	0.21	1.05
		1.17	3.70	0.125	0.21	1.02
	850	1.01	3.60	0.087	0.23	1.00
		1.03	3.50	0.101	0.22	1.00
	900	0.66	3.00	0.057	0.20	0.92
		0.68	3.00	0.065	0.20	0.98
Paja de trigo	900	1.42	2.80	0.122	0.37	0.23
		1.45	2.80	0.127	0.37	0.24
	950	1.21	2.30	0.104	0.34	0.19
		1.26	2.30	0.110	0.34	0.20
	1000	0.93	2.30	0.800	0.32	0.16
		0.96	2.10	0.830	0.32	0.18

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.** Evaluación de las características del biochar a base de cáscara de yuca y paja de trigo

**H<sub>1</sub>:** Existe una diferencia significativa en las propiedades del biochar calcinado a diferentes temperaturas.

**H<sub>0</sub>:** No Existe una diferencia significativa en las propiedades del biochar calcinado a diferentes temperaturas.

**Tabla 4.** Promedio del contenido de Lignina en el Biochar. Test: LSD Fisher.

Tipo de residuo	Temperaturas °C	Parámetro %	Medias	n	E.E.		
Cáscara de Yuca (p=0.0123)	900	Lignina	3.00	2	0.06	A	
	850		3.55	2	0.06		B
	800		3.60	2	0.06		B
Paja de trigo (p=0.0099)	1000	Lignina	2.20	2	0.06	A	
	950		2.30	2	0.06		A
	900		2.80	2	0.06		B

**Fuente:** Elaboración propia, InfoStat.

En la tabla 4, se presentan los resultados obtenidos de la cantidad de lignina, en el biochar elaborado a base de cáscara de yuca y paja de trigo, para la cáscara de yuca, en la temperatura de 800°C y 850°C, no hay variación en lignina, por lo que se acepta la hipótesis nula, a comparación de la temperatura de 900°C y 800°C donde se acepta la hipótesis alternativa. Para el biochar de paja de trigo, en las temperaturas de 1000°C y 950°C, no hay variación en lignina aceptando la hipótesis nula, a comparación con la temperatura de 900°C y 1000°C donde acepta la hipótesis alternativa, además el nivel de significancia es menor a 0,05.

**Tabla 5.** Promedio del contenido de Ceniza en el Biochar. Test: LSD Fisher.

Tipo de residuo	Temperaturas °C	Parámetro %	Medias	n	E.E			
Cáscara de Yuca (p=0.0198)	900	Ceniza	0.2	2	2.90E-03	A		
	850		0.21	2	2.90E-03		A	B
	800		0.23	2	1.90E-03			B
Paja de trigo (p=0.0001)	1000	Ceniza	0.32	2	0	A		
	950		0.34	2	0			B
	900		0.37	2	0			C

**Fuente:** Elaboración propia, InfoStat

En la tabla 5, se presentan los resultados de la cantidad de ceniza, para el biochar de cáscara de yuca, la temperatura 900°C y 850°C, no son significativamente diferentes por lo que se acepta la hipótesis nula, a comparación de la temperatura menor 800°C y 900°C, donde tienen un nivel de significancia de 0.0198; en el biochar de paja de trigo ambas temperaturas son significativamente diferentes, aceptando la hipótesis alternativa.

**Tabla 6.** Promedios de la relación Carbono/Nitrógeno en el Biochar. Test: LSD Fisher.

Tipo de residuo	Temperaturas °C	Parámetro %	Medias	n	E.E		
Cáscara de Yuca (p=0.0002)	900	Carbono	0.67	2	0.01	A	
	850		1.02	2	0.01		B
	800		1.16	2	0.01		C
Paja de trigo (p=0.0008)	1000	Carbono	0.95	2	0.02	A	
	950		1.24	2	0.02		B
	900		1.44	2	0.02		C
Cáscara de Yuca (p=0.0630)	900	Nitrógeno	0.06	2	0.01	A	
	850		0.09	2	0.01	A	
	800		0.11	2	0.01	A	
Paja de trigo (p=0.0001)	1000	Nitrógeno	0.11	2	0.01	A	
	950		0.12	2	0.01	A	
	900		0.82	2	0.01		B

**Fuente:** Elaboración propia, InfoStat

En la tabla 6, se muestra los resultados de la cantidad de carbono total; que fueron obtenidos para el biochar de cáscara de yuca y trigo, donde ambos residuos tienen diferencias significativas, debido a que el nivel de significancia es menor a 0,05 rechazando la hipótesis nula y aceptando que el nivel de temperatura de calcinación si tiene influencias en el carbono total, el nitrógeno obtenido para ambos abonos (biochar), empezando por el biochar de cáscara de yuca, las tres temperaturas (800°C, 850°C y 900°C) no son significativamente diferentes, por lo que se acepta la hipótesis nula; a comparación del biochar de paja de trigo, donde la temperatura 950°C y 900°C, son significativamente diferentes, aceptando la hipótesis alternativa, además de tener un nivel de significancia menor a 0.05.

**Tabla 7.** Promedio del contenido de Humedad en el Biochar. Test: LSD Fisher

Tipo de residuo	Temperaturas °C	Parámetro %	Medias	n	E.E	
Cáscara de Yuca (p=0.1144)	900	Humedad	0.95	2	0.02	A
	850		1	2	0.02	A
	800		1.04	2	0.02	A
Paja de trigo (p=0.0167)	1000	Humedad	0.17	2	0.01	A
	950		0.2	2	0.01	A
	900		0.24	2	0.01	B

**Fuente:** Elaboración propia, InfoStat.

En la tabla 7, se puede evidenciar los resultados obtenidos de humedad, iniciando por el biochar de cáscara de yuca, las temperaturas 800°C, 850°C y 900°C, no son significativamente diferentes, debido al nivel de significancia de 0.11; a comparación del biochar de paja de trigo donde las temperaturas de 1000°C y 950°C no son significativamente diferentes por lo que aceptan la hipótesis nula, a diferencia de la temperatura menor 900°C y 1000°C, tienen un nivel de significancia de 0.01, aceptando la hipótesis alternativa.

#### 4.2. Evaluar el efecto de la dosis de Biochar de mejores propiedades de los residuos lignocelulósicos de cáscara de yuca y paja de trigo en el cultivo de la Lactuca sativa

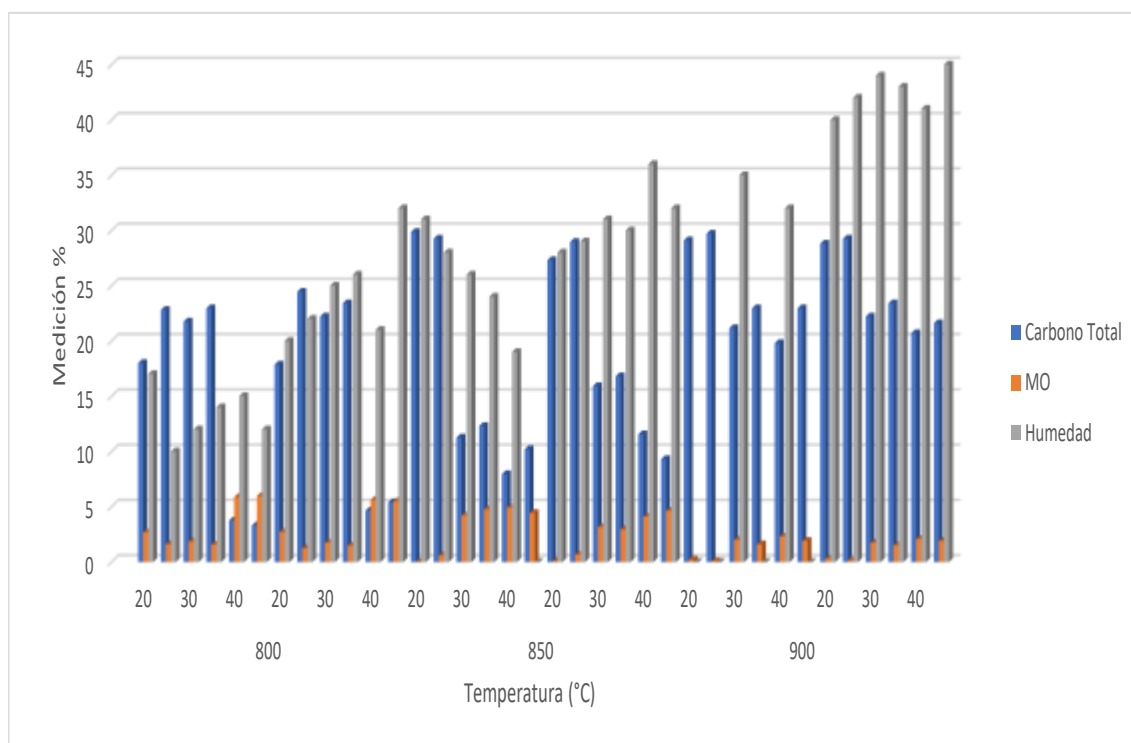
**Tabla 8.** Evaluación de las propiedades del suelo aplicado con biochar (Cáscara de yuca)

Temperatura °C	Dosis g	Características químicas			Características físicas	
		Carbono Total %	pH %	Conductividad $\mu$ S/cm	MO %	Humedad %
800	20	18.00	7.68	5.96	2.68	17.00
		22.80	8.06	4.40	1.61	10.00
	30	21.75	8.02	5.40	1.84	12.00
		22.95	7.69	4.70	1.57	14.00
	40	3.75	7.87	3.72	5.86	15.00
		3.30	7.84	4.63	5.96	12.00
	20	17.85	7.30	4.40	2.71	20.00
		24.45	8.29	3.99	1.24	22.00
	30	22.20	7.90	2.60	1.74	25.00
		23.40	8.01	5.70	1.47	26.00
	40	4.65	7.50	3.50	5.62	21.00
		5.40	7.96	3.70	5.50	32.00
850	20	29.85	7.93	3.03	0.00	31.00
		29.25	7.80	4.49	0.57	28.00



	30	11.25	8.00	4.70	4.20	26.00
		12.30	8.28	3.70	4.75	24.00
	40	7.95	8.13	3.74	4.92	19.00
		10.20	7.81	4.10	4.42	0.00
	20	27.3	7.40	4.00	0.06	28.00
		28.95	8.29	3.95	0.67	29.00
	30	15.90	8.33	4.47	3.15	31.00
		16.80	8.27	5.30	2.94	30.00
	40	11.55	8.04	3.64	4.10	36.00
		9.30	8.30	3.74	4.62	32.00
	20	29.10	8.05	2.3	0.20	0.00
		29.70	8.31	2.43	0.06	0.00
	30	21.15	7.87	2.70	2.00	35.00
		22.95	7.84	5.28	1.60	0.00
	40	19.80	7.95	2.55	2.30	32.00
900		22.95	7.84	2.34	1.90	0.00
	20	28.80	8.47	2.50	0.30	40.00
		29.25	8.35	2.70	0.16	42.00
	30	22.20	8.21	3.30	1.74	44.00
		23.40	8.05	4.70	1.50	43.00
	40	20.70	8.03	3.76	2.08	41.00
		21.60	7.99	4.30	1.90	45.00

Fuente: Elaboración propia

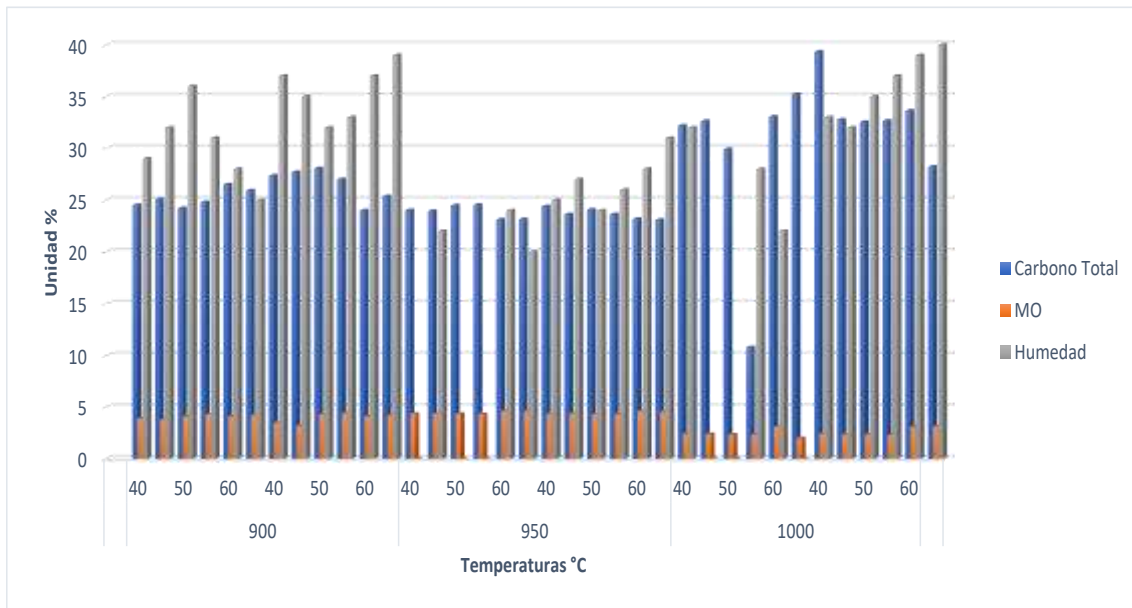


**Figura 3.** Evaluación de las propiedades del suelo aplicado con biochar (Cáscara de yuca)

**Tabla 9.** Evaluación de las propiedades del suelo aplicado con biochar (Paja de Trigo)

Temperatura °C	Dosis g	Características químicas			Características físicas	
		Carbono Total %	pH %	Conductividad μS/cm	MO %	Humedad %
900	40	24.51	8.33	2.57	3.90	29.00
		25.08	8.61	2.70	3.80	32.00
	50	24.22	8.40	2.68	4.10	36.00
		24.80	8.29	2.51	4.30	31.00
	60	26.50	7.72	4.35	4.10	28.00
		25.93	7.69	4.5	4.20	25.00
	40	27.36	8.64	2.57	3.50	37.00
		27.70	8.47	3.20	3.20	35.00
	50	28.07	8.70	3.00	4.30	32.00
		27.00	8.59	2.91	4.40	33.00
	60	24.00	8.13	4.28	4.10	37.00
		25.37	8.71	2.36	4.20	39.00
950	40	24.02	8.20	2.87	4.35	0.00
		23.94	8.46	2.25	4.38	22.00
	50	24.48	8.61	2.62	4.36	0.00
		24.53	8.37	3.41	4.32	0.00
	60	23.11	8.35	3.38	4.61	24.00
		23.14	8.40	2.60	4.59	20.00
	40	24.40	8.84	2.25	4.34	25.00
		23.62	8.42	3.70	4.38	27.00
	50	24.08	8.49	3.78	4.33	24.00
		23.63	8.28	3.55	4.32	26.00
	60	23.17	8.23	2.70	4.61	28.00
		23.08	8.10	4.00	4.59	31.00
1000	40	32.20	8.36	2.87	2.43	32.00
		32.63	8.30	2.40	2.40	0.00
	50	29.92	8.42	2.54	2.34	0.00
		10.78	8.56	2.78	2.32	28.00
	60	33.06	8.47	2.64	3.08	22.00
		35.24	8.55	3.40	2.00	0.00
	40	39.33	8.22	2.76	2.43	33.00
		32.77	8.84	2.84	2.35	32.00
	50	32.54	8.33	3.54	2.34	35.00
		32.66	8.69	2.72	2.31	37.00
	60	33.63	8.35	3.46	3.08	39.00
		28.21	8.44	3.35	3.12	40.00

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.** Evaluación de las propiedades del suelo aplicado con biochar (Paja de Trigo)

**H<sub>1</sub>:** Existe una diferencia significativa en las propiedades del suelo, debido a la aplicación de diferentes dosis de biochar y calcinado a diferentes temperaturas.

**H<sub>0</sub>:** No existe una diferencia significativa en las propiedades del suelo, debido a la aplicación de diferentes dosis de biochar y calcinado a diferentes temperaturas.

**Tabla 10.** Evaluación de las propiedades del suelo aplicado con biochar. Test: LSD Fisher.

Tipo de residuo	Temperatura °C	Parámetro %	Medias	n	E.E		
Cáscara de Yuca (p=0.022)	800	Carbono total	15.88	12	2.16	A	
	850		17.55	12	2.16	A	B
	900		24.3	12	2.16		B
Paja de Trigo (p=0.0004)	950	Carbono total	23.77	12	1.18	A	
	900		25.88	12	1.18	A	
	1000		38.08	12	1.18		B

**Fuente:** Elaboración propia, InfoStat

En la tabla 10, se muestra los resultados del carbono total, donde la temperatura 800°C no tiene variación con la temperatura 850°C, por lo que se acepta la hipótesis nula, a comparación de la temperatura de 800°C y el nivel de significancia que tiene sobre la de 900°C, donde se acepta la hipótesis alternativa. En el biochar de paja trigo la temperatura 950°C no tiene un nivel de significancia con la temperatura

900°C, por lo que se acepta la hipótesis nula, a comparación de la temperatura de 900°C y el nivel de significancia que tiene sobre la de 1000°C, donde se acepta la hipótesis alternativa.

**Tabla 11.** Promedio del contenido de pH en el Biochar. Test: LSD Fisher.

Tipo de residuo	Temperaturas °C	Parámetro %	Medias	n	E.E	
Cáscara de Yuca (p=0.060)	800	pH	7.84	12	0.07	A
	850		8.05	12	0.07	A
	900		8.08	12	0.07	A
Paja de Trigo (p=0.60)	900	pH	8.36	12	0.07	A
	950		8.4	12	0.07	A
	1000		8.46	12	0.07	A

**Fuente:** Elaboración propia, InfoStat

En la tabla 11, se muestra los resultados del pH de las diferentes temperaturas del biochar de cáscara de yuca, lo cual no influye en la recuperación de las propiedades del suelo, debido a su valor de significancia es de 0.06 superior a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa. En el biochar de paja de trigo, los tres no tienen nivel de significancia, donde se acepta la hipótesis nula, debido al de valor de significancia que es de 0.60 superior a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis alternativa.

**Tabla 12.** Promedio del contenido de Conductividad eléctrica en el Biochar. Test: LSD Fisher.

Tipo de residuo	Temperatura °C	Parámetro $\mu\text{S/cm}$	Medias	n	E.E	
Cáscara de Yuca (p=0.009)	900	Conductividad eléctrica	3.24	12	0.26	A
	850		4.07	12	0.26	A B
	800		4.39	12	0.26	B
Paja de Trigo (p=0.72)	1000	Conductividad eléctrica	2.94	12	0.18	A
	950		3.09	12	0.18	A
	900		3.14	12	0.18	A

**Fuente:** Elaboración propia, InfoStat

En la tabla 12, se muestran los resultados de la conductividad eléctrica. Donde la temperatura de 900°C no tiene nivel de significancia con la temperatura de 800°C, es por ello que se acepta la hipótesis nula, a comparación de la temperatura 900°C a 800°C, teniendo un nivel de significancia de 0.009, aceptando la hipótesis alternativa. En el biochar de paja de trigo los tres niveles no son significativamente

diferentes, aceptando la hipótesis nula y rechazando la hipótesis alternativa por exceder el nivel de significancia a 0.72.

**Tabla 13.** Promedio del contenido de Materia orgánica en el Biochar. Test: LSD Fisher.

Tipo de residuo	Temperaturas °C	Parámetro %	Medias	n	E.E		
Cáscara de Yuca (p=0.024)	900	Materia orgánica	1.31	12	0.49	A	
	850		2.87	12	0.49	A	B
	800		3.15	12	0.49		B
Paja de Trigo (p=0.0001)	1000	Materia orgánica	2.52	12	0.09	A	
	900		4.01	12	0.09		B
	950		4.43	12	0.09		C

**Fuente:** Elaboración propia, InfoStat

En la tabla 13, se muestran los resultados de la materia orgánica. Donde la temperatura de 900°C no tiene nivel de significancia con la temperatura de 850°C, es por ello que se acepta la hipótesis nula, a comparación de la temperatura 900°C a 800°C, teniendo un nivel de significancia de 0.024, aceptando la hipótesis alternativa. En el biochar de paja de trigo los tres niveles de temperatura, tienen distintos niveles de significancia, es por ello que se acepta la hipótesis alternativa, además de tener un nivel de significancia de 0.0001, es menor a 0.05.

**Tabla 14.** Promedio del contenido de Humedad en el Biochar. Test: LSD Fisher.

Tipo de residuo	Temperaturas %	Parámetro °C	Medias	n	E.E		
Cáscara de Yuca (p=0.0001)	800	Humedad	18.83	12	1.58	A	
	850		28.55	11	1.65		B
	900		40.25	8	1.93		C
Paja de Trigo (p=0.0007)	950	Humedad	25.22	9	1.48	A	
	900		32.83	12	1.28		B
	1000		33.11	9	1.48		B

**Fuente:** Elaboración propia, InfoStat

En la tabla 14, se muestran los resultados de la humedad. Los tres niveles de temperatura tienen un nivel de significancia de 0.0001, menor a 0.05, es por ello que se acepta la hipótesis alternativa. En el biochar de paja de trigo, la temperatura de 1000°C y 900°C no son significativamente diferentes, a comparación de la

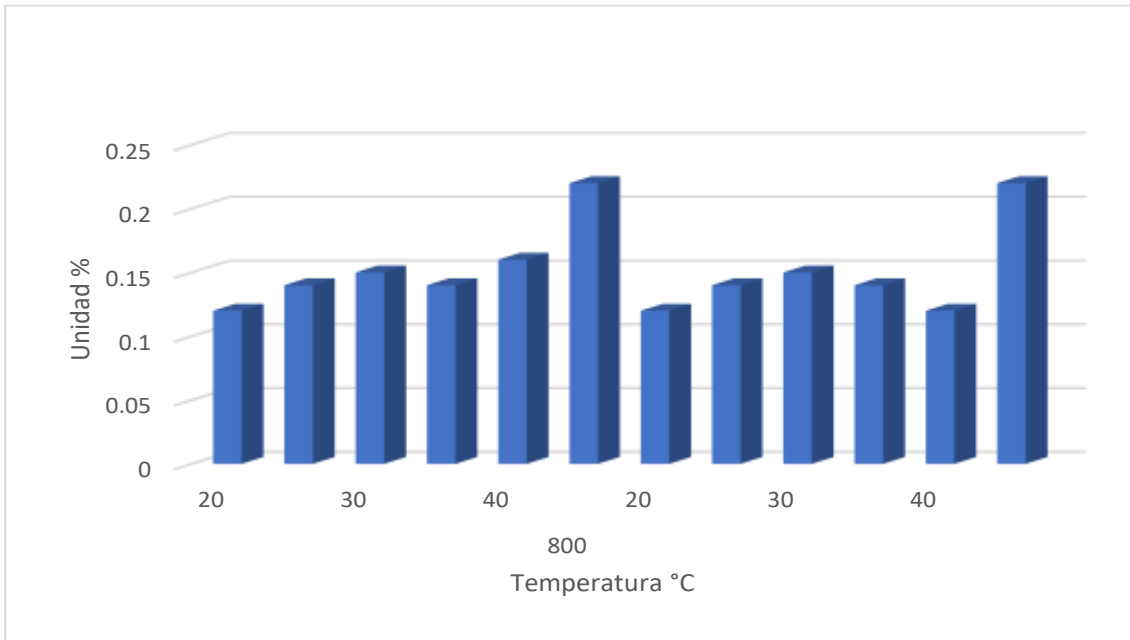
temperatura de 900° C y 950°C son significativamente diferentes, por lo cual se acepta la hipótesis alternativa, donde el nivel de significancia es de 0.0007.

**Tabla 15.** Cantidad (%) de nitrógeno en el suelo aplicado con biochar de cáscara de yuca (800°C)

Temperatura °C	Dosis (g)	Nitrógeno (%)
800	20	0.12
		0.14
	30	0.15
		0.14
	40	0.16
		0.22
	20	0.12
		0.14
0.15		
0.14		
30	0.12	
	0.22	

**Fuente:** Elaboración propia, Labonor

la tabla 15, se puede observar los datos obtenidos en cuanto a la cantidad de nitrógeno del biochar a base de cáscara de yuca, la temperatura que mayor efecto ha tenido en la cantidad de nitrógeno total es la de 800°C, evaluado en sus tres dosis 20, 30 y 40g, se empezó con la dosis menor lo cual obtuvo en la primera medición un promedio de 0.12%-0.14% de nitrógeno, con respecto a la dosis de 30g el promedio inicial fue de 0.14%- 0.15% y por último la dosis mayor de 40g, empezó con un rango de 0.16%-0.22%, para la segunda fecha de evaluación, los datos de la dosis menor se ha mantenido constante, lo mismo pasó con la dosis de 30g, la dosis mayor de 40g, ha tenido una de 0.12%-0.22% Por lo que se deduce que a mayor dosis aplicada de biochar, se encuentra mayor porcentaje de nitrógeno total.



**Figura 5.** Cantidad (%) de nitrógeno en el suelo aplicado con biochar de cáscara de yuca (800°C)

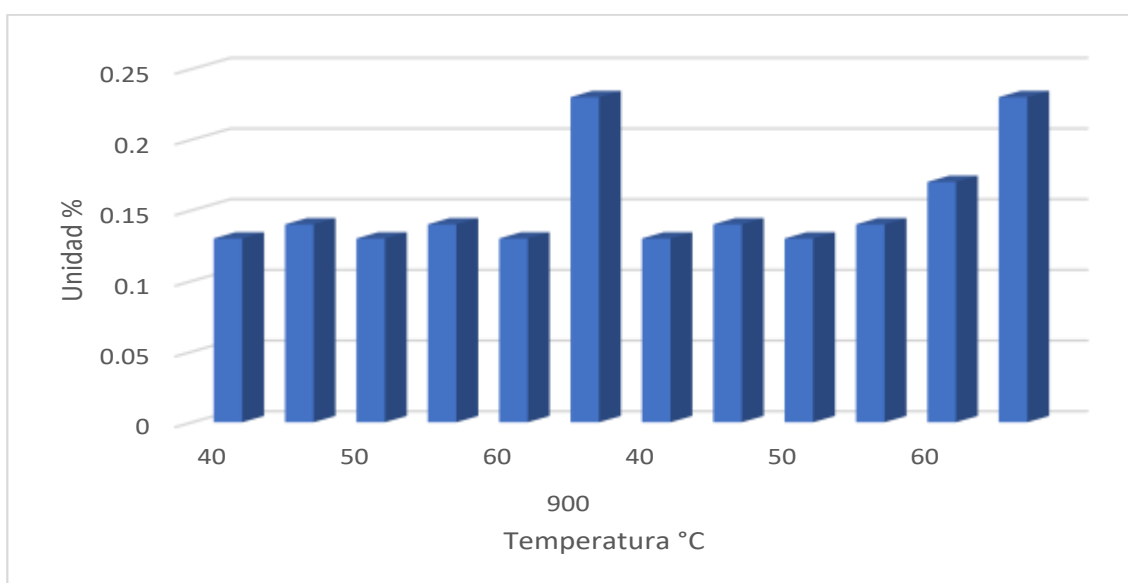
En la figura 5, podemos observar los resultados que cada dosis y sus repeticiones, así mismo indica que la mayor concentración de nitrógeno total, se da en la dosis de 40 g, logrando alcanzar 0.22%, a comparación de las dosis de 20 g, que alcanza un promedio de 0.12% y 30 g con 0.15%.

**Tabla 16.** Cantidad (%) de nitrógeno en el suelo aplicado con biochar de paja de trigo (900°C)

Temperatura °C	Dosis (g)	Nitrógeno (%)
900	40	0.13
		0.14
		0.13
	50	0.14
		0.13
		0.23
	60	0.13
		0.14
		0.13
	40	0.13
		0.14
		0.17
60	0.14	
	0.17	
	0.23	

**Fuente:** Elaboración propia, Labonor

En la tabla 16, se puede observar los datos obtenidos en cuanto a la cantidad de nitrógeno del biochar a base de paja de trigo, la temperatura que mayor efecto ha tenido en la cantidad de nitrógeno total es la de 900°C, evaluado en sus tres dosis 40, 50 y 60g, se empezó con la dosis menor lo cual obtuvo un promedio de 0.13%-0.14%, en su primera medición, con respecto a la dosis de 50g los datos oscilaron de 0.13%-0.14%, por último la dosis mayor de 60 g, empezó con un valor inicial de 0.13%-0.23%, estos resultados fueron de la primera medición, para la segunda medición; los datos de las dos primeras dosis se mantuvieron constantes, para la última dosis de 60g, han variado en los valores de 0.17%-0.23%.



**Figura 6.** Cantidad (%) de nitrógeno en el suelo aplicado con biochar de paja de trigo (900°C)

En la figura 6, se puede observar los resultados obtenidos de cada dosis y su repetición establecida, así mismo se nota que la mayor concentración de nitrógeno total se encuentra en la dosis más alta, alcanzando 0.23%, a diferencia de las dosis de 40 g que alcanza 0.14% y en la dosis de 50 g, donde también alcanza 0.14%.



**4.3. Determinar el tipo de residuo, temperatura y dosis de Biochar que mejora el cultivo de la *Lactuca sativa* en suelos degradados**

**Medición de las características de la *Lactuca sativa* en biochar (Casara de yuca y paja de trigo) Anexo 25-26.**

**H<sub>1</sub>:** Existe una diferencia significativa en el crecimiento de la *Lactuca sativa* debido a la aplicación de diferentes dosis de biochar calcinado a diferentes temperaturas.

**H<sub>0</sub>:** No existe una diferencia significativa en el crecimiento de la *Lactuca sativa* debido a la aplicación de diferentes dosis de biochar calcinado a diferentes temperaturas.

**Tabla 17.** Promedio de altura de la *Lactuca Sativa* en Biochar. Test: LSD Fisher

Tipo de residuo	Temperaturas °C	Medición	Medias	n	E.E	
Cáscara de Yuca (p=0.0097)	900	Altura	7.33	12	2.99	A
	850		7.33	12	2.99	A
	800		19.33	12	2.99	B
Paja de Trigo (p=0.034)	1000	Altura	6.33	12	2.46	A
	950		7.67	12	2.46	A
	900		15.17	12	2.46	B

**Fuente:** Elaboración propia, InfoStat

En la tabla 17, se muestra los resultados de la altura de la lechuga, donde la temperatura de 900°C y 850°C, no tienen una diferencia significativa en el crecimiento de la lechuga, por el cual se acepta la hipótesis nula, a comparación de la temperatura de 800°C y 900°C, donde hay un nivel de significancia de 0.0097, aceptando la hipótesis alternativa. En los resultados del biochar de paja de trigo la temperatura de 1000°C y 950°C, no son significativamente diferentes, a comparación de la temperatura 900°C y 1000°C, donde hay un nivel de significancia de 0.034, aceptando la hipótesis alternativa.

**Tabla 18.** Promedio del número de hojas de la *Lactuca Sativa* en Biochar. Test: LSD Fisher

Tipo de residuo	Temperaturas °C	Medición	Medias	n	E.E	
Cáscara de Yuca (p=0.0042)	900	Número de hojas	1.08	12	0.4	A
	850		1.08	12	0.4	A
	800		3.08	12	0.4	B
Paja de Trigo (p=0.014)	1000	Número de hojas	1.08	12	0.34	A
	950		1.42	12	0.34	A
	900		2.56	12	0.34	B

**Fuente:** Elaboración propia, InfoStat

En la tabla 18, se muestra los resultados del número de hoja de la lechuga, donde la temperatura de 900°C y 850°C, no tienen mucho efecto en el número de hoja, lo cual se acepta la hipótesis nula, a diferencia de la temperatura 800°C y 900°C, donde hay un nivel de significancia de 0.0042, lo cual indica que tiene una gran influencia en la longitud de la hoja, por lo tanto, acepta la hipótesis alternativa. En los resultados del biochar de paja de trigo la temperatura de 1000°C y 950°C, no son significativamente diferentes, a comparación de la temperatura 900°C y 1000°C, donde hay un nivel de significancia de 0.014, siendo menor al nivel de significancia de 0,05; aceptando la hipótesis alternativa.

**Tabla 19.** Promedio de la longitud de la *Lactuca Sativa* en Biochar. Test: LSD Fisher

Tipo de residuo	Temperaturas °C	Medición	Medias	n	E.E	
Cáscara de Yuca (p=0.0541)	900	Longitud de hojas	3.92	12	1.59	A
	800		8.67	12	1.59	B
	850		9	12	1.59	B
Paja de Trigo (p=0.0126)	1000	Longitud de hojas	3.42	12	1.27	A
	950		4.17	12	1.27	A
	900		8.67	12	1.27	B

**Fuente:** Elaboración propia, InfoStat

En la tabla 19, se muestra los resultados de la longitud de hoja de la lechuga, donde la temperatura de 800°C y 850°C, no tienen mucho efecto en la longitud de hoja, no son significativamente diferentes, a comparación de la temperatura 900°C, donde hay un nivel de significancia de 0.0541, lo cual indica que tiene una gran influencia en la longitud de la hoja, por lo tanto, acepta la hipótesis alternativa. En los resultados del biochar de paja de trigo la temperatura de 1000°C y 950°C, no tienen mucho efecto en la longitud de hoja, no son significativamente diferentes, a

comparación de la temperatura 900°C y 1000°C, donde hay un nivel de significancia de 0.0126, lo cual indica que tiene una gran influencia en la longitud de la hoja, por lo tanto, acepta la hipótesis alternativa.

**Tabla 20.** Promedio del número de plantas por recipiente en Biochar. Test: LSD Fisher

Tipo de residuo	Temperaturas °C	Medición	Medias	n	E.E	
Cáscara de Yuca (p=0.019)	900	Número de plantas	1.67	12	0.33	A
	850		2	12	0.33	A
	800		3	12	0.33	B
Paja de Trigo (p=0.23)	1000	Número de plantas	1.75	12	0.35	A
	950		2	12	0.35	A
	900		2.58	12	0.35	A

**Fuente:** Elaboración propia, InfoStat

En la tabla 20, se muestra los resultados del número de plantas por recipiente, donde la temperatura 900°C y 850°C, aceptan la hipótesis nula a diferencia de la temperatura 800°C, donde se acepta la hipótesis alternativa, debido a que el nivel de significancia es menor a 0.05. En los resultados del biochar de paja de trigo, para los tres niveles de temperatura no existe una diferencia significativa en el número de plantas por recipiente de la Lactuca sativa, debido a que el nivel de significación es de 0.23, mayor a 0.05.

## V. DISCUSIÓN

En la tabla 3, se observa los mejores resultados de la obtención de biochar que fueron usando cáscara de yuca, a una temperatura de 800°C; Según Mariela et al. (2021), realizó biochar de cáscara de ñame, en tres temperaturas 300°C, 500°C y 800°C, se obtuvo 5% de nitrógeno en la temperatura de 500°C a comparación de 800°C que se obtuvo un 2%, en la cantidad de pH se regulo a 6.80 en la menor temperatura (300°C), por otro lado, Nisar et al. (2022), realizó biochar a base de cáscara de naranja a temperaturas diferentes de 500°C, 600°C y 800°C, teniendo 4% de carbono total para la temperatura de 800°C y 14% de carbono total para 500°C; la cantidad de ceniza fue alta en la temperatura de 800°C con un valor de 1.15%. Con respecto al residuo de paja de trigo, los mejores resultados obtenidos fueron en la temperatura de 900°C, según Yaoyao et al. (2022), menciona que la temperatura de 900°C, es la adecuada en la cantidad de humedad con 12% y materia orgánica 2.4% sin embargo, el nitrógeno no aumenta mucho debido a la presencia alta de cenizas. Por otro lado, Shinta, et al. (2021), realizó biochar a base de pajilla de arroz, a temperaturas de 500°C, 750°C y 900°C, los que mayores resultados obtuvieron en carbono orgánico son las temperaturas de 750°C y 900°C, aumentando la capacidad de nitrógeno en 116%. En la tabla 4, se puede evidenciar los promedios de lignina, para la cáscara de yuca, en la temperatura 800°C, se obtuvo un promedio de 3.60%, para la de 850°C un valor de 3.55% y la temperatura de 900°C con un valor de 3.00%, lo mismo sucedió para la paja de trigo lo cual las temperaturas fueron diferentes empezando por la de 900°C con un valor de 2.80%, para 950°C con un valor de 2.30% y para la temperatura de 1000°C un valor mínimo de 2.20%, lo cual las propiedades en el biochar se mantienen cuando son calcinados a menor temperatura. Según Fernández et al. (2016), realizó biochar de cascara de maíz a una temperatura de 500°C y 850°C, la menor temperatura mantuvo una lignina de 5% apto para un buen cultivo, a diferencia de la temperatura de 850°C 2.30%; esto concuerda con Cervera et al. (2020), realizó pajilla de arroz a 900°C obteniendo solo un 1.90% de lignina, debido a la alta concentración de cenizas. En la tabla 5, se puede constatar los resultados de la relación C/N, en la cascara de yuca para

la temperatura de 800°C 1.16%/0.54%, para 850°C 1.02%/0.07% y para la temperatura de 900°C la relación es de 0.67%/0.08% a comparación del biochar de paja de trigo a temperatura de 900°C 1.44%/0.96%, para 950°C 1.24%/0.82% y para la temperatura mayor la relación fue de 0.95%/0.63%. Según Cristina et al. (2018), obtuvo una relación de carbono-nitrógeno de 9%/27%, en el biochar de cascara de maní a temperatura de 800°C, Esto concuerda con Iglesias et al. (2020), realizo abono de pajilla de arroz obteniendo una relación de 7%/27% de carbono-nitrógeno, aumentando el rendimiento de 4% en materia orgánica. Estos concuerdan con los resultados de Mendoza et al. (2019), en relación de carbono-nitrógeno 6%/75%, a una temperatura de 900°C. En la tabla 6, se observa los promedios de la cantidad de ceniza, para la cáscara de yuca en la temperatura de 800°C fue de 0.23%, para 850°C fue de 0.21% y para la de 900°C de 0.20%, a comparación de la paja de trigo, donde se empezó con la temperatura de 900°C con un valor de 0.37%, para 950°C de 0.34% y para 1000°C de 0.32%, la cantidad de ceniza no sufrió mucha variación a las diferentes temperaturas calcinadas. Estos resultados se comparan con Ivano et al. (2022), calcino cascara de ñame a temperatura de 850°C 0.60% de cenizas. Esto concuerda con los resultados de Elisa et al. (2023), realizo biochar de paja de trigo a temperaturas de 400°C se obtuvo una cantidad de 0.20% de ceniza y a temperatura de 900°C una cantidad de 0.80% de cenizas. Asimismo, se observa en la tabla 7, se muestra los valores de humedad obtenidos, para el biochar de cáscara de yuca en la temperatura de 800°C fue un valor de 1.04%, para 850°C un valor de 1% y para la temperatura mayor 100°C un valor de 0.95%, por otro lado, el biochar de paja de trigo obtuvo como resultado para 900°C un valor de 0.24%, para 950°C un valor de 0.20% y para 1000°C un valor de 0.17%. Estos datos concuerdan con Jazmín et al. (2019), realizo abono de cascarilla de arroz a temperatura de 800°C, donde empezó con una humedad 10.9%, y culmino con 50% de humedad. Por otro lado, Wenying et al. (2021), en su investigación realizó abono de cascara de naranja en 750°C, teniendo como resultado 8.6 en pH y 10% en humedad. Los resultados coinciden con Angelia et al. (2023), elaboro biochar a base

de cascara de yuca en temperatura de 350°C y 850°C, con un pH 8.51 y 15.44% en humedad.

Así mismo en la tabla 8 y 9 se puede evidenciar los resultados obtenidos, los cuales tuvieron diferentes efectos en las propiedades del suelo, al aplicar biochar de cáscara de yuca y paja de trigo; se realizó dos mediciones para cada tratamiento, en el caso de cáscara de yuca la mejor temperatura fue de 800°C, en una dosis de 40 gramos, ya que aumento a 15.88% en la cantidad de carbono, la materia orgánica a 5.50%, el pH bajo a un 7.96, la conductividad eléctrica también ha disminuido a un 3.70 mS/cm, y ha tenido la mayor retención de humedad de 32%, lo cual fue confirmado por Jining et al. (2022), en su investigación realizada calcino cáscara de maní a una temperatura de 800°C, donde aumento la capacidad de materia orgánica a un 5.55% y la cantidad de nitrógeno a un 3%; lo cual fue confirmado por Yan et al. (2022), realizo biochar a base de cascara de yuca, donde aumento nitrógeno 6%, el pH se regulo a 5.69 . Lo mismo sucede con el biochar de paja de trigo los mejores resultados se han obtenido en la temperatura menor 900°C, en la mayor dosis de 60 gramos, aumentando materia orgánica a 4.20%, carbono total en 25.35 %, humedad en 39%, conductividad eléctrica ha disminuido en 2.36 mS/cm y el pH bajo a 8.36, lo cual concuerda con Yong et al. (2023), ya que realizo abono a base de pajilla de arroz en temperaturas de 500°C y 800°C, para la temperatura menor obtuvo 4.45% de materia orgánica a comparación de la temperatura mayor un 2.5% de materia orgánica. Por otro lado, Peterson et al. (2023), realizo biochar de paja de trigo a temperatura de 900°C; donde obtuvo 3.50% en materia orgánica y en 34% humedad, sin embargo, la cantidad de carbono y nitrógeno no se evidenciaron en grandes cantidades. Asimismo En la tabla 10 podemos constatar los valores de carbono orgánico total, en el biochar de cáscara de yuca, para la temperatura de 800°C tuvo un valor de 15.88%, para 850°C 17.55% y para 900°C 24.30%, así mismo pasa para la paja de trigo, en la temperatura menor 900°C con un valor de 25.88%, 950°C de 23.77% y para 1000°C 38.08%; según Biao et al. (2022), menciona que el carbono orgánico total es importante para la actividad biológica del suelo, así mismo tiene que pasar valores de 8.5 % a 11 % para tener resultados en la

productividad, por otro lado Olawole et al. (2019), realizo biochar a base de cáscara de maíz donde aumento el carbono total a 7.6%, y la cantidad de nitrógeno a 8.4%. según Bharat. (2023), realizó abono a base de pajilla de arroz, a una temperatura 800°C, donde se tuvo un mejoramiento de 9% en carbono total, nitrógeno 21% y materia orgánica 4.20%. Por otro lado en la tabla 11, se puede apreciar los valores del pH obtenidos para el biochar de cáscara de yuca, en la temperatura de 800°C fue de 7.84, para 850°C de 8.05 y para 900°C 8.08, en el caso de la paja de trigo las temperaturas fueron más elevadas, para 900°C un valor de 8.36, para 950°C 8.40 para la temperatura mayor de 1000°C fue de 8.48, Según Yang et al.(2022), en su investigación realizo abono de cáscara de naranja, logro bajar el pH inicial de 9 a pH de 5.75, esto debido a la acción de microorganismos y la recuperación de materia orgánica, en una calcinación de 750°C. lo cual fue confirmado por Zhu (2018), realizo abono de cascara de maiz a temperaturas de 400°C y 600°C, regulando el pH a 5.85- 6. Sin embargo, Hu-Xu et al. (2021), realizo biochar a base de cascara de arroz y aserrín a temperaturas de 750°C y 900°C, aplicados en un suelo con alto nivel de salinidad logrando bajar el pH a 5.70. De la misma manera se puede observar en la tabla 12 la conductividad eléctrica para cada biochar, iniciando por la cáscara de yuca en la temperatura de 800°C con un valor de 3.24 mS/cm, para 850°C de 4.07 mS/cm, para 900°C de 4.39 mS/cm, bajando al nivel inicial que fue de 9.67 mS/cm, lo mismo sucedió con la paja de trigo, para la temperatura de 900°C fue de 2.94 mS/cm, de 950°C de 3.04 mS/cm y la temperatura mayor de 1000°C de 3.14 mS/cm; esto coincide con Zhang et al. (2019), en su investigación realizó abono de hojas secas, cáscara de maíz y paja de trigo a temperatura de 800° regularizando el nivel de conductividad de 8.75 mS/cm a 2.56 mS/cm, aumentando la posibilidad de productividad. Para Raúl et al. (2023), realizo abono de pajilla de arroz a 600°C, donde bajo el nivel de salinidad a 4, convirtiendo en un suelo apto para el cultivo. En la tabla 13, se muestran los valores promedios de materia orgánica para cada biochar, iniciando por la cáscara de yuca temperatura de 800°C obtuvo un valor de 3.15%, para 850°C de 2.87% y de 900°C de 1.31%, lo mismo sucedió con la paja de trigo, a temperatura de 900°C fue de 4.01 %, en 950°C

de 4.43 %y para 1000°C de 2.52%, Según Rui- Cen et al. (2021), en su investigación realizó biochar a base de pajilla de arroz, donde aplicó 20, 30 y 50 kg por hectárea, se tuvo mayor eficiencia en la retención de nitrógeno a 110%, y en la dosis mayor 3.50% de materia orgánica, en una temperatura de 800°C, por su parte Xin Yang et al. (2022), menciona que realizó tratamientos a base de paja de trigo a temperaturas de 590°C y 800°C, obteniendo como resultados en materia orgánica un 5.7% y 50% de porosidad. Por otro lado, Franklin et al. (2023), elaboro biochar de pajilla de arroz, propuso dos tratamientos a dos temperaturas 600°C y 800°C, lo cual la temperatura menor logro recuperar la cantidad de nitrógeno a un 89%, sin embargo, la materia orgánica se recuperó en un 3 % debido a la cantidad aplicada, a comparación de la temperatura de 800°C, que obtuvo en cantidad de nitrógeno un 20% y materia orgánica a 4%. Para finalizar en la tabla 14 se observa los valores promedios para la humedad de cada biochar, para la cáscara de yuca en la temperatura de 800°C el valor fue de 18.83%, para la de 850°C de 28.55% y para la de 900°C de 40.25%, para el caso de paja de trigo, la temperatura de 900°C de 32.83%, para la de 950 °C de 25.22°C y para la de 1000°C de 33.11%. es así que Joaquín et al. (2023), menciona que un suelo apto para el cultivo se encuentra en el valor de 50% en su capacidad máxima de retención. Por su parte Lucas et al. (2021), la retención de humedad depende del tipo de suelo, si es un suelo arcilloso o arenoso la humedad va a variar en los valores de 12% a 36%, un suelo contaminando los valores no son mayores a 5%. También Evaldo et al. (2021), en su investigación recalca la importancia de la humedad en el suelo, donde indica que al 28% de humedad se puede evitar la erosión del suelo, ya que va a regular la ductilidad, salinidad y densidad del suelo.

En la tabla 15 y 16, se puede observar las mediciones de nitrógeno; para el biochar de cáscara de yuca, se evaluó en tres temperaturas de 800°C, 850°C y 900°C, en tres dosis diferentes de 20,30 y 40g, teniendo como mayor porcentaje de nitrógeno en la temperatura de 800°C en la dosis de 40g, con una cantidad de 0.22%, en el biochar de paja de trigo se evaluó en tres temperaturas de 900°C, 950°C y 1000°C, en dosis diferentes de 40, 50 y 60g; obteniendo mayor resultado en la temperatura de 900°C en la dosis de



60g, teniendo como resultado un porcentaje de 0.23%. Para ello Aryo et al. (2021), en su investigación realizó 4 tratamientos a temperatura 400°C, 650°C y 800°C, lo cual la temperatura menor obtuvo un porcentaje de 4%, de 650°C de 8% y la temperatura de 800°C obtuvo una capacidad de 12% de nitrógeno, el blanco inicio con 0% de nitrógeno. Por su lado Nisar et al. (2022), realizo biochar a base de pajilla de arroz y hojas secas, lo cual logro aumentar en 36% el nitrógeno, con pH ajustado a neutro. asimismo, Archana et al. (2023), menciona la importancia del nitrógeno en el suelo, ya que es el elemento principal para el crecimiento y desarrollo de las plantas, también menciona el valor adecuado a partir de 8%

En la tabla 17, 18, 19 y 20 podemos constatar que los biochar tanto de cáscara de yuca y paja de trigo, incinerados a menor temperatura y aplicados en mayor dosis a suelos degradados, obtendrán mejores resultados, iniciando con el residuo de yuca y su temperatura de 800°C con una dosis aplicada de 40 gramos el promedio de hojas de altura por plantas fue de 19.33, numero de hojas fue de 3.08, longitud de hoja 9.00 y número de plantas 3.00; a comparación de 850°C que obtuvo resultados bajos en el promedio de altura de planta de un 7.33, número de hojas 1.08, longitud de hojas 8.67 y número de plantas por recipiente de 2.00 y en la temperatura de 900°C fueron muy bajas las mediciones su altura por planta su promedio fue de 7.33, número de hojas 1.08, longitud de hojas 3.92 y número de plantas por recipiente fue de 1.67. Así mismo en los resultados obtenido del biochar de residuo de trigo, la menor temperatura y a mayor dosis obtuvieron mejores resultados para la de 900°C con una dosis aplicada de 60 gramos el promedio de hojas de altura por plantas fue de 15.1, numero de hojas fue de 2.56, longitud de hoja 8.67 y número de plantas 2.58; a comparación de 950°C que obtuvo resultados bajos en el promedio de altura de planta de un 7.67, número de hojas 1.42, longitud de hojas 4.17 y número de plantas por recipiente de 2.00 y en la temperatura de 1000°C fueron muy bajas las mediciones su altura por planta su promedio fue de 6.33, número de hojas 1.08, longitud de hojas 3.42 y número de plantas por recipiente fue de 1.75. Según Pravat et al. (2023), indica que el biochar es un producto hecho a base de residuo agrícolas, viene hacer un producto sólido rico en carbono

producido mediante el método de pirólisis en condiciones deficientes en oxígeno, la función más importante del biochar es retención de carbonó y nutrientes del suelo. Para Oladele, Adeyemo y Awodun (2018), en su artículo en el cual investigo la productividad del cultivo de arroz aplicando el biochar, nos comenta que este es un producto que ayuda a mejorar el rendimiento del suelo, si este se aplica a dosis altas por lo cual ellos utilizaron de 1 a 10 toneladas por hectáreas, mejorando las características de la planta y teniendo un mejor cultivo. Mientras tanto Ogura et al. (2021), en su artículo no habla sobre las potenciales de biochar de biomosas agrícolas (trigo, maíz y arroz), las cuales cumplen un rol muy importante para adsorción de pesticidas que se encuentran en el suelo, ya que este es un producto carbono que tiene la facilidad de adsorber los diferentes químicos y también puede ayudar a mejorar sus propiedades.

## **VI. CONCLUSIONES**

1. Las mejores propiedades de biochar obtenido de cáscara de yuca y paja de trigo, en base a la lignina y relación carbono/ nitrógeno, se obtuvieron a temperaturas de pirolisis de 800°C y 900°C respectivamente.
2. Los mejores resultados obtenidos de carbono total, nitrógeno y materia orgánica en el suelo tratado, fueron obtenidos usando biochar de cáscara de yuca y paja de trigo usando dosis de 40 g a 800°C y 60 g a 900°C respectivamente.
3. Los mejores resultados del cultivo de *Lactuca sativa*, en base a las características biológicas de altura, longitud de hojas y número de hojas, se obtuvieron usando biochar de cáscara de yuca a 800°C y con una dosis de 40 g/kg de suelo degradado.
4. La temperatura y el tipo de residuo lignocelulósico utilizado en la producción del biochar, afectan las propiedades fisicoquímicas del suelo, así como en las propiedades biológicas del cultivo de la *Lactuca sativa* en suelos degradados.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Utilizar biochar a base de paja de trigo para la aplicación del cultivo de lechuga, puesto que presenta un mayor contenido nutricional de carbono y nitrógeno total que van ayudar en su desarrollo.

Elaborar biochar de residuos lignocelulósicos a bajas temperaturas de calcinación; para mantener los nutrientes necesarios para tener más eficiencia en la recuperación del suelo y crecimiento de una planta.

Utilizar residuos lignocelulósicos en altos contenidos de nutrientes, para nutrir en materia orgánica al suelo y tener mayor productividad.

Utilizar la técnica adecuada para la toma de muestra de suelo, así mismo realizar un adecuado traslado al laboratorio poder evitar alteraciones en dichas muestras.

Utilizar otros tipos de residuos, a diferentes temperaturas para comprobar la eficiencia del biochar

## REFERENCIAS

- Abhishek., [et al]. Biochar application for greenhouse gas mitigation, contaminants immobilization and soil fertility enhancement: A state-of-the-art review. In Science of the Total Environment, Volumen 853, 2022, 158562, Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158562>
- Agencia agraria. Perú exportó yuca por US\$ 756 mil en 2020, volumen 3, 2020. Disponible en: <https://agraria.pe/noticias/peru-exporto-yuca-por-us-756-mil-en-2020-24338>
- Agencia agraria. Perú exportó yuca por US\$ 756 mil en 2021, volumen 4, 2020. Disponible en: <https://agraria.pe/noticias/peru-exporto-yuca-por-us-1-2-millones-en-2021-26996>
- Babalola, T. E., Adabembe, B. A., & Faloye, O. T., Water use - yield relationship of maize as influenced by biochar and inorganic fertilizer applications in a tropical sandy clay loam soil. Agricultural Water Management, Volumen 271, 2022, 107801. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377422003481>
- Vásquez., [et al]. Enriquecimiento proteico de los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales de la Región La Libertad con la asociación mixta de *Trichoderma reesei*, *Chaetomium cellulolyticum* y *Candida utilis* para alimentación animal. Arnaldoa, Volumen 27, 2020, ISSN 2413. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2413-32992020000100099](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992020000100099)
- Chen, Y., Zhao, C., Zhang, D., Zhang, S., Zeng, W., & Li, Z. The effect of amending soils with biochar on the microhabitat preferences of *Coptotermes formosanus* (Blattodea: Rhinotermitidae). Ecotoxicology and Environmental Safety, Volumen 232, 2022, 113240. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113240>
- Frimpong, K. A., Phares, C. A., Boateng, I., Abban-Baidoo, E., & Apuri, L. One-time application of biochar influenced crop yield across three cropping cycles on tropical sandy loam soil in Ghana. Heliyon, Volumen 9, 2021, 6267. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06267>

- Gao, Y., Shao, G., Wu, S., Xiaojun, W., Lu, J., & Cui, J. Changes in soil salinity under treated wastewater irrigation: A meta-analysis, Volumen 255, 2021, 106986. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106986>.
- Gale, N. v., & Thomas, S. C. (2019). Dose-dependence of growth and ecophysiological responses of plants to biochar. *Science of the*, Volumen 658, 2019, 1344–1354. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.239>
- Guo, Z., Jalalah, M., Alsareii, S. A., Harraz, F. A., Thakur, N., & Salama, E.-S. Biochar addition augmented the microbial community and aided the digestion of high-loading slaughterhouse waste: Active enzymes of bacteria and archaea, Volumen 309, 2022, 136535. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136535>
- Godlewska, P., Joško, I., & Oleszczuk, P. (2022). Ecotoxicity of sewage sludge- or sewage sludge/willow-derived biochar-amended soil. Volumen 305, 2022, 119235. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119235>
- Guo, Z., Jalalah, M., Alsareii, S. A., Harraz, F. A., Thakur, N., & Salama, E.-S. Biochar addition augmented the microbial community and aided the digestion of high-loading slaughterhouse waste: Active enzymes of bacteria and archaea. Volumen 309, 2022, 136535. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136535>
- Herrmann, L., Lesueur, D., Robin, A., Robain, H., Wiriyaakitnateekul, W., & Bräu, L. Impact of biochar application dose on soil microbial communities associated with rubber trees in North East Thailand. Volumen 689, 2019, 970–979. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.441>
- Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Volumen 71, 2018. Disponible en: <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Honvault., [et al]. Positive or neutral effects of biochar-compost mixtures on earthworm communities in a temperate cropping system. *Applied Soil Ecology*. Volumen 182, 2022, 104684. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104684>
- Hazrati, S., Farahbakhsh, M., Cerdà, A., & Heydarpoor, G. Functionalization of ultrasound enhanced sewage sludge-derived biochar: Physicochemical

- improvement and its effects on soil enzyme activities and heavy metals availability. *Chemosphere*. Volumen 269, 2021, 128767. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128767>
- Ji., [et al]. Effects of different feedstocks-based biochar on soil remediation: A review. In *Environmental Pollution*, Volumen 294, 2022, 118655. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118655>
- Kang., [et al]. Enhancement of soil physical properties and soil water retention with biochar-based soil amendments. Volumen 836, 2022, 155746. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155746>
- Kocsis, T., Kotroczó, Z., Kardos, L., & Biró, B. (2020). Optimization of increasing biochar doses with soil–plant–microbial functioning and nutrient uptake of maize. *Environmental Technology and Innovation*, Volumen 20, 2020, 101191. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101191>
- Kononchuk., [et al]. Evaluation of the impact of varied biochars produced from *M. x giganteus* waste and application rate on the soil properties and physiological parameters of *Spinacia oleracea* L. Volumen 28, 2022, 102898. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102898>
- Kumari, S., Kumar, V., Kothari, R., & Kumar, P. Effect of supplementing biochar obtained from different wastes on biochemical and yield response of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.): An experimental study. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, Volumen 43, 2022, 102432. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102432>
- Lataf., [et al]. The effect of pyrolysis temperature and feedstock on biochar agronomic properties. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volumen 168, 2022, 105728. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2022.105728>
- Li., [et al]. Low-dose biochar added to sediment improves water quality and promotes the growth of submerged macrophytes. *Science of the Total Environment*, Volumen 742, 2020, 140602. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140602>
- Liu, M., Zhu, J., Yang, X., Fu, Q., Hu, H., & Huang, Q. Biochar produced from the straw of common crops simultaneously stabilizes soil organic matter and heavy metals.

*Science of the Total Environment*, Volumen 828, 2022, 154494. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154494>

Liu, X., Dong, X., Chen, S., Yan, Y., He, J., Xu, J., & Xu, J. Enhancing erythritol production by wheat straw biochar-incorporated solid-state fermentation of agricultural wastes using defatted *Schizochytrium* sp. biomass as supplementary feedstock. *Industrial Crops and Products*, Volumen 170, 2021, 113703. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113703>

Li., [et al]. Biochar reduced soil N losses and improved N balance in a rainfed winter-wheat cropping agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, Volumen 179, 2022, 104591. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104591>

Lima., [et al]). Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. *Geoderma*, Volumen 319, 2017, 14–23. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.033>

Liu, X., Wang, W., Peñuelas, J., Sardans, J., Chen, X., Fang, Y., Alrefaei, A. F., Zeng, F., & Tariq, A. Effects of nitrogen-enriched biochar on subtropical paddy soil organic carbon pool dynamics. Volumen 851, 2022, 158322. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158322>

Nobile, C., Denier, J., & Houben, D. Linking biochar properties to biomass of basil, lettuce and pansy cultivated in growing media. *Scientia Horticulturae*, Volumen 261, 2020, 109001. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109001>

Mao, Q., Hu, B., Agathokleous, E., Wang, L., Koike, T., Ma, M., & Rennenberg, H. Biochar application improves karstic lime soil physicochemical properties and enzymes activity and enhances sweet tea seedlings physiological performance. Volumen 830, 2022, 154815. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154815>

Muhammad, N., Ge, L., Khan, M. H., Chan, W. P., Bilal, M., Lisak, G., & Nafees, M. Effects of different biochars on physicochemical properties and immobilization of potentially toxic elements in soil - A geostatistical approach. *Chemosphere*, Volumen 277, 2021, 130350. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130350>



- PALOMO GONZÁLEZ, Luisiana Fabiola. Valorización de productos de la conversión termoquímica de biomasa lignocelulósica residual: biochar como aditivo agrícola. 2020. Disponible en: <http://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/7106>
- Proain tecnología agraria, 2020. Disponible en: [https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/manejo-del-riego-en-la-produccion-de-lechuga#:~:text=El%20riego%20en%20lechuga,meses%20c%C3%A1lidos%20\(primavera%20verano.](https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/manejo-del-riego-en-la-produccion-de-lechuga#:~:text=El%20riego%20en%20lechuga,meses%20c%C3%A1lidos%20(primavera%20verano.)
- Peña H., Karen J.; Giraldo, Liliana; Moreno, Juan Carlos PREPARACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA POR ACTIVACIÓN QUÍMICA. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA Revista Colombiana de Química, vol. 41, núm. 2, julio-diciembre, 2012, pp. 311-323 Universidad Nacional de Colombia. <https://www.redalyc.org/pdf/3090/309028756010.pdf>.
- ÖZ, H. A new approach to soil solarization: Addition of biochar to the effect of soil temperature and quality and yield parameters of lettuce (*Lactuca Sativa* L. Duna). Volumen 228, 2018, 153–161. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.021>
- Qi., [et al]. Biochar changes thermal activation of greenhouse gas emissions in a rice–lettuce rotation microcosm experiment. *Journal of Cleaner Production*, Volumen 247, 2022, 119148. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119148>
- Sharma., [et al]. from fruit crops waste and its potential impact on fruit crops. In *Scientia Horticulturae* Volumen 299, 2022, 111052. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111052>
- Sui, L., Tang, C., Cheng, K., & Yang, F. Biochar addition regulates soil phosphorus fractions and improves release of available phosphorus under freezing-thawing cycles. *Science of the Total Environment*, Volumen 848, 2022, 157748. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157748>
- Wang., [et al]. Effect of pyrolysis temperature of biochar on Cd, Pb and As bioavailability and bacterial community composition in contaminated paddy soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volumen 247, 2022, 114237. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114237>

- Wang., [et al]. Rhizospheric pore-water content predicts the biochar-attenuated accumulation, translocation, and toxicity of cadmium to lettuce. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volumen 208, 2020, 111675. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111675>
- Yuan., [et al]. Co-application of biochar and pyroligneous acid improved peanut production and nutritional quality in a coastal soil. *Environmental Technology and Innovation*, Volumen 28, 2022, 102886. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102886>
- Tan., [et al]. A perspective on the interaction between biochar and soil microbes: A way to regain soil eminence. *Environmental Research*, Volumen 214, 2022, 113832. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113832>
- Zhao, Y., & Naeth, M. A. Lignite derived humic products and cattle manure biochar are effective soil amendments in cadmium contaminated and uncontaminated soils. *Environmental Advances*, Volumen 8, 2022, 100186. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100186>
- Zhang., [et al]. Optimal nitrogen fertilizer, which determines straw properties, and pyrolysis temperatures produce desired-biochars that can be used as a soil amendment. *Chemosphere*, Volumen 308, 2022, 136572. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136572>
- Van., [et al]. Valorization of agriculture waste biomass as biochar: As first-rate biosorbent for remediation of contaminated soil. *Chemosphere*, Volumen 307, 2022, 135834. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135834>
- Wang., [et al]. The effectiveness of reed-biochar in mitigating phosphorus losses and enhancing microbially-driven phosphorus dynamics in paddy soil. *Journal of Environmental Management*, Volumen 314, 2022, 115087. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115087>
- Weber, K., & Quicker, P. (2018). Properties of Biochar, Volumen 217, pp. 240–261, 2018, 12054. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.12.054>

## ANEXOS

**Tabla 21.** Matriz de operacionalización de las variables de investigación

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente (X1) Tipos de residuos lignocelulósicos	Los residuos lignocelulósicos son aquellos sub productos de cultivos que ya se han cosechados y han pasado por algún proceso en la industria (Indira, Manuel y jesica, 2017).	Preparado a partir de las cascaras de yuca y trigo.	Residuo de cascara de yuca. Residuos cascara de trigo.	Humedad Lignina Carbono total Nitrógeno total Cenizas	Ordinal
Variable independiente (X2) Niveles de temperatura para	Según Yan et al., (2017), la temperatura tiene un papel importante para la elaboración del Biochar y sobre todo el rendimiento.	Temperatura para el residuo de cascara de yuca.	800° C 850° C 900° C	Temperatura	Ordinal

producción del Biochar.		Temperatura para el residuo de cascara de trigo	900° C		
			950° C		
			100° C		
Variable independiente (x3)	Según et al., (2019) la dosis al igual que la temperatura son importantes para ver si en realidad, las propiedades de un suelo mejoran y puede ser utilizado para la agricultura.	Dosis de biochar de la cascara de yuca.	20 gr		Ordinal
Dosis diferentes de biochar.			30 gr		
			40 gr	Gramos	
		Dosis de biochar de la paja de trigo	40 gr		
			50 gr		
			60 gr		

Variable Dependiente (y1)	Según Abu et al., (2022), el Biochar es el resultado de la combinación de diferentes residuos vegetales, mediante el método de pirolisis.	Se van a medir las propiedades del suelo con Biochar de acuerdo a los indicadores establecidos.	Propiedades físicas.	Conductividad	Ordinal
Propiedades del suelo con biochar			Propiedades químicas	Humedad	
				Porosidad	
				NPK	
				pH	
				Carbono total	

---

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 22.** Ficha de recolección de datos de la *Lactuca sativa*

**INDICADORES DE LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO**

Tratamiento: .....

FECHA	Altura (cm)	Número de hojas por planta	Peso de la planta en gramos	Nombre del evaluador	Observación

Fuente: elaboración propia

**Tabla 23.** Ficha de medición de los parámetros de las propiedades del suelo

**INDICADORES DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO CON BIOCHAR**

Evaluador: .....

FECHA	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS					CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	Residuo	T°
	Carbono Total	pH	Conductividad	N	MO	Humedad		

Fuente: elaboración propia

**Tabla 24.** Ficha de medición de los parámetros del Biochar

**INDICADORES DE LOS PARÁMETROS DEL BIOCHAR**

Evaluador: .....

Fecha	Características químicas				Características físicas	Residuo	T°
	Carbono Total	Lignina	Nitrógeno total	Cenizas	Humedad		

Fuente: elaboración propia











**Figura 10.** *Lugar de toma de muestra del suelo*



Figura 11. Análisis de los parámetros del suelo



Análisis de aguas, alimentos, suelos, fertilizantes

**INFORME DE ENSAYO N° 133-2022**

Cliente : Ghina Mirella Guevara Salinas  
 Muestra : Suelo  
 Nro. de muestras : 1  
 Recepción de muestra : En Laboratorio  
 Fecha de recepción de muestra : 13 de abril del 2023

PARÁMETROS	Unidad	Resultado
pH (1:1)	Unidad de pH	8.65
Conductividad eléctrica (1:1)	mS/cm	9.67
Materia Orgánica	%	0.80
<b>MACROELEMENTOS</b>		
Nitrógeno	%	0.04
Fósforo disponible	ppm	2.92
Potasio disponible	ppm	357
<b>ANÁLISIS TEXTURAL</b>		
Arena	%	80.0
Limo	%	7.5
Arcilla	%	12.5
Clase	-	Franco - arenosa

**INTERPRETACIÓN:**

Reacción del suelo (pH)	Muy alcalino
Salinidad (C.E.)	Fuertemente salino
Materia Orgánica (M.O.)	Bajo
Nitrógeno (N)	Bajo
Fósforo disponible (P)	Bajo
Potasio disponible (K)	Muy Alto

Ensayo	Metodología aplicada
Nitrógeno total	Método Kjeldahl
Fósforo disponible:	Espectrofotométrico - Método Olsen
Potasio disponible	Espectroscopia de Absorción Atómica
Materia orgánica	Método Walkley y Black
pH, Conductividad eléctrica	Potenciométrico
Análisis textural	Método Bouyoucos

Trujillo, 15 de abril del 2023

  
 JUAN C. SANCHEZ CARRASCO  
 INGENIERO QUIMICO  
 Reg. CIP: 124131

C.c.archivo,

PÁG. 1 - 1



Figura 12. Incineración de los residuos de cascara de yuca y paja de trigo



**Figura 13. Aplicación del biochar en el suelo**



**Figura 14. Sembrado de la lechuga**





**Figura 15.** Crecimiento de la lechuga en suelo aplicado con biochar de cáscar de yuca de 800°C y dosis de 20 g



**Figura 16.** Crecimiento de la lechuga en suelo aplicado con biochar de cáscar de yuca de 800°C y dosis de 30 g



**Figura 17.** Crecimiento de la lechuga en suelo aplicado con biochar de cáscar de yuca de 800°C y dosis de 40 g



**Figura 18.** Crecimiento de la lechuga en suelo aplicado con biochar de paja de trigo de 900°C y dosis de 40 g





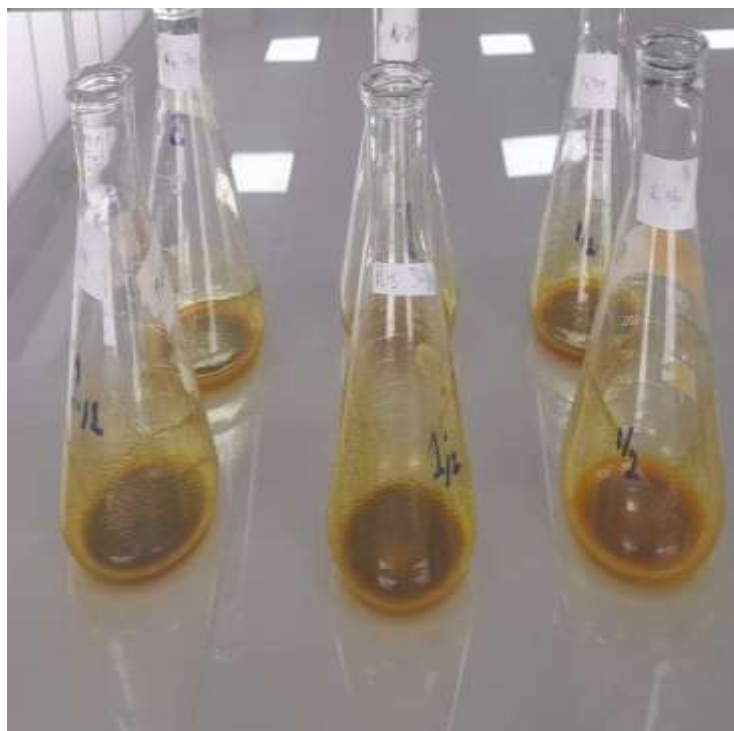
**Figura 19.** Crecimiento de la lechuga en suelo aplicado con biochar de paja de trigo de 900°C y dosis de 50 g



**Figura 20.** Crecimiento de la lechuga en suelo aplicado con biochar de paja de trigo de 900°C y dosis de 60 g



**Figura 21.** *Medición de Materia orgánica*



**Figura 22.** *Análisis de Nitrógeno*



**Figura 23.** Medición de ph



**Figura 24.** Medición de conductividad





Figura 25. *Medición de humedad*



Figura 26. Resultados de Medición de Nitrógeno en el suelo



**INFORME DE ENSAYO N° 0166-2023**

Cliente : Ghina Mirella Guevara Salinas  
 Muestra : Suelo con Biochar  
 Nro. de muestras : 6  
 Recepción de muestra : En Laboratorio  
 Fecha de recepción de muestra : 15 de mayo del 2023

PARÁMETROS	Unidad	Resultados					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
pH (1:1)	Unidad de pH	8.18	8.15	7.79	8.26	8.24	8.14
Conductividad eléctrica (1:1)	mS/cm	9.06	10.0	9.56	5.68	7.54	5.96
<b>MACROELEMENTOS</b>							
Nitrógeno	%	0.16	0.10	0.16	0.13	0.11	0.13
Fósforo disponible	mg /Kg	46	31	29	44	32	30
Potasio disponible	mg/Kg	351	140	224	304	140	141

M1: Residuo de yuca – 800 °C                      M4: Residuo de trigo – 900 °C  
 M2: Residuo de yuca – 850 °C                      M5: Residuo de trigo – 950 °C  
 M3: Residuo de yuca – 900 °C                      M6: Residuo de trigo – 1000 °C

**Metodología aplicada:**

Ensayo	Metodología
Nitrógeno total	Método Kjeldahl
Fósforo disponible:	Espectrofotométrico – Método Olsen
Potasio disponible	Espectroscopía de Absorción Atómica
pH, Conductividad eléctrica	Potenciométrico

Trujillo, 18 de mayo del 2023

JUAN C. SANCHEZ CARRASCO  
 INGENIERO QUIMICO  
 Reg. CIP: 124131

C.e.archivo,



**INFORME DE ENSAYO N° 0175-2023**

Cientes : Ghina Mirella Guevara Salinas  
 Moisés Odar Ruiz  
 Proyecto : Producción de Biochar de Residuos Lignocelulósicos y su efecto en las propiedades y uso en suelos degradados  
 Muestras : Suelo con Biochar – Primera Repetición  
 Nro. de muestras : 10  
 Recepción de muestras : En Laboratorio  
 Fecha de recepción de muestra : 22 de mayo del 2023

**Resultados:**

Ensayo	Unidad	Biochar de cáscara de yuca					Biochar de paja de trigo				
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Nitrógeno, N	%	0.12	0.14	0.15	0.14	0.22	0.13	0.14	0.13	0.14	0.23

(\*) La toma de muestra y envío hasta recepción en el Laboratorio es responsabilidad del cliente.

M1: Dosis 20 g – 800 °C                      M6: Dosis 40 g – 900 °C  
 M2: Dosis 20 g – 800 °C                      M7: Dosis 40 g – 900 °C  
 M3: Dosis 30 g – 800 °C                      M8: Dosis 50 g – 900 °C  
 M4: Dosis 30 g – 800 °C                      M9: Dosis 50 g – 900 °C  
 M5: Dosis 40 g – 800 °C                      M10: Dosis 60 g – 900 °C

**Metodología aplicada:**

Ensayo	Metodología
Nitrógeno total, N	Método Kjeldahl

Trujillo, 24 de mayo del 2023

JUAN C. SANCHEZ CARRASCO  
 INGENIERO QUIMICO  
 Reg. CIP: 124131

C.e.archivo,

P.

PÁG. 1 - 1

Figura 27. Medición de los parámetros del suelo con biochar



**INFORME DE ENSAYO N° 0166-2023**

Cliente : Ghina Mirella Guevara Salinas  
 Muestra : Suelo con Biochar  
 Nro. de muestras : 6  
 Recepción de muestra : En Laboratorio  
 Fecha de recepción de muestra : 15 de mayo del 2023

PARÁMETROS	Unidad	Resultados					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
pH (1:1)	Unidad de pH	8.18	8.15	7.79	8.26	8.24	8.14
Conductividad eléctrica (1:1)	mS/cm	9.06	10.0	9.56	5.68	7.54	5.96
<b>MACROELEMENTOS</b>							
Nitrógeno	%	0.16	0.10	0.16	0.13	0.11	0.13
Fósforo disponible	mg /Kg	46	31	29	44	32	30
Potasio disponible	mg/Kg	351	140	224	304	140	141

M1: Residuo de yuca – 800 °C  
 M2: Residuo de yuca – 850 °C  
 M3: Residuo de yuca – 900 °C  
 M4: Residuo de trigo – 900 °C  
 M5: Residuo de trigo – 950 °C  
 M6: Residuo de trigo – 1000 °C

**Metodología aplicada:**

Ensayo	Metodología
Nitrógeno total	Método Kjeldahl
Fósforo disponible:	Espectrofotométrico – Método Olsen
Potasio disponible	Espectroscopia de Absorción Atómica
pH, Conductividad eléctrica	Potenciométrico

Trujillo, 18 de mayo del 2023

  
 \_\_\_\_\_  
 JUAN C. SANCHEZ CARRASCO  
 INGENIERO QUIMICO  
 Reg. CIP: 124131

C.c.archivo,

**Tabla 25.** Medición de las características de la *Lactuca Sativa* en Biochar (Cáscara de yuca)

Temperatura °C	Dosis g	Altura (cm)	Número de hojas por planta	Longitud de la hoja (cm)	Número de plantas	Observación	
800	20	6	1	3	3	Presenta un color verde y no presenta plaga	
		7	1	3	3	Presenta un color verde y no presenta plaga	
	30	6	2	4	3	Presenta un color verde y no presenta plaga	
		6	1	3	3	Presenta un color verde y no presenta plaga	
	40	8	2	3	3	Presenta un color verde y no presenta plaga	
		6	2	3	3	Presenta un color verde y no presenta plaga	
	20	33	5	16	3	Planta verde y hojas delgadas	
		27	4	10	3	Planta amarilla y hojas delgadas	
	30	26	5	12	3	Planta verde y no presenta plaga	
		50	4	18	3	Planta verde y no presenta plaga	
	40	24	6	12	3	Planta verde y no presenta plaga	
		33	4	17	3	Planta verde y no presenta plaga	
	850	20	6	1	3	3	Presenta un color verde y no presenta plaga
			7	2	3	3	Presenta un color verde y no presenta plaga
30		8	1	4	3	Presenta un color verde y no presenta plaga	
		8	2	4	3	Presenta un color verde y no presenta plaga	
40		7	2	4	3	Presenta un color verde y no presenta plaga	
		8	2	5	3	Presenta un color verde y no presenta plaga	
20		15	3	16	1	Planta verde y hojas delgadas	
		12	3	10	3	Planta amarilla y hojas delgadas	
30		0	0	12	0	No existe presencia de planta	
		0	0	18	0	No existe presencia de planta	
40		17	4	12	2	Planta verde y no presenta plaga.	
		0	0	17	0	No existe presencia de planta	

900	20	6	2	4	3	Presenta un color verde y no presenta plaga
		6	1	3	3	Presenta un color verde y no presenta plaga
	30	8	1	4	3	Presenta un color verde y no presenta plaga
		6	2	4	3	Presenta un color verde y no presenta plaga
	40	6	2	3	3	Presenta un color verde y no presenta plaga
		8	1	4	3	Presenta un color verde y no presenta plaga
	20	0	0	0	0	No existe presencia de planta
		0	0	0	0	No existe presencia de planta
	30	25	3	12	1	Planta verde y hojas delgadas
		0	0	0	0	No existe presencia de planta
	40	23	1	13	1	Planta verde y no presenta plaga
		0	0	0	0	No existe presencia de planta

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 26.** Medición de las características de la *Lactuca Sativa* en Biochar (Paja de trigo)

Temperatura	Dosis	Altura (cm)	Número de hojas por planta	longitud de la hoja	Número de plantas	Observación
900	40 g	6	1	4	3	Planta verde y no presenta plaga
		8	2	5	3	Planta verde y no presenta plaga
	50 g	6	2	4	3	Planta verde y no presenta plaga
		6	2	3	3	Planta verde y no presenta plaga
	60 g	8	2	5	3	Planta verde y no presenta plaga
		8	2	5	3	Planta verde y no presenta plaga
	40 g	17	2	9	2	Planta verde y hojas delgadas
		18	1	11	2	Planta amarilla y hojas delgadas
	50 g	22	3	12	1	Planta verde con manchas amarillas
		20	4	15	2	Planta verde y no presenta plaga
	60 g	23	4	10	3	Planta verde y no presenta plaga



		40	5	21	3	Planta verde y no presenta plaga
	40 g	7	1	4	3	Planta verde y no presenta plaga
		6	1	3	3	Planta verde y no presenta plaga
	50 g	6	1	3	3	Planta verde y no presenta plaga
		6	2	4	3	Planta verde y no presenta plaga
	60 g	6	2	3	3	Planta verde y no presenta plaga
950		6	1	3	3	Planta verde y no presenta plaga
	40 g	0	0	0	0	No existe planta
		14	2	8	2	Planta amarilla y hojas delgadas
	50 g	0	0	0	0	No existe planta
		0	0	0	0	No existe planta
	60 g	23	4	12	3	Planta verde y no presenta plaga
		18	3	10	1	Planta verde y no presenta plaga
	40 g	6	2	3	3	Planta verde y no presenta plaga
		6	1	4	3	Planta verde y no presenta plaga
	50 g	6	1	4	3	Planta verde y no presenta plaga
		6	1	4	3	Planta verde y no presenta plaga
	60 g	6	2	3	3	Planta verde y no presenta plaga
		6	2	3	3	Planta verde y no presenta plaga
1000	40 g	12	1	8	2	Planta verde y hojas delgadas
		0	0	0	0	No existe planta
	50 g	28	3	12	1	Planta verde y no presenta plaga
		0	0	0	0	No existe planta
	60 g	0	0	0	0	No existe planta
		0	0	0	0	no existe planta

**Fuente:** elaboración propia