



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR  
DE LOS RÍOS**

---

---

**INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL:**

APLICACIÓN DE BIOCARBÓN OBTENIDO DE RESIDUOS DE PALMA DE  
ACEITE PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS COMPOSTAS.

**PRESENTA:**

VALERIA SALAS POZO

**NÚMERO DE CONTROL: 18E20202**

**ASESOR INTERNO**

ING. EDRO MEDINA MONTOYA

**ASESOR EXTERNO**

M.B FERNANDO MAY ESQUIVEL

BALANCÁN, TABASCO; SEPTIEMBRE DE 2023.

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS</b>	<b>7</b>
3.1	Objetivo general	7
3.2	Objetivos específicos	7
<b>4</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN LA QUE SE PARTICIPO</b>	<b>8</b>
4.1	Organigrama de la empresa	9
<b>5</b>	<b>PROBLEMAS A RESOLVER</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>ALCANCES Y LIMITACIONES</b>	<b>11</b>
6.1	Alcances	11
6.2	Limitaciones	11
<b>7</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>12</b>
7.1	¿Qué es el Biocarbón?	12
7.2	Usos del Biocarbón	13
7.3	Beneficios del uso de biocarbón	14
7.4	Agroindustria de la palma de aceite	15
7.5	Residuos industriales de la palma de aceite	15
7.6	Compost	16
<b>8</b>	<b>PROCEDIMIENTOS Y DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS</b>	<b>18</b>
8.1	Determinar el rendimiento de carbono fijo en Biocarbón obtenido de la carbonización de los residuos de fibra de palma de aceite	18
8.1.1	Recolección de residuos de palma de aceite	19
8.1.2	Secado de residuos de palma de aceite	19
8.1.3	Carbonización de los residuos de palma de aceite	19
8.2	Analizar el efecto de la aplicación de diferentes dosis o mezclas de Biocarbón sobre las propiedades de la composta obtenida	19
8.2.1	Recolección de composta	19
8.2.2	Preparación y aplicación de dosis de Biocarbón a las compostas	19
8.3	Evaluar el desarrollo vegetativo de plantas de viveros cultivadas con abono de composta mejorada con Biocarbón	20
8.3.1	Análisis de germinación	20
8.3.2	Análisis de desarrollo vegetativo	20
<b>9</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>21</b>
9.1	Determinación del rendimiento de carbono fijo en biocarbón obtenido de la carbonización de los residuos de fibra de palma de aceite	21

9.2	Analizar el efecto de la aplicación de diferentes dosis o mezclas sobre las propiedades de la composta obtenida.....	23
9.2.1	pH.....	23
9.2.2	Conductividad eléctrica.....	24
9.3	Evaluar el desarrollo vegetativo de plantas de vivero cultivadas con abono de composta mejorada con biocarbón.....	24
9.3.1	Análisis de germinación.....	24
9.3.2	Análisis Vegetativo .....	25
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>28</b>
<b>11</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>29</b>
<b>12</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>30</b>
12.1	Anexo 1. Memoria fotográfica .....	30
12.2	Anexo 2. Pruebas de laboratorio.....	31
	.....	31
<b>13</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>32</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización del Instituto Tecnológico Superior de los Ríos.....	8
Figura 2. Organigrama de la Institución. ....	9
Figura 3. Organigrama del departamento de Ing. Bioquímica. ....	9
Figura 4. Rendimiento de biocarbón. ....	22
Figura 5. Promedio de altura de las plantas. ....	25
Figura 6. Peso promedio de plantas.....	27
Figura 7. Peso promedio de plantas secas. ....	27

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 fórmulas para calcular carbono fijo.....	18
Tabla 2 Determinación de carbono fijo a 550 °C. ....	21
Tabla 3 Rendimiento de biocarbón a diferentes temperaturas. ....	22
Tabla 4 Altura de plantas 30 días después de germinación.....	25
Tabla 5. Peso fresco de las plantas a los 30 días después de la germinación. ....	26
Tabla 6. Peso seco de las plantas.....	26

## 1 INTRODUCCIÓN

En México la palma de aceite es utilizada principalmente para la extracción de aceite, proceso durante el cual existen diversos residuos que en su mayoría no son utilizados con algún fin específico y que se vuelven un foco de contaminación si no son tratados adecuadamente. (Fedepalma, 2016).

El manejo de los residuos producidos por las plantas extractoras de palmas de aceite se ha convertido en un asunto de gran importancia. A través de diversos estudios, muchos de plantas de beneficio, se ha llegado a la conclusión de que el manejo de los residuos por procesos de compostaje es la mejor alternativa porque beneficia al medio ambiente, por la disminución en la generación de CO<sub>2</sub>. (Jimeno, Mendoza y Pérez, 2012).

Los residuos de la palma de aceite se convierten en materia prima y esta es muy eficiente ya que esta enriquecida de nutrientes, el cual al convertirlo en biocarbón para adicionarle a las compostas ayudan mejorando el rendimiento, desarrollo y crecimiento de las plantas en los viveros. (Fedepalma, 2016).

La aplicación de biocarbón modifica la actividad biológica del suelo, ya que le proporciona un hábitat favorable a los microorganismos dentro de su estructura altamente porosa o altera la disponibilidad de sustratos y las actividades enzimáticas que están sobre o alrededor de las partículas del biocarbón. (Cabrera et al., 2016; Laverde et al., 2019).

Se ha demostrado que la aplicación de biocarbón posiblemente suprima algunas enfermedades causadas por patógenos del suelo. En una cantidad limitada de experimentos en invernaderos, se ha demostrado que la incorporación de biocarbón en sustratos mejora la producción de las cosechas, incrementa las poblaciones de microbios que promueven el crecimiento y la supresión de enfermedades de las plantas. (Van Dam, 2017).

Este trabajo tiene la finalidad mejorar las propiedades de la composta utilizada para sustrato en los viveros, mediante aplicaciones de biocarbón.

## **2 JUSTIFICACIÓN**

Las empresas que se dedican a la extracción de aceite de palma, desechan o almacenan los residuos que quedan después de este proceso, es por esto con la elaboración de biocarbón a base de residuos de palma de aceite se busca reducir un poco el amontonamiento en las empresas y con esto reducir la contaminación que generan.

Estudios han demostrado que la aplicación de Biocarbón a los suelos potencia la productividad de los cultivos y mejora la calidad de las plantas, estos efectos son atribuidos a los aumentos en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH deseado, la cantidad de materia orgánica, la retención de nutrientes, disminución de la lixiviación y el desarrollo y diversificación de las comunidades microbianas del suelo.

Los residuos de palma de aceite se convierten en materia prima muy eficiente ya que esta enriquecida de nutrientes, lo cual al convertirlo en Biocarbón enriquece las compostas y estas ayudan a las plantas a su buen desarrollo.

El artículo 5, fracción XXIX de la LGPGIR, establece que un residuo es Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven.

Estos residuos se pueden someter a un proceso de compostaje para convertirlos en fertilizantes orgánicos que son utilizados nuevamente en los cultivos de palma, con el fin de generar una mayor productividad y contribución positiva al medio ambiente. Los productores de sembrando vida, así como las personas que se dedican a la siembra de plantas serían los principales beneficiados con la elaboración de este Biocarbón, así como las industrias que se dedican a la extracción del aceite de la palma, ya que le darán otro uso a los desechos que obtienen después que pasan por el proceso de extracción.

### **3 OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar la aplicación de biocarbón obtenido de residuos de palma de aceite para el mejoramiento de las propiedades de la composta utilizada para sustrato en viveros.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Determinar el rendimiento de carbono fijo en biocarbón obtenido de la carbonización de los residuos de fibra de palma de aceite.
- Analizar el efecto de la aplicación de diferentes dosis o mezclas de biocarbón sobre las propiedades de la composta obtenida.
- Evaluar el desarrollo vegetativo de plantas de viveros cultivadas con abono de composta mejorada con biocarbón.

#### 4 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN LA QUE SE PARTICIPO

Este proyecto se llevó a cabo en el departamento de Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico Superior de los Ríos, el cual se ubica en el km 3 de la carretera Balancán-Villahermosa, en Balancán Tabasco, este fue fundado en el año de 1996.

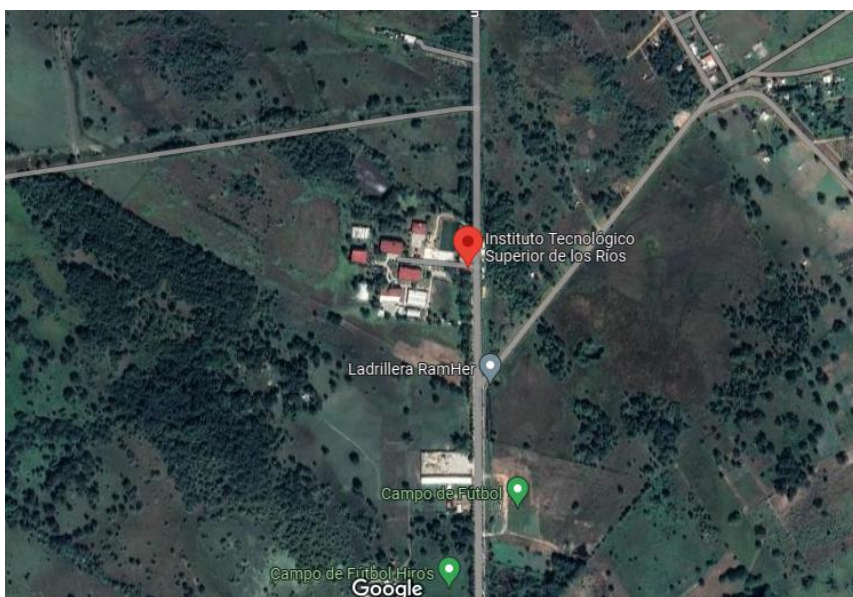


Figura 1 Localización del Instituto Tecnológico Superior de los Ríos





## **5 PROBLEMAS A RESOLVER**

El aceite de palma es el aceite vegetal de mayor producción a nivel mundial, del mismo modo se ha reportado que la biomasa residual generada en molinos de aceite de palma es el doble de la cantidad del aceite que se produce, en estos residuos se incluyen troncos, conchas, fibras, frondas y racimos vacíos.

En la actualidad, estos residuos se recuperan generalmente para darles un uso económico, además del compostaje para fertilización orgánica y como fuente de carbón.

Uno de los principales problemas que tienen las plantas extractoras de aceite de palma es que no tienen plan de manejo o acción con el residuo del proceso de extracción, algunas no les dan otro tratamiento y lo desechan para así evitar la acumulación de este residuo. El mal manejo y el poco aprovechamiento de los desechos que se generan diariamente en los procesos productivos en algunas plantas extractoras contribuyen a la contaminación ambiental de las fuentes hídricas, del suelo y con malos olores.

Para la agricultura, se ha vuelto necesaria la adición de fertilizantes o abonos para obtener una mayor producción en la siembra. La adición de fertilizantes y agroquímicos, además de implicar un gasto adicional para los productores, ha ocasionado problemas de contaminación al suelo, a los cuerpos de agua y a la salud. Esto ocurre cuando llueve y estas sustancias son llevadas por las corrientes a los cuerpos de agua o se infiltran al subsuelo.

El uso de los fertilizantes químicos tiene impactos negativos en el suelo ya que deteriora la estructura del suelo e implica mucho en la variación del pH lo cual puede afectar directamente al buen crecimiento de las plantas. Los daños ocurren cuando los fertilizantes químicos se aplican de manera excesiva y en una etapa inadecuada del crecimiento de las plantas.

## **6 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **6.1 Alcances**

Con este proyecto se pretende evaluar la utilidad que tiene el Biocarbón obtenido de palma de aceite como un subproducto para mejoramiento de las compostas utilizadas para siembras y así reducir la dependencia de fertilizantes químicos, ayudar a recuperar la fertilidad del suelo, mejorar la retención de agua y la asimilación de nutrientes a las plantas.

### **6.2 Limitaciones**

- Disposición de las instalaciones del TecNM, Campus de los Ríos.
- Condiciones climáticas.

## **7 MARCO TEÓRICO**

En este apartado se describen los conceptos y fundamentos relacionados con el biocarbón y los residuos agroindustriales de la palma de aceite.

### **7.1 ¿Qué es el Biocarbón?**

El biocarbón es un producto derivado de la quema de biomasa mediante el proceso de pirolisis. También conocido como biochar, es un material poroso sólido rico en carbono que se obtiene por la conversión termoquímica de la biomasa y de materiales orgánicos de origen agrícola o forestal en un ambiente limitado o carente de oxígeno. (Pérez-Cabrera, 2021). Es el resultado de la descomposición térmica de material orgánico en un ambiente limitado de oxígeno a temperatura alta. Se destina a la recuperación de la calidad de los suelos agrícolas; a diferencia del tradicional carbón vegetal que es utilizado como combustible/energía. La carbonización implica la descomposición térmica destinada a la eliminación de la materia volátil y la producción de carbono fijo con desarrollo de porosidad (Lehmann y Joseph, 2009).

Es un producto de buenas prácticas, redescubierto en los últimos años, como una propuesta para contribuir a mejorar la productividad agrícola y la seguridad alimentaria; y mitigar los efectos del cambio climático. Se obtiene a partir de los residuos forestales y agrícolas fibrosos y puede contener hasta 70 % de carbón.

El Biocarbón es el resultado de la combustión de biomasa a altas temperaturas (300-700 °C) en condiciones privativas de oxígeno, proceso conocido como pirólisis y se refiere al carbón negro producido intencionalmente para gestionar el carbono como tecnología de mitigación del cambio climático y con fines combinados para ser aplicados en suelos agrícolas, mejorando sus condiciones físicas y químicas y aumentando la productividad (Scholz et al., 2014). Son utilizados en la agricultura y

derivan de una gran diversidad de biomásas que presentan alta variación física y química.

Existen reportes que indican que el biocarbón puede retener temporalmente nitrógeno soluble en su estructura y liberarlo más lentamente que los productos inorgánicos, incrementando así la eficiencia de este elemento y la productividad de los cultivos.

## **7.2 Usos del Biocarbón**

Los usos del Biocarbón son múltiples y la aplicación de este en el suelo constituye una práctica que ha vuelto a ver su despertar en la agricultura junto con la nueva tendencia de la implementación de nuevas tecnologías agrícolas (Verheijen et al. 2009). Su manejo conduce a una mayor producción de los cultivos y al mejoramiento de la calidad del suelo, de ahí el interés en esta práctica (Yin Chan y Zhihong Xu, 2009).

Estudios indican que el Biocarbón aplicado al suelo mejora las propiedades físicas y químicas, incrementando la capacidad de retención de humedad y retención de nutrientes, entre los cuales se encuentra el nitrógeno para ser absorbido en su forma de compuesto estructural para luego ser liberado como producto inorgánico y así aumentar la eficacia y rendimiento del cultivo. (Aponte Figueroa, G.M., Soledad Rodríguez, 2021)

El estudio y aplicación del Biocarbón tiene muchas ventajas para la regeneración y longevidad de nuestros suelos. De acuerdo a Flesch et al. (2016), suelos en donde se aplicó Biocarbón poseen una retención de humedad de un 56% en comparación con aquellos convencionales que poseen un 20%.

De acuerdo a Rondon et al. (2006) la utilización de Biocarbón mejora la producción y el rendimiento de los cultivos y hay un incremento en biomasa de los mismos. En la actualidad la tendencia de uso de Biocarbón ha ido en aumento, diversos estudios recientes evidencian los múltiples beneficios de este para el suelo.

El uso de biocarbón en conjunto con los desperdicios orgánicos en forma de compost también puede cambiar las propiedades fisicoquímicas, el tipo de microorganismos, la capacidad de degradación y humidificación, y la emisión de gases del suelo, así como generar un incremento en los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica y actividades microbianas. (Aponte Figueroa, G.M., Soledad Rodríguez, 2021)

### **7.3 Beneficios del uso de biocarbón**

Estudios indican que la aplicación de biocarbón al suelo mejora las propiedades físicas y químicas, incrementando la capacidad de retención de humedad y nutrientes. (Pérez-Cabrera, 2021)

Los beneficios del Biocarbón en la agricultura han sido sintetizados por Purakayastha et al. (2019), quienes sugieren que mejora la densidad aparente del suelo, favorece la agregación de las partículas minerales, aumenta la porosidad, la retención de agua, la conductividad hidráulica y la infiltración. Respecto a la química del suelo, modifica el pH y acrecienta la disponibilidad de los nutrientes, eleva la capacidad de intercambio catiónico, manteniendo en mayor cantidad y durante mayor tiempo los nutrientes de forma disponible para las plantas, reduce la lixiviación al absorberlos sobre su superficie y favorece la absorción por las raíces (Kätterer et al., 2019).

El producto que puede ser obtenido como resultado de la pirólisis de la biomasa está influenciado por las condiciones del proceso, tales como la temperatura y el tiempo de residencia. Experimentos de pirólisis llevados a cabo entre 300°C y 600°C, utilizando diferentes tipos de biomasa (cáscara de arroz, corteza de madera, tallos de remolacha azucarera, racimos de frutas vacíos, estiércol de lechería, madera de pino, astillas de madera, residuos orgánicos y vegetales, estiércol humano, estiércol de aves de corral), muestran que el biocarbón obtenido presenta contenidos variables de carbono (49 a 93%), hidrógeno (de 3,65 a 3,68%) y oxígeno (entre 8 y 11%) que dependen de la temperatura mínima y máxima del proceso. (Aponte Figueroa, G.M., Soledad Rodríguez, 2021)

#### **7.4 Agroindustria de la palma de aceite**

La palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) es originaria del Golfo de Guinea en África Occidental y actualmente es un cultivo oleaginoso de alto valor productivo y económico. El aceite de palma es la fuente de aceite vegetal más importante del mundo en términos de producción y volúmenes de comercio de productos oleicos. La palma de aceite es también importante por sus usos múltiples (SAGARPA, 2020).

A nivel nacional el sector agroindustrial de la extracción de aceite de palma se encuentra en constante crecimiento tanto en superficie cultivada como en infraestructura de beneficio de la palma de aceite (Aguilar Gallegos, 2013). México se posiciona en la 6ta posición entre los países productores del continente, con poco más de 271 mil toneladas de aceite crudo de palma (CPO) producidas durante el 2019 (FEMEXPALMA, 2020).

Se cultivan más de 110 mil ha de palma de aceite, repartidas en los estados de Campeche, Chiapas, Tabasco y Veracruz, en conjunto alcanzan a producir alrededor de 1.5 millones de toneladas de fruta fresca (SIAP, 2020). Son ya cuatro los estados del sur – sureste con áreas cultivadas, en donde se ubican a 53 municipios con actividad económica el cultivo de palma de aceite. El 75% de la producción de racimos de fruta fresca es de pequeños productores. La derrama económica se refleja en la estabilidad social y la oportunidad de generación de empleos directos e indirectos (FEMEXPALMA, 2020).

#### **7.5 Residuos industriales de la palma de aceite**

De acuerdo con SEMARNAT (2019), un residuo es todo material o producto que se desecha y que es susceptible de valorización.

El aprovechamiento de residuos agroindustriales permite la obtención de materia prima para ser utilizada en diferentes procesos o en la elaboración de productos con un valor agregado, amigables con el ambiente y similares a los productos obtenidos con materias primas comerciales (Castañeda y Romero, 2012; Grande-Tovar, 2016; Vargas y Pérez, 2018). Los residuos agroindustriales están considerados entre los recursos renovables más importantes para la obtención de productos de interés económico y social (Cabrera et al., 2016; Laverde et al., 2019).

Los residuos agroindustriales como material orgánico pueden ser sometidos a procesos térmicos y termoquímicos, como pirólisis y gasificación, respectivamente.

Las plantas de beneficio son las instalaciones en donde se realiza el proceso de extracción del aceite de palma crudo. En nuestro país existen 18 plantas de beneficio de aceite de palma, y al menos cuatro se ubican en la región palmera Palenque de los Ríos, en los municipios de Tabasco y Chiapas (FEMEXPALMA, 2020). En menos de 5 años en los municipios de la región de los ríos, Palenque, Tenosique, Balancán, Emiliano Zapata, se han instalado cuatro extractoras de aceite de palma, de las empresas Oleopalma, Palmosur, Agroindustria Oleica de la Región de los Ríos, y UUMBAL AgroIndustrial, con sendas instalaciones en la carretera Villahermosa-Escárcega.

El proceso de elaboración de aceite de palma deja como principales subproductos lo racimos vacíos (RV), la fibra de fruto (FF) y los efluentes. Lo racimos de fruto fresco (RFF), provenientes del campo, son procesados en la planta de beneficio, donde se esterilizan y se desfrutan para extraer el aceite, dejando así 20 kg de RV y 14 kg de FF por cada 100 kg de RFF que ingresan al proceso (García et ál., 2010).

## **7.6 Compost**

El compost se forma por la descomposición de productos orgánicos y esta sirve para abonar la tierra. Es un proceso en el que no interviene la mano del hombre, el reciclaje es 100% natural. Es una mezcla de materiales orgánicos, de tal manera que fomenten su degradación y descomposición.

El producto final se usará para fertilizar y enriquecer la tierra de los cultivos. Es un abono orgánico resultante de la descomposición de desechos orgánicos vegetales y animales, transformados por la micro fauna y la micro flora del suelo en una sustancia que mejora la estructura y la estabilidad de la tierra, no puede ser catalogado como fertilizante puesto que ese se conceptualiza como cualquier materia orgánica o inorgánica con que se abona la tierra de cultivo con el objetivo de obtener una producción agrícola abundante.



La aplicación de compost es una práctica habitual en suelos agrícolas, destacando el uso de estiércol o excretas. Su empleo aporta materia orgánica, nutrientes y mejora la aireación, la retención de humedad y la composición fisicoquímica del suelo. El compostaje es el proceso natural de descomposición aerobia de materia orgánica fermentable mediante la acción de microorganismos que llevan a cabo reacciones de mineralización y humificación parcial de sustancias orgánicas (Trejo-Vázquez, 1994).

El compost contiene nitrógeno, fósforo y potasio, que son los tres micronutrientes que refuerzan a las plantas, contienen también muchos minerales como el zinc, cobre, magnesio y selenio, los cuales son indispensables para la fertilidad de la tierra.

La incorporación de materia orgánica al suelo tiene un efecto positivo en su agregación, incrementa la infiltración, la capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico, y la disponibilidad de nutrientes, como también aumenta la biomasa microbiana del suelo, entre otras características. (Oviedo-Ocaña, 2017)

El compostaje se puede definir como un proceso dirigido y controlado de mineralización y pre humificación de la materia orgánica, a través de un conjunto de técnicas que permiten el manejo de las variables del proceso y que tienen como objetivo la obtención de un biofertilizante de características fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas predeterminadas, conocido como compost. (Corzo, 2013).

El compostaje nació con la finalidad de buscar un mejor manejo de los desechos procedentes de la planta de beneficio; reducir la compra y el uso de fertilizantes químicos, debido a los altos costos de estos insumos y al peso que estos representan en el proceso productivo; y la necesidad de mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo para el desarrollo de la palma de aceite (Corzo, 2013).

## 8 PROCEDIMIENTOS Y DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

### 8.1 Determinar el rendimiento de carbono fijo en Biocarbón obtenido de la carbonización de los residuos de fibra de palma de aceite.

El carbono fijo se determina a partir de la diferencia entre 100 y la suma de los porcentajes de humedad, materias volátiles y cenizas; precisamente por esta razón su determinación incorpora ciertos errores (Santurio, 2002, pp. 2-226).

Con base en la siguiente formula se determinó el carbono fijo que se obtuvo luego de carbonizar los residuos de la palma de aceite

$$CF = 100 - (H + C + MV)$$

CF es el contenido de carbono fijo expresado en porcentaje. H es el contenido de humedad expresado en porcentaje. MV es el contenido de materia volátil expresado en porcentaje. C es el contenido de cenizas expresado en porcentaje.

Tabla 1 fórmulas para calcular carbono fijo

Variable	Formula	A= Masa inicial de la muestra
Contenido de humedad	$CH = \frac{A - B}{A} \times 100$	B= Masa de la muestra después de someterla a secado a 105°C
Materia volátil	$MV = \frac{B - C}{B} \times 100$	C= Masa de la muestra después de someterla al horno 550°C
Contenido de cenizas	$CC = \frac{D}{B} \times 100$	D= Masa del residuo

Para llevar a cabo la prueba, se pesaron 3 contenedores con fibra y se colocaron en el horno o estufa a 70° por dos horas. Después de pasar el tiempo, se pesó de nuevo y se metió a la mufla a 550° por 2 horas más hasta lograr que se hicieran cenizas y se dejó reposar para que estuviera a temperatura ambiente.

Para determinar el rendimiento del carbón por cada especie se aplicó la formula (Vela M., 2010):

Rendimiento = (Peso de fibra carbonizada/Peso seco de fibra residual)\*100%

Se colocaron los datos en una tabla, para después hacer la gráfica del resultado del rendimiento de biocarbón.

### **8.1.1 Recolección de residuos de palma de aceite.**

Se recolecto como materia prima 20 kg de residuos de fibra molida y racimos de frutos vacíos que se obtienen después del proceso de extracción de aceite de palma el cual es un proceso que se lleva a cabo en las plantas cercanas a la localidad.

### **8.1.2 Secado de residuos de palma de aceite**

Se acondicionó mediante secado natural expuesto al sol, hasta conseguir que la fibra estuviera totalmente seca, seguido de una molienda y tamizado hasta alcanzar un tamaño de partícula menor.

### **8.1.3 Carbonización de los residuos de palma de aceite**

La producción de Biocarbón se llevó a cabo mediante un proceso de conversión termoquímica (pirólisis) de la biomasa a una temperatura de 285°C, en ausencia parcial o total de oxígeno, la cual de acuerdo a investigaciones y pruebas en el laboratorio se pudo observar que era la temperatura adecuada.

## **8.2 Analizar el efecto de la aplicación de diferentes dosis o mezclas de Biocarbón sobre las propiedades de la composta obtenida.**

### **8.2.1 Recolección de composta**

Se recolecto la composta que es utilizada por productores en un vivero ubicado en Leona vicario, un ejido que se encuentra cerca del municipio de Balancán, Tabasco.

### **8.2.2 Preparación y aplicación de dosis de Biocarbón a las compostas**

Se prepararon las porciones de compostas en combinación con el Biocarbón de manera proporcional. Se hicieron 4 tratamientos los cuales constaron de 0, 5, 10 y 15 % de Biocarbón aplicado de manera proporcional a la composta, para luego sembrar las semillas de Chile dulce.

Se realizaron mediciones de pH y conductividad eléctrica a los tratamientos previamente establecidos.

### **8.3 Evaluar el desarrollo vegetativo de plantas de viveros cultivadas con abono de composta mejorada con Biocarbón.**

#### **8.3.1 Análisis de germinación**

Es un análisis el cual consiste en colocar semillas y adicionar Biocarbón en conjunto con la composta en condiciones controladas de temperatura, humedad y luz para que germinen y alcancen un buen nivel de desarrollo.

Durante los primeros 8 días después de plantar se mantuvo en observación hasta que las plantas brotaron, estaban con luz solar indirectamente y poca agua, ya que si estos exceden pueden afectar su proceso de germinación. Después de transcurrido los 8 días, se pasaron las plantas a luz solar directa y agua para su buen desarrollo.

#### **8.3.2 Análisis de desarrollo vegetativo**

Desarrollo vegetativo

-Altura de la plántula: Se midió la altura de las plantas del diseño experimental, a los 30 días de su germinación desde la base del tallo de la planta, hasta el último meristemo, se registraron los datos en centímetros y se obtuvo el promedio. Se utilizó una regla plástica transparente de 30 cm.

- Peso fresco y seco de la plántula a los 30 días después de la germinación: Se tomó el peso de las plantas, primero se pesaron las plantas cuando estaban frescas, una vez teniendo las anotaciones, se procedió a introducir las plantas al horno en una bandeja de metal a una temperatura de 70° durante 8 horas, después de que transcurrió el tiempo se pesaron de nuevo. Se utilizaron pinzas y una balanza

## 9 RESULTADOS

### 9.1 Determinación del rendimiento de carbono fijo en biocarbón obtenido de la carbonización de los residuos de fibra de palma de aceite.

El porcentaje de carbón fijo es menor al valor mínimo establecido en las normas y mercado usadas como punto de referencia. Un bajo contenido de carbón fijo aumenta la friabilidad y fragilidad; y disminuye la resistencia a la compresión y cohesión (Demirbas, 2003).

Para incrementar los valores de carbón fijo se debe llevar la temperatura de carbonización.

En los resultados que se mencionan en la siguiente tabla podemos notar que el carbono fijo está dentro de los parámetros que mencionan autores en sus artículos antes mencionados.

El contenido de carbono fijo obtenido en este estudio comparado con lo citado por otros autores se puede atribuir a la metodología empleada para su determinación, a la forma y la dimensión de la fibra de palma de aceite.

Tabla 2 Determinación de carbono fijo a 550 °C.

Muestra	Peso de fibra antes	Peso de fibra después	Peso de ceniza	Humedad	Materia volátil	Carbono fijo
1	20.52	20.06	1.86	2.24	88.34	7.56
2	20.13	19.73	2.4754	1.94	87.45	8.13
3	20.22	19.76	2.9654	2.27	84.99	9.77

Determinamos que a la temperatura de 275°C y 300°C, el rendimiento de biocarbón se mantiene estable el carbono fijo, por lo tanto se considera que a 275° C es una temperatura idónea para la producción de biocarbón

En la siguiente tabla se muestran los datos que usamos para calcular el rendimiento de biocarbón en las diferentes temperaturas.

Tabla 3 Rendimiento de biocarbón a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Fibra cruda	Fibra convertida en biocarbón	Ceniza	Humedad	Materia Volátil	Carbono fijo	Rendimiento de biocarbón
250	44.23	37.71	4.01	4.83	76	15.16	85.26
275	43.1	42.1	5.30	4.15	52	38.55	97.68
300	44.64	42.97	6.55	5.01	49	39.44	96.26

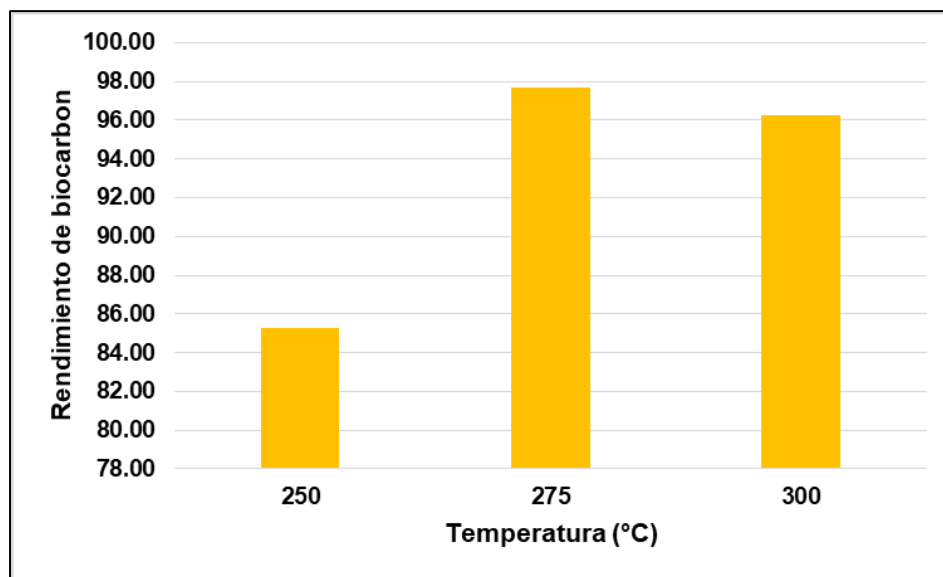


Figura 4. Rendimiento de biocarbón.

## **9.2 Analizar el efecto de la aplicación de diferentes dosis o mezclas sobre las propiedades de la composta obtenida.**

Las dosis con 5% de biocarbón son las que brotaron justo a los 7 u 8 días después de que se introdujo la semilla en las combinaciones, luego de dos días brotaron las plantas que contenían las dosis de 0, 10, 15 %.

### **9.2.1 pH**

El pH de suelos tratados con biocarbón puede mostrar tendencias hacia un suelo neutro. El biocarbón mejora la disponibilidad de nutrientes ya que los suelos tratados con esta enmienda sufren cambios en su pH evaluando distintos cultivos (Escalante Rebolledo et al. 2016).

Se encontró efecto de los tratamientos en el pH del suelo únicamente a los 21 días después de germinación de las plántulas.

El pH de suelos tratados con biocarbón puede mostrar tendencias hacia un suelo neutro. El biocarbón mejora la disponibilidad de nutrientes ya que los suelos tratados con esta enmienda sufren cambios en su pH evaluando distintos cultivos (Escalante Rebolledo et al. 2016)

La investigación realizada en la cual se utilizó dosis de entre 10 a 15 % mostraron que a mayor dosis de biocarbón hay un mayor incremento en el pH del suelo, es decir existe una relación directa entre dosis aplicada y el incremento del pH.

Algunos estudios indican que el potencial del biocarbón al incrementar el pH de los suelos está relacionado con el material de su fabricación (Luo et al., 2011) evaluaron el cambio en los niveles de pH del suelo a corto y largo plazo aplicando biocarbón y encontraron que este incrementa el pH de los suelos de 3.7 a 7.6 después de 87 días. Sin embargo, Wang et al. (2011) encontraron que el biocarbón elaborado a base de madera no tiene ningún efecto en el pH de los suelos (3.41 a 3.69).

### **9.2.2 Conductividad eléctrica**

Se observó efecto de los tratamientos de biocarbón sobre la conductividad eléctrica a los 21 y 30 después de germinación de la planta. La conductividad eléctrica tuvo un rango mayor previo a la aplicación de tratamientos. Para todos los tratamientos hubo una reducción en la conductividad eléctrica a lo largo del experimento.

Barbaro et al. (2014) recomiendan que un suelo tenga una conductividad eléctrica igual o menor a 1 ds/m esto ya que una baja conductividad eléctrica evita una fitotoxicidad en el cultivo y facilita un mejor manejo en la aplicación de biocarbón, ya que la materia orgánica es responsable de acumulación de nutrientes y en la retención de agua, los cuales son factores claves en una reducción de la conductividad eléctrica (Martínez et al., 2009). De acuerdo a Partida Rucalva et al. (2006) la conductividad eléctrica también puede disminuir debido a la absorción de nutrientes por las plantas.

Similar a nuestros resultados, la investigación de Obregón Castro (2019) indica que la incorporación de biocarbón a una dosis de 15 % presentó una disminución en la conductividad eléctrica después de 30 días de su aplicación. Así mismo, indica que, al incrementar el tiempo de incubación a 60 días, el biocarbón puede generar una mayor reducción de la conductividad eléctrica en el suelo.

## **9.3 Evaluar el desarrollo vegetativo de plantas de vivero cultivadas con abono de composta mejorada con biocarbón.**

### **9.3.1 Análisis de germinación**

La prueba de germinación es el procedimiento más común para evaluar la calidad fisiológica de un lote de semillas. No obstante, debido a que esta prueba se realiza bajo condiciones óptimas para cada especie. Es un proceso fisiológico que finaliza con la emergencia del embrión que está contenido en la semilla. Este proceso es influenciado por factores externos e internos (McDonald, 1980).



A los 8 días después de haber sembrado las semillas se dieron los brotes de las dosis que contenían 0% y 5% de biocarbon, en un par de días comenzaron a brotar las dosis que contenían 10% y 15%.

### 9.3.2 Análisis Vegetativo

Se realizaron mediciones de altura y peso en las plantas que se seleccionaron como muestra.

- Altura de las plantas

En chile dulce, se tienen informes de que la altura de la planta puede variar entre 5 a 60cm en los primeros 30 días de germinación de la planta y entre 49 cm y 2.24 m de los 60 días de germinación en adelante (Campos, 2019). Los resultados de la presente investigación se ubican dentro de dichos rangos.

Tabla 4 Altura de plantas 30 días después de germinación

Dosis de biocarbón	Altura (cm)				Promedio
	Muestras				
0%	10	12	9	10	10.25
5%	15	11	8	10	11
10%	9	10	10	11	10
15%	13	14.2	12	9.7	12.22

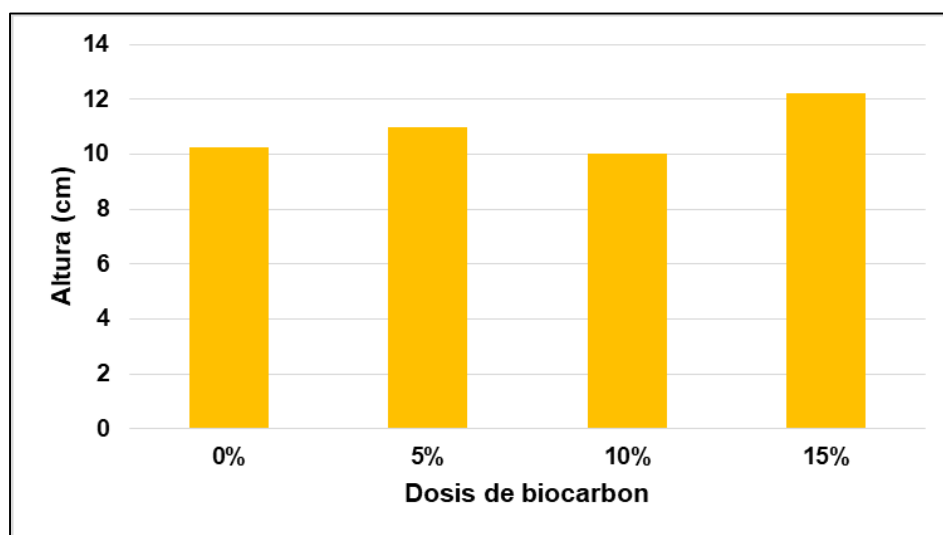


Figura 5. Promedio de altura de las plantas.

- Peso de las plantas

La adición de biocarbón tiende a aumentar la disponibilidad de nutrientes y mejorar la actividad microbiana que en conjunto puede resultar benéfica para el incremento de rendimientos de cultivos. (Meddeb et al., 2018).

Araméndiz Tatis et al. (2013) en su estudio encontró en sus tratamientos que el uso de compost más la adición biocarbón de cascarilla de arroz y fibra de coco mejoran el desarrollo de las plantas en comparación con el uso del compost convencional.

El peso fresco obtenido a los 30 días de germinación de las plantas de chile dulce, de la cual se realizaron 5 repeticiones con diferentes dosis de compost mejorado con biocarbón de fibra de palma de aceite. Se observó un mayor peso en las dosis que contienen el 15% de biocarbón. En cuanto en peso seco se observó que disminuye considerablemente su peso.

Tabla 5. Peso fresco de las plantas a los 30 días después de la germinación.

Dosis de biocarbón	Peso fresco (g)				Promedio
	Repeticiones				
0%	0.75	0.95	0.55	0.85	<b>0.775</b>
5%	0.6	1	0.75	0.97	<b>0.83</b>
10%	0.8	1.3	0.8	0.85	<b>0.9375</b>
15%	1.4	1	2.55	1.05	<b>1.5</b>

Tabla 6. Peso seco de las plantas.

Dosis de biocarbón	Peso seco (g)				Promedio
	Muestras				
0%	0.06	0.09	0.08	0.05	<b>0.07</b>
5%	0.04	0.13	0.07	0.05	<b>0.0725</b>
10%	0.08	0.03	0.14	0.12	<b>0.0925</b>
15%	0.258	0.142	0.075	0.089	<b>0.141</b>

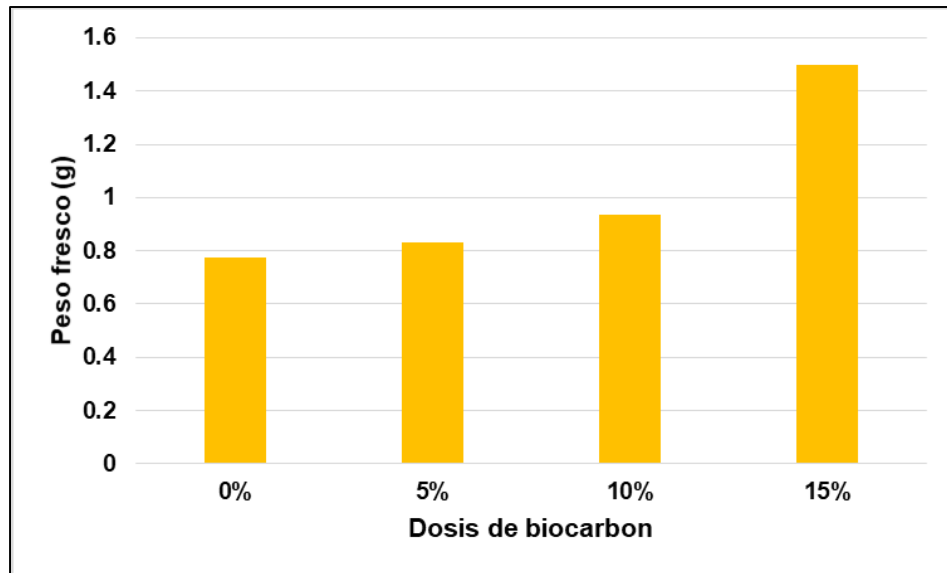


Figura 6. Peso promedio de plantas.

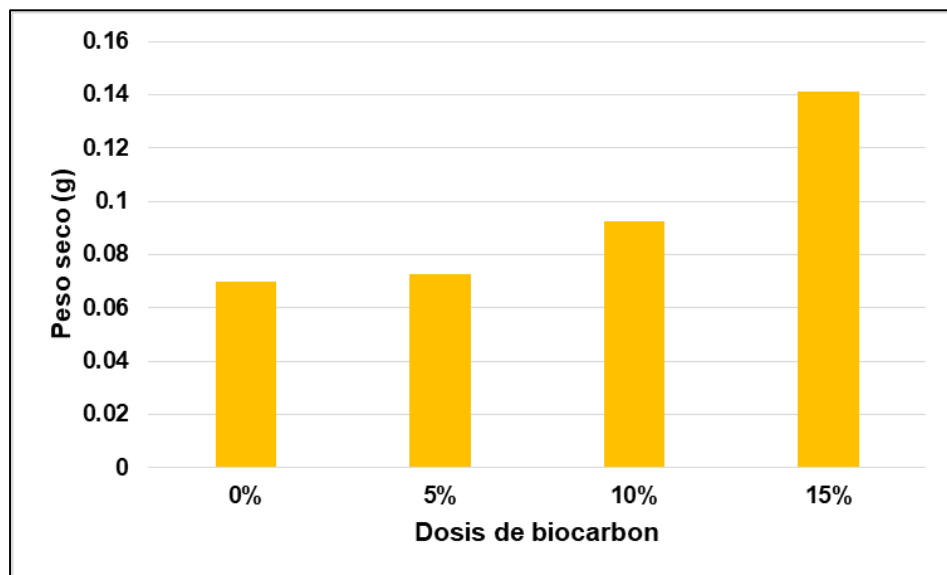


Figura 7. Peso seco promedio de las plantas.

## 10 CONCLUSIONES

Se determinó que el rendimiento de carbono fijo en biocarbón obtenido de la carbonización de los residuos de fibra de palma de aceite fue óptimo a la temperatura de 275°C alcanzando un rendimiento de 97.68%.

El análisis del efecto de la aplicación de diferentes dosis o mezclas de biocarbón mejoró las propiedades de la composta obtenida con respecto al pH y conductividad eléctrica.

La evaluación del desarrollo vegetativo de las plantas de chile dulce (*Capsicum annuum L.*) cultivadas con la composta mejorada con biocarbón mostró que sí hubo un efecto positivo en las variables de altura y peso de las plántulas a los 30 días de germinación.

La investigación realizada en la cual se utilizó dosis de entre 10 a 15 % mostraron que a mayor dosis de biocarbón hay un mayor incremento en el pH del suelo.

De acuerdo a los resultados de la conductividad eléctrica se observó efecto de los tratamientos de biocarbón sobre la conductividad eléctrica a los 21 y 30 días después de germinación de la planta, la cual tuvo un rango mayor previo a la aplicación de tratamientos.

Con la aplicación de biocarbón obtenido de residuos de palma de aceite se logró mejorar las propiedades de la composta utilizada para sustrato en viveros.

## **11 RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar más estudios con diversas plantas utilizadas en viveros de la región para consolidar el uso del biocarbón en los sustratos.





Realizar distintos análisis fisicoquímicos que demuestren las mejoras de las propiedades de la composta con el uso de biocarbón.

Estudiar las tecnologías disponibles para producir biocarbón a gran escala.

Transferir esta tecnología y conocimientos a los usuarios finales (viveristas y agricultores).

## 12 ANEXOS

### 12.1 Anexo 1. Memoria fotográfica

	
<p>1</p>	<p>2</p>
	
<p>3</p>	<p>4</p>
	
<p>5</p>	<p>6</p>

## 12.2 Anexo 2. Pruebas de laboratorio



1



2



3



4



5



6

### 13 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aponte Figueroa, G.M., Soledad Rodríguez, B.: *Tendencias en el uso del biocarbón como acondicionador de suelos* Revista de Química, 2021, 35(2) 44-51. [Http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/24110](http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/24110)

Arguello Arias H, Chiguachi D. 2020. Efecto de diferentes dosis de biocarbon y compost en la produccion y desarrollo del cultivo de tomate (*lycopersicum esculentum*) bajo cubierta. Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, São Cristóvão, Sergipe.

Barbaro LA, Karlanian MA, Mata DA. 2014. Importancia del ph y la Conductividad Electrica (CE) en los sustratos para plantas. Argentina: Instituto de Floricultura.

Campos, M. (2009). Efecto de la inoculación de sustratos con *Trichoderma* spp. Sobre el crecimiento y producción de plantas de chile dulce (*Capsicum annum* L.), bajo ambiente protegido. Tesis para optar por el título de Ingeniera Agrónoma. San Carlos, Costa Rica: Sede Regional San Carlos, Tecnológico de Costa Rica.

Cantero-Flores, Anabel, Bailón-Morales, Rogelio, Villanueva-Arce, Ramón, Calixto-Mosqueda, María del Carmen, & Robles-Martínez, Fabián. (2016). Composta elaborada con residuos verdes como mejorador de un suelo urbano. Ingeniería agrícola y biosistemas, 8(2), 71-83. Epub 01 de septiembre de 2020. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2016.10.003>

Corzo, J. M. (2013). Compostaje con racimos de fruta de palma de aceite para la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (cer). Revista Palmas, 34(1), 125-137

Cultivo de la palma de aceite (Parte I). (s. F.). [Https://www.infoagro.com/documentos/cultivo\\_palma\\_aceite\\_\\_parte\\_i\\_.asp](https://www.infoagro.com/documentos/cultivo_palma_aceite__parte_i_.asp)

Demirbas, A. 2003. Sustainable cofiring of biomass with coal. Energy Conversion and Management. 44 (9):1465-1479.



Fedepalma (2016). Desempeño del sector palmero colombiano. Recuperado de [http://fedepalma.portalpalmero.com/sites/default/files/files/Fedepalma/17032017\\_](http://fedepalma.portalpalmero.com/sites/default/files/files/Fedepalma/17032017_)

Fibra de mesocarpio de aceite de palma – PALMAGRO S.A. (s. F.). <https://palmagro.com/fibra-de-mesocarpio-de-aceite-de-palma/>

Jimeno, A., Mendoza, L. Y Pérez, J. R. (2012). El reciclaje, analizado desde dos perspectivas. *Dimensión empresarial*, 10(1), 93-99.

Laird, D. A.; Fleming, P.; Davis, D. D.; Horton, R.; Wang, B. & Karlen, D. L. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*. 158 (3-4), 2019.

Lehmann, J. & Joseph, S. Biochar for environmental management: an introduction. London, Earthscan. 1-12 p., 2009. [Http://www.biocharinternational.org/images/Biochar\\_book\\_Chapter\\_1.pdf](http://www.biocharinternational.org/images/Biochar_book_Chapter_1.pdf)

Luo Y, Durenkamp M, De Nobili M, Lin Q, Brookes PC. 2011. Short term soil priming effects and the mineralisation of biochar following its incorporation to soils of different ph. *Soil Biology & Biochemistry*. 43:1–12.

Martínez G, Vanderlinden K, Giráldez JV, Espejo AJ, Rodríguez E, Ordóñez R, Muriel JL. 2009. Use of apparent electrical conductivity as secondary information for soil organic carbon spatial characterization. *Estudios en la zona no saturada del suelo*. 9:1–8.

Meddeb S, Hassine HB, Tangour D, Aichi H, Álvarez MJ, de la Rosa MJ, Lopez R, editores. 2018. Efectos de biochar y compost en un suelo de huerto urbano moderadamente contaminado por metales pesados: Protección y Restauración de suelos. VIII Congreso Ibérico de las Ciencias del Suelo; 22-28 Junio; Centro Ignacio M<sup>a</sup> Barriola, UPV/EHU, Donostia-San Sebastián. Donostia-San Sebastián: [sin editorial].

Obregón Castro GDP. 2019. Disminución de la salinidad de suelos aplicando biochar a base de biomasa animal y vegetal en Cañete [Tesis]. Lima, Peru:

Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

Oviedo-Ocaña, Edgar Ricardo, Marmolejo-Rebellon, Luis Fernando, & Torres-Lozada, Patricia. (2017). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Lecciones desde Colombia. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 18(1), 31-42. Recuperado en 18 de agosto de 2023, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432017000100031&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S1405-77432017000100031&lng=es&tlng=es).

Partida Rucalva L, Velázquez Alcaraz tdj, Acosta Villegas B, Angulo Gaxiola CE. 2006. EXTRACTOS VEGETALES Y SU EFECTO EN LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE DOS SUELOS SALINOS Y DE SOLUCIONES: Plant Extracts and its Effect on the Electric Conductivity of Two Saline Soils and Solutions. *Terra Latinoamericana*. 21(1).

Pérez-Cabrera, C. A. (2021, 25 junio). *Beneficios potenciales del biocarbón en la productividad de cultivos agrícolas* | Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2542>

Santamaria P., J. A., & Rossignoli C., C. E. (1970, January 1). Efecto de la aplicación de biocarbón sobre propiedades químicas del suelo, desarrollo y rendimiento de lechuga. *Biblioteca Digital*. Retrieved February 15, 2023, from <https://bdigital.zamorano.edu/items/4810dfdb-256f-4440-80be-34acaa18f67a>

SANTURIO, José. Corrección y Mejora del Análisis de humedad del carbón térmico por medios no destructivos en tiempo real. [en línea], 2002 (Venezuela) 1 (2), pp. 8-14. [Consulta: 17 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11109/UOV0012.pdf>.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). Norma oficial mexicana NOM- 021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreos y análisis. México: Author. Retrieved from

<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>

Torres, R., Acosta, A. Y Chinchilla, C. (2004). Proyecto comercial de compostaje de los desechos agroindustriales de la palma aceitera. *Revista Palmas*, 25(2), 377-384.

Van Dam, J. (2017). Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. *Palmas*, 37, 149–156. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11930>

VELA M. W. 2010. “Determinación del rendimiento y análisis gravimétrico del carbón vegetal de la madera del genero *Dypterix* (shihuahuaco) en un horno tipo colmena brasilero”. Tesis para optar al título de Ing. Forestal. Universidad Nacional de Ucayali. 88 p.