



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUAR RESPUESTAS
BIOLÓGICAS EN EL CULTIVO DE
FRIJOL *Phaseolus vulgaris*
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE
BIOCHAR

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

P R E S E N T A

SAMUEL CAMPILLO DURÁN

ASESOR:

MC. YOVANI LÓPEZ GONZÁLEZ

CODIRECTOR:

MBT. GUADALUPE CORELLY SALAZAR SALAZAR

MISANTLA, VERACRUZ

NOVIEMBRE, 2020



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

FECHA: 13 de Noviembre de 2020.

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS PROFESIONAL.

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente hago constar que el (la) C:

SAMUEL CAMPILLO DURAN

pasante de la carrera de INGENIERÍA AMBIENTAL con No. de Control 152T0094 ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el **Manual de Procedimientos para la Obtención del Título Profesional de Licenciatura** bajo la opción **Titulación Integral (Tesis Profesional)**

Por tal motivo se **Autoriza** la impresión del **Tema titulado:**

**“EVALUAR RESPUESTAS BIOLÓGICAS EN EL CULTIVO DE FRIJOL
Phaseolus vulgaris MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOCHAR”**

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del Acto de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE

ING. GERBACIO FLAXALO ESPINOZA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



Archivo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por darme la oportunidad de concluir con una etapa más de mi vida, y poder brindarme las fuerzas, fe y esperanza para seguir creciendo en el ámbito personal como profesional y poder salir adelante ante las dificultades a lo largo de la carrera.

A mis docentes.

El M. C. Yovani López González quien ha sido una de las personas que me ha orientado a lo largo de todo este trabajo de tesis, a quien sin duda alguna le agradezco su tiempo, sus conocimientos a lo largo de mi formación profesional, principalmente por tenerme paciencia, por brindarme sus consejos, sugerencias y experiencias de vida, de los cuales fueron puntos clave que me ayudaron a incitarme para poder hacer las cosas de la mejor manera y sobre todo con pasión en el momento de la construcción de este trabajo

A la Dra. Guadalupe Corelly Salazar Salazar quien fue una de las personas más importantes, por su orientación para que esto fuera posible, gracias por las observaciones, consejos, por su tiempo empleado para la realización de este trabajo y sobre todo por siempre darme los ánimos suficientes para la elaboración del trabajo.

Al M.S.C. Elizabeth Salazar Hernández quien durante mi carrera profesional estuvo presente brindando el apoyo, transmitiendo conocimientos, así mismo motivando a seguir adelante.

Y a todos y cada uno de mis maestros que tuve a lo largo de mi formación académica, que sin duda alguna gracias a sus conocimientos y enseñanzas, han dejado huella para que este logro fuera posible.

DEDICATORIA

A mis padres.

El Sr. Luis Campillo Cabañas y la Sra. María Antonia Durán Córdova, por haberme apoyado en todo momento y nunca dejarme de la mano para alcanzar este logro, gracias a Dios que me bendijo con dos padres amorosos, que estuvieron atentos en mi educación y en cada etapa de mi vida, agradezco inmensamente su apoyo, su cariño, sus palabras de aliento para salir adelante y por hacer suyo también este logro que tanto anhelaban.

A mi hermano.

Luis Antonio Campillo Duran quien me ha brindado su apoyo en los buenos y malos momentos, siempre contando con el cariño de hermanos, por todas las vivencias desde pequeños y hasta ahora que nos han inspirado a seguir adelante sin importar las dificultades para hacer de nosotros mejores personas.

A mi familia.

A todos y cada uno de los integrantes de la familia Campillo y familia Durán, pues gracias a sus palabras de aliento, consejos y apoyo, han hecho de mí una mejor persona. Gracias por cada momento compartido y por las enseñanzas que me han brindado.

RESUMEN

El suelo es considerado como indispensable para el crecimiento de las plantas, ya que explotan los nutrientes con los que esta cuenta. Actualmente los suelos son contaminados comúnmente por la mala utilización de fertilizantes inorgánicos provocando afectaciones como la pérdida de fertilidad y contaminación de cultivos. Por ello, se busca utilizar tecnologías que generen enmiendas orgánicas, para disminuir el uso de fertilizantes inorgánicos y obtener una reducción en la contaminación hacia suelos, es el caso del Biochar, considerado como abono orgánico, ya que posee aportaciones benéficas, entre las que destacan la contribución de nutrientes N, P, K, C y retención de humedad.

Este trabajo tiene como fin analizar los efectos en las propiedades fisicoquímicas del suelo, utilizando Biochar como enmienda de suelos.

Dicho estudio, estuvo conformado por etapas, primeramente, fue la recolección y pretratamiento de cáscara de naranja, caracterizando 3 tratamientos diferentes denominados como RG, RG, RM, a continuación se llevó a cabo la producción de Biochar, como tercer paso se elaboraron análisis químicos y físicos a los 3 tratamientos obtenidos, finalmente se evaluó el área foliar, tallo, altura y materia seca de las plantas de frijol *Phaseolus vulgaris* hasta la semana 8 .

De acuerdo a los análisis anteriores los 3 tratamientos mostraron resultados satisfactorios, dentro de mayor importancia, se encuentra la retención de humedad oscilando entre un 50%, mientras que, la materia orgánica presentó valores de 16-17 %, con lo que respecta a las evaluaciones realizadas durante el desarrollo de las plantas, en comparación con el tratamiento testigo, los 3 tratamientos indicaron un buen crecimiento, finalmente, se deduce que el Biochar ejerció cambios positivos en las propiedades del suelo y desarrollo plantas de frijol *Phaseolus vulgaris*.

ÍNDICE

Agradecimientos	II
Dedicatoria.....	IV
RESUMEN	V
CAPÍTULO I GENERALIDADES.....	X
1.1 Introducción	11
1.2 Planteamiento del problema	12
1.3 Justificación	13
1.4 Objetivos.....	14
1.4.1 Objetivos generales:	14
1.1.2 Objetivos específicos	14
1.5 Hipótesis	14
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	15
2.1 Fertilización del suelo	15
2.2 Fertilizantes inorgánicos.	16
2.3 Impacto ambiental provocado por fertilizantes inorgánicos.	18
2.4 Producción y gestión de residuos	19
2.5 Origen de los abonos orgánicos.	20
2.5.1 Obtención de abonos orgánicos	21
2.6 Influencia del bio-abono sobre las características físicas del suelo.....	21
2.6.1 Densidad aparente.....	21
2.6.2 Densidad real.....	21
2.6.3 Textura.....	22
2.6.4 Estructura del suelo	22
2.6.5 Color	23
2.7 Influencia del bio-abono sobre las características químicas del suelo.....	24
2.7.1 Carbono orgánico	24
2.7.2 Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	24
2.7.3 pH	25
2.8 Influencia del bio-abono sobre las características biológicas del suelo	26
2.8.1 Macrofauna.....	26
2.8.2 Microfauna	27
2.9 Composición de los abonos orgánicos	27
2.10 Tecnologías de conversión de biomasa.....	28

2.10.1 Conversión biológica.....	28
2.10.2 Fermentación.....	29
2.10.3 Digestión anaerobia.....	29
2.10.4 Compostaje.....	31
2.10.5 Conversión termoquímica.....	33
2.10.6 Pirólisis.....	33
2.10.7 Gasificación.....	35
2.10.8 Combustión.....	36
2.11 Estado actual de la conversión termoquímica de las masas.....	38
2.12 Aplicación de la pirólisis.....	39
2.12.1 Clasificación de pirólisis.....	39
2.13 Residuos sólidos urbanos como biomasa útil para procesos de pirólisis.....	40
2.14 Reacciones de pirólisis.....	42
2.14.1 Pirólisis de residuos lignocelulósicos.....	42
2.14.2 Pirólisis de hemicelulosas, celulosas y ligninas.....	42
2.14.3 Pirólisis de plásticos y cauchos.....	43
2.14.4 Productos de la pirólisis.....	45
2.15 Biochar.....	45
2.15.1 Concepto de Biochar.....	45
2.15.2 Propiedades del Biochar.....	46
2.15.3 Sistemas de producción de Biochar.....	47
2.15.4 Implicaciones agrícolas de la utilización del Biochar.....	48
2.15.5 Efectos del Biochar sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.....	48
2.15.6 Efectos del Biochar sobre los cultivos.....	49
2.15.7 Implicaciones ambientales de la utilización del Biochar.....	50
2.15.8 Recuperación de suelos.....	51
2.15.9 Impactos socio-económicos de la utilización del Biochar.....	52
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....	53
3.1 Recolección de residuos.....	53
3.2 Pretratamiento de los residuos.....	53
3.3 Producción de Biochar.....	54
3.4 Caracterización del Biochar.....	54
3.4.1 Determinación de Materia orgánica.....	54

3.4.2 Determinación de pH	56
3.4.3 Determinación de Conductividad Eléctrica (CE)	57
3.4.4 Determinación de Densidad	58
3.4.5 Determinación del porcentaje de humedad.....	58
3.4.6 Determinación de Granulometría	59
3.5 Germinación y desarrollo de las plantas	59
3.5.1 Evaluación foliar.....	59
3.5.2 Evaluación de altura.....	60
3.5.3 Evaluación del tallo	60
3.5.4 Evaluación de materia seca	60
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.1 Caracterización de Biochar.....	61
4.1.1 Determinación de Materia orgánica	61
4.1.2 Determinación de Carbono total	62
4.1.3 Determinación de pH	63
4.1.4 Determinación de Conductividad Eléctrica (CE).....	65
4.1.5 Determinación de la Densidad.....	66
4.1.6 Determinación de retención de humedad del biochar.....	68
4.1.7 Determinación granulométrica.	69
4.1.8 Caracterización del suelo testigo	70
4.2 Germinación y desarrollo de las plantas	71
4.2.1 Evaluación foliar.....	71
4.2.2 Evaluación de altura	73
4.2.3 Evaluación de tallo.....	77
4.2.4 Determinación de materia seca	79
CAPÍTULO V CONCLUSIONES.....	81
CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de Macro y Micro nutrientes	15
Tabla 2. Tipos de fertilizantes inorgánicos disponibles en el mercado	17
Tabla 3. Rangos de Diámetro medio ponderado	23
Tabla 4. Valoraciones para la determinación de pH.	24
Tabla 5. Organismos presentes en el suelo a nivel Macrofauna.....	26
Tabla 6. Ventajas y Desventajas del proceso de fermentación.....	29
Tabla 7. Ventajas y desventajas del proceso de Digestión anaerobia.	31
Tabla 8. Clasificación de los tipos de pirólisis	34
Tabla 9. Ventajas y Desventajas del proceso de gasificación.....	36
Tabla 10. Fuentes de generación de biomasa y productos derivados de la misma.	42
Tabla 11. Productos obtenidos del proceso de pirólisis.	45
Tabla 12. Valoraciones para Determinación de Conductividad Eléctrica.....	66
Tabla 13. Análisis realizados a la muestra de suelo testigo.....	70
Tabla 14. Evaluación de área foliar total (FAUNL DMS< 0.05)	72
Tabla 15. Correlación existente de are foliar durante las 8 semanas evaluadas.	73
Tabla 16. Evaluación de altura (FAUNL DMS< 0.05).....	75
Tabla 17. Correlación existente de altura durante las 8 semanas evaluadas	76
Tabla 18. Evaluación de tallo de plantas de frijol (FAUNL DMS< 0.05).	77
Tabla 19. Peso en seco de las plantas de frijol.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de los residuos generados en México	19
Figura 2. Triángulo de clases texturales	22
Figura 3. Nemátodos	27
Figura 4. Proceso de digestión anaerobia.....	30
Figura 5. Clasificación de los procesos disponibles para la conversión de residuos orgánicos	38
Figura 6. Tratamiento de los residuos sólidos urbanos.....	41
Figura 7. Propiedades del Biochar en suelos.....	46
Figura 8. Productos derivados del proceso de pirólisis.....	47
Figura 9. Gráfica de emisiones generadas	50
Figura 10. Muestras representativas utilizadas.....	32
Figura 11. Espectrofotómetro modelo THERMO SCIENTIFIC GENESYS 10S Vis.	56
Figura 12. Potenciómetro equipado con un electrodo de vidrio y de referencia.....	56
Figura 13. Determinación de conductividad eléctrica mediante un dispositivo Waterproof Hi™	57
Figura 14. Método de la cuadrícula.....	59
Figura 15. Vernier utilizado para la medición.....	60
Figura 16. Determinación de Materia orgánica (MO) en las muestras de biochar.	61
Figura 17. Determinación de Carbono total presentes en las muestras de biochar.....	63
Figura 18. Determinación de pH de biochar procedente de residuos de naranja	64
Figura 19. Determinación de Conductividad Eléctrica de biochar.....	65
Figura 20. Determinación de la Densidad Aparente.	67
Figura 21. Determinación de porcentaje de Humedad Retenido.	69
Figura 22. Gráfica de área foliar total de la planta de frijol.....	71
Figura 23. Gráfica de crecimiento de altura de las plántulas de frijol.....	74
Figura 24. Gráfica de crecimiento de tallo de las plántulas de frijol.	78
Figura 25. Gráfica de crecimiento de tallo de las plántulas de frijol.....	80

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 Introducción.

El suelo es la capa superficial compuesta por materia fértil que recubre a la tierra, la cual es indispensable para el crecimiento de las plantas, ya que estas explotan de forma directa los nutrientes con los que cuenta el suelo, teniendo presente la característica de almacenar agua en épocas de lluvias para después permitir que las plantas puedan hacer uso de esta en medida que la necesiten.

En la actualidad los suelos son contaminados muy comúnmente por la utilización de los fertilizantes inorgánicos ya que estos son añadidos en altas concentraciones y de forma incontrolada, provocando afectaciones significativas como la pérdida de fertilidad, empobrecimiento de la capa vegetal, perturbaciones al ecosistema, salinización, problemas de ausencia de agua y algunas ocasiones la contaminación por completo de cultivos y suelos.

Es por ello que la humanidad ha optado por la utilización de tecnologías que generen enmiendas para el suelo a partir de materia orgánica, para que disminuya en mayor medida el uso de fertilizantes inorgánicos y seguidamente se reduzca la contaminación hacia los suelos, una de las técnicas es el compostaje, dicha práctica muestra grandes desventajas, entre las que destacan; la generación de malos olores, puede ser fuente de generación de patógenos, la velocidad de generación de bio-abono es tardado, la materia orgánica puede atraer moscas e insectos, y dependencia total del estado climatológico. Provocando que esta técnica no sea muy factible, ya que no se tiene un control total sobre ella.

El Biochar o también denominado como biocarbón es derivado a partir de la descomposición térmica de materia orgánica mediante el proceso de pirólisis (en un sistema cerrado, en ausencia de oxígeno y altas temperaturas) (Escalante, 2016), este producto suele tener características de porosidad, gránulos finos y regularmente de color negro, comúnmente es utilizado como enmienda orgánica para terrenos agrícolas, ya que este producto otorga beneficios a los suelos dándoles un aumento en su fertilidad fisicoquímica y biológica, como también la aportaciones en la retención de carbono y por ende proporciona un mejor rendimiento de los cultivos a los que se les aplica.

Dicho producto posee una serie de aportaciones benefactoras hacia el suelo que presente una fertilidad escasa, dando con ello una retención y contribución de carbono como también, de otros nutrientes como lo son: N, K, Ca, Mg, los cuales son indispensables para que se puedan desarrollar las plantas de forma correcta (Escalante, 2016) cabe mencionar que aumenta la conservación del agua en el terreno aplicado, contribuyendo en la disminución de gases de efecto invernadero.

En el siguiente trabajo se busca obtener un abono a partir de pirólisis, con características favorables para el aumento de fertilidad en los suelos agrícolas, principalmente en el cultivo de frijol buscando mejorar un aumento en el crecimiento de la misma. Por otro lado, se busca obtener un bio-abono que se pueda lograr en periodos cortos de producción y que a la vez cumpla con las propiedades adecuadas que lo lleven a ser un sustituto de los fertilizantes inorgánicos.

1.2 Planteamiento del problema.

En la actualidad, la contaminación por fertilizantes inorgánicos es generada cuando estos son utilizados de manera incontrolada y en altas concentraciones, lo cual han provocado la pérdida de fertilidad, empobrecimiento de la capa vegetal, afectaciones a ecosistemas, salinización, ausencia de agua y muy usualmente la contaminación por completo de cultivos y suelos. De acuerdo, a los problemas que se mencionaron, se han optado por técnicas en la formación de fertilizantes orgánicos que aumenten el rendimiento de este. Las técnicas que comúnmente son utilizadas para el tratamiento de los RSO (Residuos sólidos orgánicos) y la producción de fertilizante orgánico son: los tipos de compostaje, como la hoja de compostaje, compostaje en pila o recipiente, compostaje de lombrices, fosa de compostaje, compostaje Bokashi entre otros (Blanco, 2009). Tales técnicas presentan una serie de dificultades, entre ellas, la generación de malos olores, puede ser fuente de generación de patógenos, la velocidad de generación de abono es tardado, en algunos casos provoca eutrofización, la materia orgánica puede atraer moscas e insectos, además, el estado climatológico debe ser el idóneo y característico para poder llevarse a cabo, limitando su facilidad de implementación. Todos estos factores provocan que dichas técnicas no sean tan factibles al no tener un control total sobre ellas.

Hoy en día, en Veracruz se realizan diversas actividades productivas, de las cuales se destacan la agricultura (café, caña de azúcar, frijol, maíz y arroz) y la ganadería (ganado vacuno, ganado lechero, cerdos, ovejas, cabras, caballos, aves domésticas y abejas.). Estas actividades requieren la explotación de suelos, lo que conlleva a un deterioro de este ya que las actividades de siembra agrícola siguen en función de la fertilización inorgánica, que como se mencionó, genera un gran impacto al medio ambiente.

1.3 Justificación.

El uso inmoderado de fertilizantes inorgánicos ha provocado, que actualmente se opte por el uso de nuevas tecnologías, para poder disminuir los impactos ambientales que se generan.

Tal es el caso del Biochar el cual es proveniente de la descomposición térmica de materia orgánica, esto gracias al proceso de pirólisis. En reportes existentes, se sabe que este, ha sido considerado en el empleo de bio-fertilizante para el mejoramiento de una deficiente fertilidad del suelo (Forero & Navarro, 2017), por lo tanto, gracias a su implementación, se ve apoyada el uso del mismo, ya que el producto genera cambios positivos en las propiedades del suelo, trayendo consigo un correcto crecimiento en los cultivos.

Es por lo anterior, que se debe recurrir a tratamientos para la producción de fertilizantes orgánicos, tal es el caso del proceso de “pirólisis”, considerado como un método termoquímico que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y en altas temperaturas, en un sistema cerrado, que utiliza como materia prima la materia orgánica, llevándolo a cabo habitualmente entre los 250°C y 350°C , provocando que dichas temperaturas, obliguen a los residuos a transformarse en gases (Gas combustible), líquidos (Bio- oil) y cenizas sólidas (Biochar).

En este caso, el producto proveniente de la pirólisis, Biochar, presenta una serie de ventajas en comparación con el resto de las técnicas antes mencionadas. Las ventajas más importantes de esta tecnología son la alta retención hidráulica, fuente de nutrientes C, N, P, K, liberación lenta de dichos minerales, reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (óxido nitroso (N_2O) y dióxido de carbono (CO_2), incremento de

actividad biológica, evita lixiviaciones de nutrientes y principalmente se tiene un control total sobre las sustancias de furanos y dioxinas.

Cabe mencionar que el “Biochar” es un producto de gran interés en la agricultura, ya que puede ser utilizado como enmiendas para el mejoramiento de las propiedades del suelo, por las atribuciones que contiene. Es por ello que esta tecnología puede ser bien aprovechada por los agricultores en el período de fertilización, además, es considerada como una opción de enmienda para suelos que se encuentran sin un uso agrícola por la baja fertilidad que este contiene. Por lo cual este resulta más amigable con el medio ambiente, de igual manera se les asigna un valor monetario a los residuos orgánicos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos generales:

- Obtención de Biochar a partir de pirólisis que cumpla con los parámetros de calidad de la NADF-020-AMBT-2011.
- Analizar efectos en las propiedades fisicoquímicas del suelo, utilizando Biochar como enmienda de suelos.

1.1.2 Objetivos específicos:

- Producción de Biochar a partir de pirólisis lenta.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del Biochar y el suelo de estudio.
- Evaluar variables agronómicas en la germinación de la planta de frijol *Phaseolus vulgaris* a partir de la aplicación del Biochar obtenido.

1.5 Hipótesis.

La aplicación de Biochar usado como enmienda para el suelo, producirá un cambio positivo en la mejora de las particularidades de suelos agrícolas y en el desarrollo del cultivo de plantas de frijol *Phaseolus vulgaris* .

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Fertilización del suelo

La fertilización del suelo, es el introducir una gran variedad de nutrientes al suelo con la intención de aumentar su rendimiento en las cosechas y especialmente el aumento en la velocidad del desarrollo de plantas como también su productividad (Ellena *et al.*, 2013). El llevar a cabo este proceso tiene una gran importancia, ya que de este depende la calidad y la producción de plantas de cultivo (Preston & Coleman, 2000).

Cabe mencionar que se le denomina como suelos fértiles a los terrenos que son idóneos al proporcionar todos los nutrientes necesarios para que las plantas puedan desarrollarse de una manera adecuada, mientras tanto su estructura como textura deben ser las apropiadas para las raíces sean fijadas correctamente al suelo, pero principalmente que el área de terreno no contengan sustancias tóxicas que aquejen el desarrollo óptimo de las plantas ya que estos agentes inhibirían su proliferación (Harter, 2009).

Por otra parte, los suelos denominados como infértiles son todas aquellas áreas de terreno que almacenan compuestos tóxicos persistentes de cualquier tipo tales como productos químicos, sales, materiales radioactivos entre otros, de los cuales tienen efectos adversos al suelo, que esencialmente son provocados por actividades humanas que posteriormente ocasiona que disminuya la capacidad presente y futura (INECC, 1999).

Para que las plantas puedan subsistir y desarrollarse, necesitan una serie de nutrimentos de los cuales se clasifican de la siguiente manera en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de Macro y Micro nutrientes

Macronutrientes	Micronutrientes
Nitrógeno (N)	Hierro (Fe)
Fosforo(P)	Manganeso (Mn)
Potasio (K)	Zinc (Zn)
Calcio (Ca)	Cobre (Cu)
Magnesio (Mg)	Boro (B)
Azufre(S)	Cloro (Cl)

De acuerdo a la tabla 1 entre los nutrientes mencionados, los más indispensables para las plantas son el nitrógeno, fósforo y potasio ya que se encuentran en un 75% en su totalidad dentro de ella, mientras que el resto se encuentran en pequeñas concentraciones, pero estas no son tan necesarias como las antes mencionadas. Los nutrientes se pueden encontrar en el aire, agua y suelo, de los cuales son tomados por la flora a través de diminutas raíces, mientras que sus raíces de mayor tamaño tiene como función almacenar agua, y sostenerla de manera uniforme (Agroforestry, 2012). Cabe recalcar, que existen otros tipos de elementos que contribuyen a la evolución y el crecimiento de las plantas, sin embargo no pueden llegarse a considerar como necesarias, aunque en casos concretos se ha descubierto que estos minerales son fundamentales para la proliferación de ciertas plantas en específico, estos elementos son : el sodio, silicio, cobalto, selenio y aluminio (Rodríguez & Flórez, 2004).

2.2 Fertilizantes inorgánicos.

Los fertilizantes inorgánicos son provenientes de mezclas químicas aplicadas al suelo para el aumento en su productividad, principalmente son ricos en fósforo, calcio, potasio y nitrógeno favoreciendo el desarrollo de las plantas a un que algunos no generan cambios importantes en la textura y la población bacteriana del suelo (Jiménez, Granados, Oliva, 2010). Estos se pueden encontrar de forma sólida, en polvo, cristalinos, granulados y en líquido (Jardin, 2016). Entre los fertilizantes más conocidos y disponibles en el mercado se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipos de fertilizantes inorgánicos disponibles en el mercado

Producto	Nitrógeno (N)	Oxido de fosforo (P ₂ O ₅)	Azufre (S)	Calcio (Ca)	Oxido de potasio (K ₂ O)	Magnesio (Mg)
Nitrato de amonio	33-34					
Sulfo-nitrato de amonio	30		6.5			
Polisulfuro de amonio	20		40-50			
Tiosulfato de amonio	12		26			
Sulfato de amonio	21		24			
Amoniaco anhidro	82					
Amoniaco acuoso (Acuamonía)	20					
Solución de nitrato de amonio y calcio	17			7-8		
Nitrato de calcio decahidratado	15.5			19		
Cianamida de calcio	20-22			32		
Nitrato de sodio	16					
Urea	45-46					
Solución de nitrato de amonio y urea UAN 32	32					
Fosfato monoamónico (MAP)	10-11	48-52				
Fosfato diamónico (DAP)	16-18	46-48				
Fosfo-sulfato de amonio	16	20	15			
Polifosfato de amonio	10-15	35-66				
Superfosfato simple		18-20	11-12	18-21		
Superfosfato triple (dihidratado)		45-46	12-14	1-1.5		
Ácido orthofosfórico		52-54				
Ácido superfosfórico		76-83				
Cloruro de potasio					60-62	
Nitrato de potasio	13-14				44-46	
Sulfato de potasio			18		50-53	
Sulfato doble de potasio y magnesio			22		22	11
Carbonato de potasio					27-52	
Pentaborato de potasio					13.3	
Monofosfato de potasio		51			35	
Difosfato de potasio		41			54	
Polifosfato de potasio		51			40	
Tiosulfato de Potasio			17		25	
Polifosfato de potasio			23		22	

Nota: Las cantidades expresadas, son los kilogramos del nutriente por cada 100kg del producto.

Fuente: (Ludwick, 1997)

Estos tipos de fertilizantes son adheridos en el suelo, esencialmente durante el periodo de plantación de los cultivos para que estos puedan obtener un incremento en el desarrollo de las siembras (Dema, 2001). Puesto que no presentan la necesidad de altas concentraciones de ácido carbónico, ya que están basados importantemente en que son solubles en agua ocasionando que este compuesto actúe sobre los fosfatos y silicatos que se encuentren en el terreno (Angoitia, 2004).

Los fertilizantes inorgánicos comerciales suelen demostrar diversas desventajas durante su aplicación, sus nutrientes se lavan con facilidad con escorrentías de agua, si se aplica en exceso ocasiona la contaminación total del cultivo, son altamente solubles en presencia de agua, el tiempo de residencia en el suelo es corto y principalmente en altas concentraciones provoca una perturbación en el suelo ocasionando la acidificación (Pérez, 2010).

2.3 Impacto ambiental provocado por fertilizantes inorgánicos.

Actualmente se llevan a cabo diferentes tipos de actividades económicas, entre las que se destacan, la agricultura y ganadería, gracias al aumento de producción y demanda que estas generan, se ha optado por el uso de fertilizantes químicos o también denominados inorgánicos (Gastón, Armas, & Rodríguez, 2005) que son especialmente utilizados para la mejora de los suelos que presentan deficiencias en sus propiedades nutrimentales (SAGARPA, 2016).

Estos fertilizantes son aplicados de forma inadecuada ya que estos al estar presentes de una manera excesiva origina contaminación por nitrógeno provocando el calentamiento global, (Caamal-Pat *et al.*, 2014), pérdida en la capa vegetal, lixiviación de nutrientes, emanación de gases de efecto invernadero, contaminación de aguas subterráneas y superficiales, contaminación de alimentos por la aplicación de fertilizantes en exceso (Cueto & Figueroa, 2012) y acidificación de suelos (Gastón *et al.*, 2005) destacando sobre todo que causan alteraciones a la actividad de los microorganismos que se encuentran en el área de terreno (Xun *et al.*, 2017).

Cuando al suelo se le adiciona nitrógeno en exceso presenta una disminución considerable en la biomasa de las bacterias (Geisseler, Linqvist, & Lazicki, 2017), todos estos problemas son originados principalmente por qué no se consideran las propiedades físicas del suelo, como la humedad contenida, ya que regularmente no llevan a cabo la aplicación de riego o algunas veces, se aplican cuando el suelo no lo requiere y lo emplean de forma excesiva (Cueto & Figueroa, 2012).

2.4 Producción y Gestión de residuos.

La gestión de los residuos se define principalmente como el control y manejo de los restos derivados de las actividades humanas desde la recolección, el transporte y el tratamiento final de los residuos, incluyendo la vigilancia de que estas operaciones se lleven a cabo (Garrido, 1998). Los residuos se originan principalmente de actividades domésticas, comerciales e industriales. Dichas actividades traen consigo una formación de masa heterogénea de residuos, tanto orgánicos como inorgánicos, que en muchos casos no se pueden volver a introducir a los ciclos naturales, provocando problemas ambientales por su acumulación, causados por la velocidad en que se generan los residuos y por su naturaleza química de los mismos (Forján, 2017). La composición de los residuos sólidos urbanos en México se muestra en la figura 1.

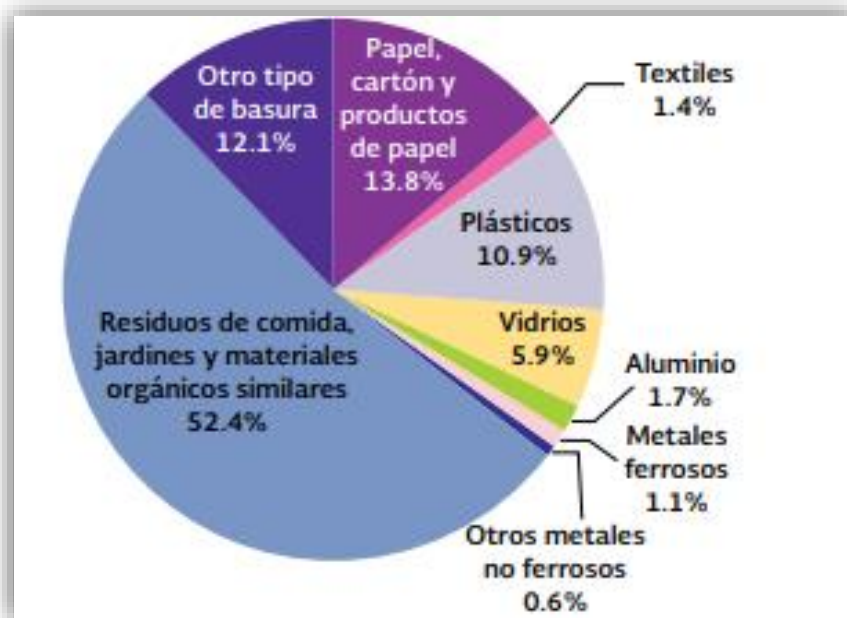


Figura 1. Composición de los residuos generados en México

Fuente: (Semarnat, 2012).

Gracias al efecto negativo que tienen los residuos, se requieren sistemas o tratamientos ambientales desde el momento en que se genera el residuo hasta su disposición final, teniendo en cuenta las características de los residuos: socioeconómicas, de volumen, su procedencia costos de emisión y tratamiento, posibilidades de recuperación y comercialización (Forero & Navarro, 2017).

2.5 Origen de los abonos orgánicos.

La importancia de fomentar la agricultura orgánica es muy útil, la cual ha sido considerada como una forma de producir cultivos de forma sustentable , como también la conservación de los ciclos biológicos del suelo, que actualmente, este tipo de acciones está sustituyendo poco a poco el uso de fertilizantes y plaguicidas (Brockmann, Pradel, & Hélias, 2018) siendo considerados en marco económico y ambiental como viables para un buen mejoramiento en la agricultura sustentable (Ning *et al.*, 2017).

Los abonos orgánicos se originan a partir de aquella materia proveniente de la degradación o mineralización de materia orgánica o vegetal, de las cuales pueden ser aplicadas al suelo y aprovechadas por las plantas (Trinidad, 2007), ya que los abonos orgánicos proporcionan diferentes tipos de minerales (potasio, magnesio, nitrógeno etc.), dependiendo la materia orgánica que se utilicen (Ramos & Terry, 2014). Estos se llevan a cabo en base a procesos de degradación, como lo es la biota y microorganismos presentes en el suelo, reciclando todos los desechos provenientes de plantas, animales y alimentos, sufriendo una transformación a nutrientes benéficos para la flora (FAO, 2006).

2.5.1 Obtención de abonos orgánicos.

Los abonos orgánicos son procedentes del aprovechamiento de la descomposición de materia orgánica, ya sea de origen animal y/o vegetal bajo diferentes técnicas, entre los que destacan, compostaje, combustión, pirólisis y gasificación, de los cuales, los productos obtenidos, al ser aplicados de manera correcta aumentan el rendimiento físico, químico y biológico del suelo (Cajamarca, 2012).

2.6 Influencia del bio-abono sobre las características físicas del suelo.

Esta propiedad del suelo es la encargada de llevar a cabo un buen desarrollo de plantas entre las propiedades que presenta, se encuentran la determinación de rigidez, la fuerza de sostenimiento, la facilidad de fijación de las raíces, introducción de aire al suelo, almacenamiento de agua y la retención de nutrientes que pueda presentar el terreno, debido a que se considera que mientras se encuentre una cantidad alta de materia orgánica en el suelo esta tendrá una mayor resistencia contra la erosión del mismo (Alberto, Reséndez, Carrillo, Quiroga, & Ángel, 2018), encontrándose conformado por 5 peculiaridades importantes;

2.6.1 Densidad aparente (Da):

Se le conoce así a la relación que existe entre la masa y el volumen del suelo que da como resultado conocer las condiciones en las que se encuentra el suelo de acuerdo a la compactación, porosidad, reserva de agua, y oxígeno que presenta (Ferreiro, Avalos, & Vázquez, 2007). Lo cual es determinado mediante la siguiente fórmula:

$$D.a. = \frac{\text{Peso de los sólidos de la muestra o peso seco}}{\text{Volumen de los sólidos de la muestra}}$$

2.6.2. Densidad real:

Consiste principalmente en la proporción que existe entre el volumen de partículas del suelo y el volumen de los sólidos de la muestra (Ferreiro *et al.*, 2007), por lo tanto esta puede ser calculada conforme a la siguiente fórmula:

$$PT = \frac{Dr - Da}{Dr} * 100$$

Donde:

PT: Porosidad total expresada en %

Dr: Densidad real

Da: Densidad aparente

2.6.3 Textura:

La textura es aquella encargada de indicar el contenido relativo de partículas que se encuentren presentes en el suelo tales como; arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla, esta propiedad provoca efectos positivos en el suelo entre los que se encuentran el tiempo en que tarda en infiltrarse el agua , mayor facilidad en la preparación del suelo etc. (Blanquer, Manuel, & Asensio, 2010) para poder determinar de manera concreta este parámetro es necesario consultar el triángulo de las texturas como se muestra en la figura 2.

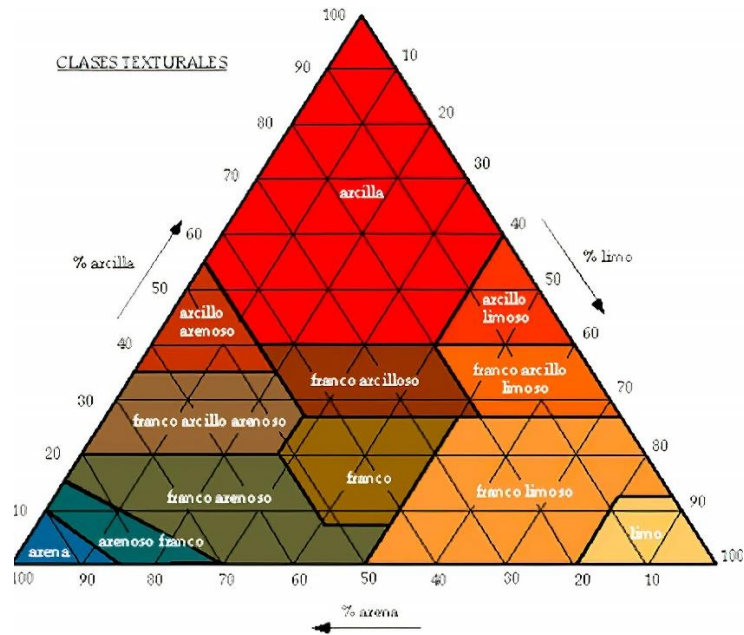


Figura 2. Triángulo de clases texturales

Fuente: (FAO,2018).

2.6.4 Estructura del suelo:

El término hace referencia en como logran llegar partículas de fracciones granulométricas de arcilla ,arena y limo al suelo (Rucks, García, Kaplán, Ponce de León, & Hill, 1994) este se caracteriza principalmente por que lleva a cabo una resistencia de los elementos estructurales formados por la incorporación de las fracciones granulométricas para no ser degradados (Ramírez,1997), entre los principales rangos para la interpretacion estructural con relacion al diametro ponderado medio (DPM) se encuentran los descritos en la tabla 3.

Tabla 3. Rangos de DMP

DPM (mm).	Interpretacion.
< 0.5	Inestable
0.5-1.5	Ligeramente Estable
3.0-5.0	Estable
>5.0	Muy estable

Fuente: (Ramírez,1997)

2.6.5 Color.

Esta propiedad tiende a ser facil de detectar y es comunmente utilizado para identificar el tipo de suelo que es, por otra parte presenta una relacion significativa con la temperatura, al igual que con la movilidad del agua en el suelo, el acumulado de materia orgánica y los microorganismos presentes, que dan lugar a una coloracion pardo oscuro, así mismo, la apariencia de óxidos férricos, son los que dan una tonalidad rojo intenso, entre otros, sin embargo, se deduce que el matiz del suelo varia de acuerdo a los componentes que este contiene en su interior (Moreno, Blanquer, & Ibáñez, 2010).

2.7 Influencia del bio-abono sobre las características químicas del suelo.

Las propiedades químicas que se encuentran en el suelo suelen presentar cambios cuando, a este se le adicionan tanto fertilizantes inorgánicos u orgánicos según sea el caso, cuando se añaden los fertilizantes inorgánicos se registra que la cantidad de materia orgánica, los minerales de calcio (Ca), y la capacidad de intercambio catiónico muestran un descenso considerable, mientras que el potasio (K) aumenta, mediante estos análisis se deduce que ese suelo presenta una pérdida de fertilidad (Orozco, Valverde, Trélles, Chávez, & Benavides, 2016).

Por otra parte, en la adición de fertilizantes orgánicos se presenta un alto aumento en el contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y una leve disminución en los minerales de sodio (Na) y potasio (K).

2.7.1 Carbono orgánico.

El carbono orgánico es toda aquella materia orgánica que se encuentra en el suelo, el cual proporciona nutrimentos importantes como fósforo (F), nitrógeno (N), azufre (S) entre otros (E. Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008), también presenta la característica principal de modificar la alcalinidad y acidez de los suelos a un rango aproximado de pH neutros, además logra proporcionar coloides de alta capacidad de intercambio catiónico y en algunos casos desarrolla un aumento en la solubilidad de nutrientes (E. Martínez *et al.*, 2008).

2.7.2 Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Dentro de las propiedades químicas del suelo, la más importante es la capacidad de intercambio catiónico la cual consiste principalmente en la cantidad de cargas negativas presentes en el suelo (Ramírez, 1997). Se dice que a partir de CIC >10 los suelos son arcillosos o con alta cantidad de materia orgánica, lo cual provoca que no ocurra lixiviación de los nutrientes, mientras que terrenos con CIC <5 son suelos arenosos y estos exigen una gran demanda en la aplicación de nutrientes para no perderlos en el arrastre de nutrientes por medio del agua (Piedrahita, 2011).

2.7.3 pH.

Este parámetro al igual que el anterior, es considerado como uno de los más fundamentales del suelo, ya que de este depende considerablemente los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas, la determinación de solubilidad, y la actividad de los microorganismos en la descomposición directa con la materia orgánica, y algunas veces este parámetro ayuda a saber si el suelo es fértil o no, cabe mencionar que el pH logra tener diferentes influencias sobre los compuestos como el Nitrógeno (N), Fósforo (F), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K), Azufre (S), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Boro (B) (Ibáñez, 2007).

En la tabla 4, se muestran los parámetros para poder clasificar un suelo de acuerdo a su pH.

Tabla 4. Valoraciones para la determinación de pH.

Categoría	pH
Ultra ácido	<3.5
Extremadamente ácido	4 - 4.5
Muy fuertemente ácido	4.5 - 5
Fuertemente ácido	5 - 5.5
Moderadamente ácido	5.5 - 6
Ligeramente ácido	6 - 6.5
Neutro	7 - 7.5
Ligeramente alcalino	7.5 - 8
Moderadamente alcalino	8 - 8.5
Fuertemente alcalino	8.5 - 9
Muy fuertemente alcalino	>9

Fuente: (USDA, 1999).





2.8 Influencia del bio-abono sobre las características biológicas del suelo.

Para poder estipular si un suelo es rico en sus propiedades biológicas, debe estar constituido principalmente por organismos vivos para la adquisición de nutrientes indispensables, predominando así en su totalidad los organismos invertebrados, los cuales tienen como función principal aumentar la actividad microbiológica, para posteriormente llevar a cabo el aumento en la transformación de materia orgánica y en la modificación de la composición, estructura y su funcionamiento en el suelo (Pereira *et al.*, 2011) .

2.8.1 Macrofauna.

Son organismos de un tamaño aproximado de 1 cm de diámetro los cuales pueden ser detectados a simple vista, estos provocan cambios físicos y algunas veces químicos en el suelo, estos cambios, generalmente son considerados como benéficos para la composición del terreno (Brown *et al.*, 2001). Algunos de estos organismos se pueden apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5. Organismos presentes en el suelo a nivel Macro-fauna

Organismos:	Imagen:
Artrópodos Mil-dedos	
Moluscos Caracol	
Anélidos Lombrices	
Onicóforos Orugas	

2.8.2 Microfauna:

Son todos los organismos que se encuentran entre las 200000 micras- 1cm, los cuales se encargan de llevar a cabo cambios físicos y químicos en el suelo (BIGNELL, 2019). Uno de los organismos más importantes son los nematodos, como se ilustra en la Figura 3.



Figura 3. Nemátodos

Fuente: (AGRICULTERS, 2016)

En este, los organismos son los encargados de efectuar transformaciones de forma química al suelo, principalmente en los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica presente, estos seres vivos tienen un tamaño promedio de 20 y 200 micras. Cabe mencionar que los de mayor relevancia son las bacterias ya que tienen la capacidad de transformar diferentes compuestos a formas asimilables para poder ser aprovechadas por las plantas (Cares & Huang, 2012) .

2.9 Composición de los abonos orgánicos.

Los abonos orgánicos están conformados en su mayoría por sustancias provenientes de origen animal y vegetal, aunque en su totalidad son derivados de la mezcla de las 2 anteriores, en la mayoría de las veces, existe más materia orgánica retenida en sustancias de origen animal, mientras que las pertenecientes a la materia orgánica se encuentra en mayor porción en sustancias de origen vegetal.

Cabe mencionar que la materia orgánica derivado del reino animal tienden a ser degradadas con mayor facilidad principalmente por el compuesto de ácido carbónico, el cual es un nutrimento muy necesario para el desarrollo de las plantas, mientras que la materia proveniente del reino vegetal, al igual que la anterior contiene ácido carbónico pero en este caso, el proceso de descomposición es lenta (Alfaro, 2016). Sin embargo, de acuerdo a lo anterior, han optado por el aprovechamiento de materia de los desechos animales, el cual usualmente es utilizado en el fermentado de Bochashi, el cual, a través de la degradación anaeróbica o aeróbica, se logra producir abono orgánico. Por lo que dicha técnica es más rápida en su producción a comparación de otras (Mosquera, 2010).

2.10 Tecnologías de conversión de biomasa.

Actualmente se cuenta con un sinnúmero de alternativas para el aprovechamiento de residuos orgánicos, de los cuales no reciben ningún valor monetario, las tecnologías que existen para la conversión de biomasa son clasificadas en 2 ramas importantes (Arauzo, Bimbela, Ábrego, Sánchez, & Gonzalo, 2014) :

- Conversión biológica:

Fermentación, digestión anaerobia, hidrólisis enzimática, compostaje.

- Conversión termo-química:

Pirólisis, gasificación, combustión.

2.10.1 Conversión biológica.

La conversión biológica es utilizada esencialmente para la disminución de peso y volumen de los residuos orgánicos, para que pueda llevarse a cabo la degradación de estos residuos, se necesita la intervención de los organismos vivos los cuales son fundamentales para la transformación de materia orgánica, tales como; bacterias, hongos, levaduras y organismos clasificados en la macro fauna como las lombrices (Blanco, 2009).

2.10.2. Fermentación.

La fermentación es definida como el proceso que descompone la materia orgánica anaeróbicamente con la intervención de microorganismos a una temperatura ambiente a través de hongos entre las más importantes se encuentra *Saccharomyces cerevisiae* cuando estos hongos logran liberar la enzima “zimasa” este compuesto transforma los carbohidratos presentes, en alcohol etílico , llevándose a cabo la fermentación (Mamani & Chavez, 2010), este proceso es una opción para la producción de bio-etanol a partir de materia prima como las frutas y vegetales (caña de azúcar) ricas en carbohidratos (azúcar, almidón, celulosa etc.), cereales y tubérculos (Patiño, 2014).

Las ventajas y desventajas de este proceso se pueden observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Ventajas y Desventajas del proceso de fermentación.

Ventajas	Desventajas
Estimula el crecimiento y desarrollo de las plantas	El estado climatológico debe ser adecuado.
Desarrolla un aumento en el rendimiento de los productos	Su tiempo de formación es de 1- 3 meses.
Recupera los cultivos después de ser afectado por las heladas	Desprende malos olores
Solo requiere como materia prima residuos orgánicos	
Tiene un bajo costo	
Su aplicación es fácil y no se necesita protección	

2.10.3 Digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso biológico que consiste en degradar diferentes tipos de materia orgánica derivados de origen animal, vegetal estiércoles, efluentes de la industria alimentaria, de la industria papelera y de algunas industrias químicas (Jos et al., 2015), en el instante donde comienza la degradación de los estos residuos intervienen 3 importantes grupos tróficos que son los encargados de la descomposición (Baez, Vargas, & Pérez, 2002), los cuales son :

Grupo I: bacterias hidrolíticas y fermentativas.

Grupo II: bacterias acetogénicas

Grupo III: bacterias metanogénicas

- Bacterias hidrolíticas:

En esta fase la materia orgánica presente es solubilizada a partir de la acción de enzimas que han sido excretadas por las bacterias hídricas (Acosta & Obaya, 2005).

- Bacterias acetogénicas

En esta etapa se lleva acabo simplemente la conversión de los productos derivados de la materia orgánica en ácido acético (CH_3COOH), hidrógeno (H) y dióxido de carbono (CO_2) (Acosta & Obaya, 2005).

- Metanogénesis

La Metanogénesis se realiza a través del ácido acético o de otro tipo de mezclas tales como el hidrógeno y dióxido de carbono, a partir de lo anterior se pueden obtener de otros sustratos, subproductos entre los que se encuentran el metanol (CH_4) y el ácido fórmico (CH_2O_2) (Acosta & Obaya, 2005).

En la Figura 4 se muestra de forma resumida el proceso de digestión anaerobia

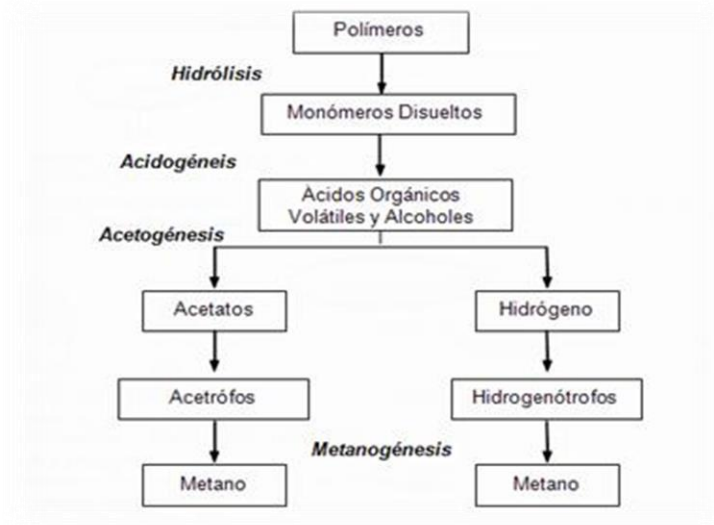


Figura 4. Proceso de digestión anaerobia.

Fuente: (Ramos, 2008)

De acuerdo a lo anterior, las bacterias convierten en su mayoría la materia orgánica en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano, ya que más del 90% de la energía es transformada a gas Metano (CH₄), mientras que el 10% restante es consumido por las bacterias (Jos *et al.*, 2015). Como todo proceso, este tiene diversas ventajas y desventajas como lo muestra la Tabla 7.

Tabla 7. Ventajas y desventajas del proceso de Digestión anaerobia.

Ventajas	Desventajas
El consumo de energía es relativamente bajo	Presencia de malos olores
El material orgánico presente en cuerpos de agua puede ser aprovechado para la producción de biogás.	Tiempo de generación alto
Es un proceso que acepta altas y bajas porciones de materia orgánica	
Puede ser removido un 60-80% de la materia orgánica del agua	
El costo de este proceso es bajo	

2.10.4 Compostaje

Este proceso consiste en la descomposición biológica controlada de residuos orgánicos bajo intervención de actividades microbiológicas complejas aeróbicas y termófilas generando un producto que puede ser utilizado como abono orgánico para el suelo (Álvarez, 2014).

Para poder llevarse a cabo. En este proceso se hacen presentes factores que afectan a este proceso, como:

- Temperatura:

Es importante tener en cuentas las temperaturas óptimas para el compostaje que va desde 35-55°C esto, para evitar a toda costa la proliferación de agentes patógenos, parásitos etc., y asegurar los microorganismos benéficos para la descomposición (Palmero, 2010).

- Humedad:

Este parámetro contiene una influencia importante en el compostaje, la humedad óptima relativa debe encontrarse entre el 40-60%, ya que en caso de ser sobrepasado el porcentaje humedad puede darse el caso de ocasionar putrefacción de la materia orgánica, mientras que si este se mantiene, el contenido de humedad de una forma relativamente muy seca, causaría que el proceso sea más lento y se tendría que invertir más materia orgánica (Palmero, 2010)

- pH

El pH debe ser plenamente regulado, ya que este factor influye directamente a la actividad microbiológica presente en el compostaje, ya que para hongos su pH oscila entre 5-8 mientras que las bacterias pH de 6-7.5 (InfoAgro, 2004)

- Oxígeno:

Cabe mencionar que este proceso es aeróbico, el cual dependerá directamente de la frecuencia en que se volteó el material orgánico (InfoAgro, 2004)

El proceso de compostaje está conformado principalmente por 2 fases importantes:

- Descomposición y degradación:

En esta primera fase hacen presencia de los microorganismos termófilas y hongos, los cuales son generadores de calor, llegando a alcanzar una temperatura de 70°C este puede variar dependiendo directamente de la materia orgánica utilizada y la cantidad de bacterias, esto con el fin de descomponer los residuos orgánicos que tiene una duración de 6 a 8 meses, dependiendo del estado climatológico. (InfoAgro, 2004)

- Maduración:

En esta parte hacen presencia los organismos mesófilos a una temperatura de 20-30°C, donde se presentan pequeños animales como las lombrices e insectos que utilizan como alimento a los microorganismos y restos vegetales, contribuyendo así la producción del abono (Negro et al., 2000).

Pozuelo, Civit, & Ripoll, (2004) Mencionan que este proceso contiene diferentes ventajas y desventajas como son:

Ventajas:

- Obtención de una enmienda orgánica (compost).
- Disminución del peso y volumen de la materia orgánica (entre 40 y 50%).
- Se aprovecha un residuo dándole un valor monetario.

Desventajas:

- Generación de malos olores
- Generación de patógenos
- La velocidad de generación es lenta

2.10.5 Conversión termoquímica.

Hoy en día existen numerosos métodos termoquímicos basados importantemente en la desintegración de la materia orgánica con base a la aplicación de altas temperaturas (Arauzo, Bimbela, Ábrego, Sánchez, & Gonzalo, 2014).

Estos métodos de conversión son clasificados en:

- Pirólisis
- Gasificación
- Combustión

2.10.6 Pirólisis

Es un proceso termo-químico que lleva a cabo la descomposición de materia orgánica sometida a temperaturas altas, en un sistema cerrado en ausencia de oxígeno (Harm, 2010).

Este proceso consiste principalmente en 3 etapas, el primero de ellos se realiza la eliminación de humedad que se encuentra en la materia orgánica, posteriormente conforme a la temperatura se comienza a volatilizar compuestos orgánicos y por ende la generación de gases, formándose así el carbón primario. Finalmente gracias a lo anterior se comienza a transformar el carbón lentamente en pequeñas fracciones sólidas con una concentración alta de carbón fijo, es decir, el producto deseado (Urien, 2013). Este proceso al igual que los procesos biológicos presenta factores que lo aquejan.

- Temperatura:

La temperatura es un factor que tiene una gran importancia en este proceso, ya que de este depende directamente la ruptura de moléculas complejas para posteriormente la conformación de otras más sencillas (Urien, 2013).

- Humedad:

Este tiene una participación importante en el proceso ya que un aumento de humedad en la materia orgánica puede llegar a provocar un favorecimiento a la carbonización (Urien, 2013).

- Tamaño de partícula:

Este factor tiene un impacto sobresaliente en el proceso ya que mientras menor sea el tamaño de partículas de materia orgánica, estas tienden a calentarse con mayor facilidad reduciendo el tiempo en que se volatilizan, y aumentando así la producción (Casado, 2016).

De acuerdo a Urien, (2013). Actualmente existen 3 tipos de procesos de pirólisis, como se aprecia en la Tabla 8.

Tabla 8. Clasificación de los tipos de pirólisis

Tipo de pirólisis	Temperatura °C
Pirólisis convencional	250-350
Pirólisis rápida	500-800
Pirólisis ultra-rápida o flahs	>800

Como todos los procesos contiene ventajas y desventajas:

Ventajas:

- No generan gases contaminantes como óxidos de nitrógeno y azufre.
- Se maneja cualquier tipo de residuos orgánicos residuales o industriales.
- Se da un valor monetario a los residuos.
- Se lleva a cabo en un sistema cerrado por ende no intervienen de muchos factores.

Desventajas:

- El gasto de inversión del dispositivo es alto.

2.10.7 Gasificación.

La gasificación es un proceso termo-químico que se ha venido utilizando desde los últimos años utilizando materiales directos como madera, residuos agrícolas o cualquier tipo de materia orgánica seca (Estrada & Zapata, 2004). Con ayuda de una temperatura relativa de 800-900 °C (Urien, 2013) se convierte la materia orgánica en un combustible gaseoso que puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica (Pérez ,Borge & Agudelo, 2010).

Este proceso se realiza en una cámara cerrada, con base a una serie de etapas:

- Primera etapa

En esta primera etapa se lleva a cabo el secado de la materia orgánica sólida que se utilizara en el proceso a una temperatura arriba de 100°C (IDAE, 2007).

- Segunda etapa:

Esta parte de la etapa se realiza el proceso de pirólisis, el cual la materia orgánica a utilizar presenta una descomposición térmica en ausencia de oxígeno (Estrada & Zapata, 2004)

- Tercera etapa:

En esta parte de la etapa la materia orgánica que se encuentra dentro de la cámara entra en contacto con el oxígeno o sea el agente gasificante (IDAE, 2007).

- Cuarta etapa:

En esta última etapa se llevan a cabo diversas reacciones, combinándose el vapor de agua que se produjo en la primera etapa con el dióxido de carbono generado (IDAE, 2007). Esta etapa contiene ventajas y desventajas la cuales se pueden apreciar en la Tabla 9.

Tabla 9. Ventajas y Desventajas del proceso de gasificación

Ventajas	Desventajas
No contribuye a afectaciones al efecto invernadero	Tiene un costo elevado en su producción
No emite contaminantes de nitrógenos ni sulfurados	Requiere un combustible de calidad para tener un buen rendimiento
Se utiliza materia orgánica, aprovechando los residuos orgánicos generados.	Peligro de explosiones
Se les da un valor monetario a los residuos	Los sistemas deben estar sellados para que no presente fuga de gases
Disminuye la tendencia para el abastecimiento de combustible.	Se produce alquitrán
El producido puede ser almacenado fácilmente	Altos costos de almacenamiento
El gas obtenido puede ser utilizado como gas natural.	Necesidad de acondicionamiento de la materia prima a utilizar
Puede ser utilizado para generar electricidad	

Fuente: (Bott, 2014)

2.10.8 Combustión.

La combustión es un proceso por el cual la materia orgánica utilizada se transforma por acción de altas temperaturas oscilando entre 800-1000°C manipulando principalmente el oxígeno como agente oxidante para la interacción con la materia orgánica. Cabe mencionar los productos que son producidos durante el proceso por la liberación de energía que son provocados por los residuos orgánicos en forma de calor, trayendo consigo subproductos tales como: dióxido de carbono, agua en forma de vapor, sales minerales, óxido de nitrógeno, óxido de azufre, monóxido de carbono, entre otros (Carrasco, 2008).

Con base a lo anterior se han llevado a cabo diversas formas para realizar este proceso:

- Calderas de lecho fijo o parrilla:

Consiste principalmente en introducir la materia prima que se utilizará en el proceso en la parte superior, en la cual se ubica un medio de parrillas recíprocante con una posición inclinada, donde se realizara la quema de este, mientras que las cenizas generadas serán recolectadas en el otro extremo de donde se introdujo la materia prima (Linares, 2018)

- Caldera de lecho fluido:

Este proceso se fundamenta en el tamaño de partícula de ceniza de la materia orgánica, se mantiene en suspensión en conjunto con las partículas de arena, el cual con ayuda de un ciclón la separación de las cenizas por un extremo y el otro con las partículas de arena. (Jimenez, 2012).

- Caldera de combustible pulverizado o de lecho arrastrado.

Se basa en la disminución de las partículas de la materia orgánica menores a 1mm, siendo introducido a la caldera para iniciar el proceso de combustión para cuando finalice las cenizas y los gases generados salgan por la parte superior, para iniciar las etapas de filtrado y limpieza (Jimenez, 2012). Al igual que todos los procesos, este contiene ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Permite eliminar residuos orgánicos e inorgánicos, al tiempo que se le da una utilidad

Desventajas:

- Alto costo de inversión
- Las cenizas presentan un alto contenido de álcalis
- Formación de compuestos eutécticos

2.11 Estado actual de la conversión termoquímica de las masas.

Actualmente se cuentan con tecnologías para dar un tratamiento adecuado a los residuos orgánicos y así una contribución en la generación de energía, e incluso la producción de abonos orgánicos para así contrarrestar el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos que causan daños hacia el ambiente (Villamar, 2015) estos pueden ser producidos en de forma de sólidos, líquidos , gaseosos o que sean directamente convertidos en electricidad ya que son más fáciles en el momento que sean utilizados, para la obtención de los antes mencionados se cuentan con los siguientes procesos de producción a partir de la materia orgánica (Biomasa) generada como se logran apreciar en la figura 5.



Figura 5. Clasificación de los procesos disponibles para la conversión de residuos orgánicos

Fuente: (Patiño, 2014).

2.12 Aplicación de la Pirolisis

La pirólisis es una técnica que con ayuda de temperaturas altas (250-350 °C, 500-800 °C, > 800°C) en un sistema cerrado y en ausencia de oxígeno rompe enlaces de macromoléculas de materia orgánica obteniéndose así moléculas de menor peso másico (Alvarez, Rodrigues, Alves, & Álvarez, 2007).

El empleo de este tipo de tecnología trae consigo un gran beneficio en las aportaciones de energéticos, generación de combustibles y productos químicos derivados de este proceso, cómo los fenoles, cresoles, éteres, levoglucosano, furaldehído, alcanos, alquenos y ácidos grasos (el ácido acético, hidroxiacetaldehído, acetol, entre otros) los cuales contienen diversas aplicaciones y usos (Penedo, Falcon & Bertran, 2006) los combustibles que se consiguen provenientes de la descomposición de los residuos industriales y de la agricultura presentan ventajas (Aguilar, Garcia, Marquez, Ramos & Arauzo, 2009) tales como:

- Contribución al mejoramiento de la calidad del ambiente.
- Tiene bajo contenido de cenizas.
- No forman escorias en la combustión.
- Presentan un escaso contenido de azufre.

2.12.1 Clasificación de pirolisis.

Este proceso consta de 3 diferentes tipos de pirólisis con el fin de obtener una mayor generación energética con base a la acción de calor con materia orgánica (Avedaño, 2017) los cuales constan:

- Pirólisis convencional:

Este tipo de pirólisis consiste en aplicar una temperatura relativamente baja en ausencia de oxígeno, ya que esta presenta una velocidad de calentamiento lenta, con este se da una serie de productos derivados del proceso de forma sólida, líquida y gaseosa (Rodríguez, López, Ocaña & Pérez 2012).

- Pirólisis rápida:

Este proceso se basa en una aplicación de temperaturas de 550-800°C en ausencia de oxígeno (Rodríguez *et al.*, 2012) con el propósito principal de que el proceso se lleve a cabo a una mayor velocidad obteniéndose así productos en forma líquida 60-70 % , sólida 15-25 % y gaseosa 10-20% (Avedaño, 2017).

- Pirólisis flash o ultrarrápida

Se basa en aplicar temperaturas >800°C de igual manera en un sistema cerrado y en ausencia de oxígeno , de este proceso se puede obtener productos en estado sólido, líquido y gaseoso teniendo en cuenta que esto cuentan con un rendimiento del 70% (Avedaño, 2017).

2.13 Residuos Sólidos Urbanos como biomasa útil para procesos de pirólisis.

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son todos aquellos desechos que provienen de casas habitación, comercio y de industrias los cuales son depositados en un vertedero final (SEMARNAT, 2013).

Actualmente se tiene una consideración de una recolección de 87% mientras que 13% restante se pierde en el medio ambiente teniendo en cuenta que el 64% de los residuos son depositados en rellenos sanitarios controlados mientras que 36 % son vertidos de forma inadecuada en lugares que se encuentran al cielo abierto , es por ello que el gobierno (federal, estatal y municipal) debe desarrollar el fomento a infraestructuras para el aprovechamiento energético de los materiales contenidos en los residuos y dar así un valor monetario a los mismos tal como se aprecia en la figura 6 (SEMARNAT, 2012).

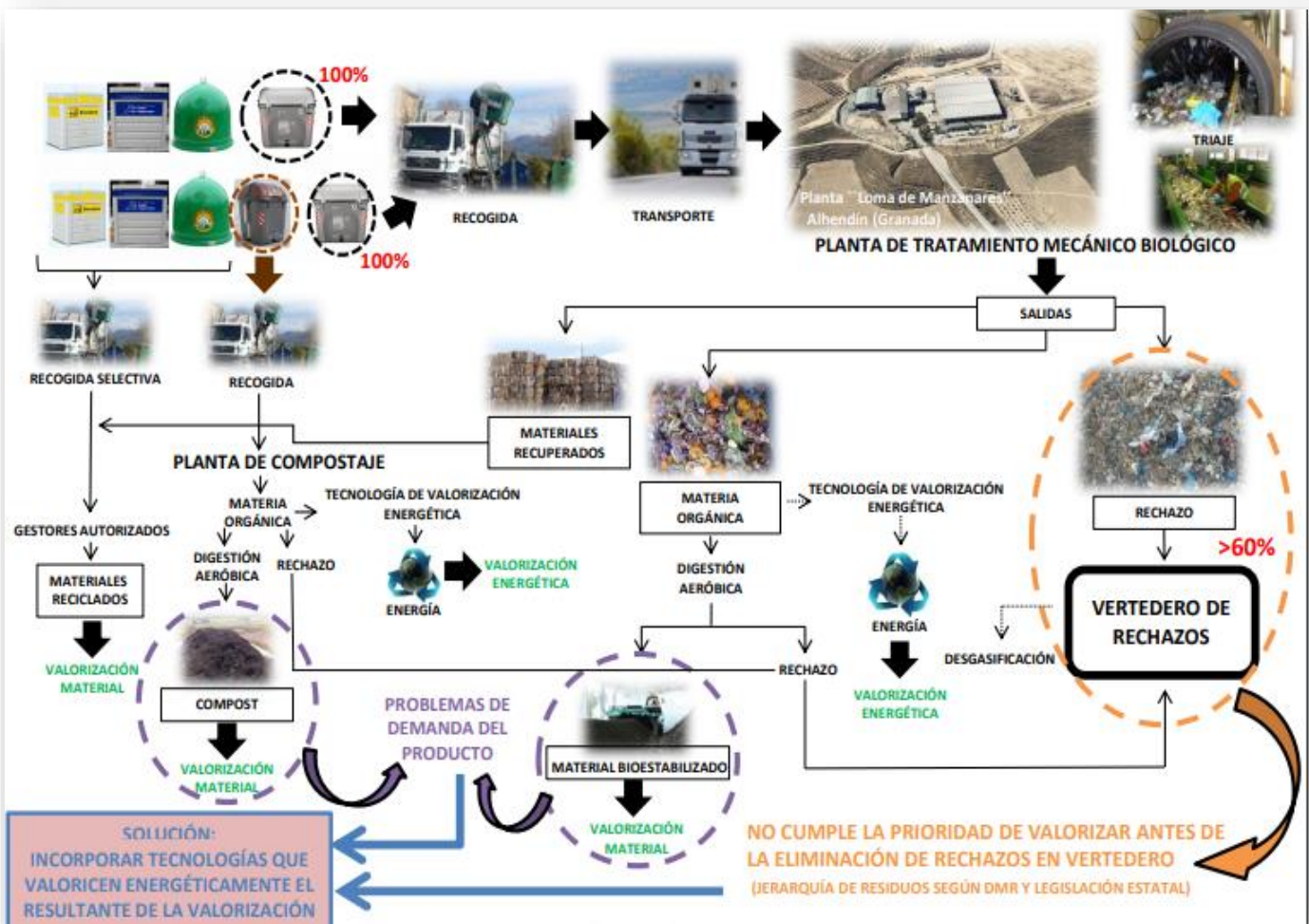


Figura 6. Tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos.

Fuente: (Residuos & Urbanos, n.d.)

Los residuos orgánicos (biomasa) son los provenientes de los desechos de origen vegetal o animal a partir de procesos donde sufren transformaciones, esta biomasa es procedentes de diversas fuentes de generación como se presentan en la tabla 10, las cuales con un tratamiento adecuado se pueden obtener productos que pueden ser aplicados para diversos fines (Romero, 2010).

Tabla 10. Fuentes de generación de biomasa y productos derivados de la misma.

Fuente	Materia orgánica	Productos
Residuos agrarios	Leña, ramaje, viñedos etc.	Combustibles líquidos
Residuos animales	Estiércol, purines e incluso animales muertos	Biogás tipo metano
Residuos industriales	Madera, papel, frutos secos.	Combustibles líquidos
Cultivos vegetales	eucaliptos, álamos, helechos girasol, alga, palma etc.	Combustibles alternativos la gasolina
RSU	Materia orgánica	Bio-abono

2.14 Reacciones de pirólisis.

En este proceso se realiza la descomposición de materia orgánica con el aumento de temperatura obteniéndose así combustibles de tipo sólido, líquido y gaseoso, durante este proceso se hacen presentes variables, como lo son transformaciones químicas , procesos de transferencia de calor y de masa las cuales tienen una contribución en las reacciones de este proceso (Gómez, 2008).

2.14.1 Pirólisis de residuos lignocelulósico.

Estas sustancias son encontradas en mayor proporción y primordialmente en la madera (Vico, 2014) palma, aserrín y residuos agropecuarios (Bertero, Gorostegui, Orrabalis, Guzmán, Calandri, 2011) en los cuales están conformados principalmente por macromoléculas, celulosa, poliosas y ligninas (Vico, 2014) las cuales bajo el proceso de pirólisis se obtiene un producto líquido, bio-oil el cual de acuerdo al contenido de lignocelulosa que se encuentra en la materia prima a utilizar, se hacen presentes compuestos de ácidos, aldehídos, cetonas y fenoles (Bertero *et al*, 2011).

2.14.2 Pirólisis de hemicelulosas, celulosas y ligninas.

Las hemicelulosas son compuestos de bajo peso molecular reaccionando así a una temperatura de 200-260°C, estos se encuentran formados por diferentes monosacáridos como lo son las pentosas, hexosas y ácidos urónicos, creando así estructuras ramificadas con base a enlaces glucosídicos (Vico, 2014).

Mientras que la celulosa es un componente que se encuentran en mayor cantidad en las paredes celulares de los árboles y tallos de las plantas siendo así inagotable para estos ya que tiene la características particular de ser regenerada a partir de la fotosíntesis teniendo reacción a una temperatura de 200-280°C, la celulosa se encuentra construida por una unión de moléculas de β -glucosa con base a enlaces de β -1,4- glucósido , por lo cual gracias a estos provoca que dicho compuesto sea insoluble a el agua (Estrada, 2010).

Por otra parte es importante mencionar la lignina es una de las macromoléculas que conforma a la madera y tallos de plantas, conformada por la polimerización deshidrogenativa de los alcoholes parahidroxicinámicos (Vico, 2014) esta sustancia es hidrofóbica teniendo como función principal la eliminación de agua de las paredes celulares y especialmente genera una gran resistencia mecánica en las paredes celulares (Barros, Serk, Granlund, & Pesquet, 2015).

Por otro lado, las hemicelulosa, celulosas y ligninas son los macro componentes esenciales que contiene la biomasa vegetal , cuando este es sometido al proceso de pirólisis comienza a ser degradado dando lugar a compuestos volátiles, estos al emprender la condensación generan un líquido en el que se observan dos diferentes fases: la primera es de aspecto ácido piroleñoso (conformado por compuestos orgánicos oxigenados de bajo peso molecular) mientras que la segunda fase que es no acuosa designada como alquitrán (compuestos orgánicos insolubles de alto peso molecular como fenol, pirocatecol, guayacol, cresol, metil-cresol, tolueno, xileno, naftaleno etc.) de los cuales son utilizados para diversos fines (Cutiño, Penedo, Giralt, Beltrán & Estela, 2009).

2.14.3 Pirólisis de plásticos y cauchos.

En la actualidad los residuos plásticos que se generan no tienen una disposición final adecuada ni mucho menos puede ser recuperados económicamente mediante operaciones convencionales es por ello que el proceso de pirólisis ha venido siendo emergente usando estos plásticos como materia prima para la producción combustibles como lo son las gasolinas y diésel principalmente (Calderón, 2016).

La temperatura más adecuada para realizar este proceso debe ser >400 ya que si este es menor, el desarrollo del proceso no se ejecuta de forma correcta en su totalidad (Mancheno, Astudillo, & Arévalo, 2017).

A esta temperatura los materiales poliméricos que se encuentran en los plásticos comienzan a descomponerse, el resultado de este proceso en la mayoría de los casos son líquidos o aceites los cuales se encuentran conformados por ceras, parafinas, olefinas, naftalenos y aromáticos (Calderón, 2016).

Cabe destacar que de acuerdo a estudios reportados, los plásticos de Poliestireno (Ps) contiene un mayor rendimiento en su fracción líquida, mientras que los plásticos Polietilentereftalato (PET) es viable en la producción de carbón activado, ya que se generan mayores cantidades de fracciones sólidas (Mancheno *et al.*, 2017).

Por otra parte, los cauchos los cuales se encuentran compuestos por materiales poliméricos que en la mayoría de las veces sus dimensiones son diversas debido a las tensiones mecánicas en las que estos son sometidos, la generación de llantas la cuales son formadas a partir de este material presentan un problema ambiental, ya que hoy en día hay una producción excesiva de estas, que por las características que presentan ante la resistencia de condiciones mecánicas y atmosféricas (luz y bacterias) son consideradas indestructibles y difícilmente pueden ser eliminadas, sin dejar atrás que en los vertederos de llantas llegan hacer resguardos de insectos, roedores, lixiviaciones y generación de gases (Sánchez, 2012).

Es por lo anterior que se ha inclinado por el proceso de pirólisis ya que a través de este mecanismo se puede dar un valor económico a este residuo como también otorgar una solución en el ámbito ambiental en la disminución de los plásticos y cauchos, estas temperaturas óptimas para su degradación es de $120-520^{\circ}\text{C}$ que de acuerdo a diferentes análisis se determinó que el producto obtenido del proceso presentó una disminución en su peso del 67% mientras que un 33% fue de peso sólido correspondiendo un 28% de carbón y un 5% de ceniza (Miranda, Segovia, & Sosa, 2006).

En estudios realizados con el caucho vulcanizado bajo el mismo proceso se obtuvo un combustible semejante al diésel, el cual podría ser remplazante del diésel comercial (Mancheno, Arévalo, & Romero, 2017).

2.14.4 Productos de pirólisis.

El proceso de pirólisis actualmente es una tecnología ampliamente estudiada de acuerdo a las características benéficas que esta proporciona, sobre todo y con mayor importancia son los productos que se pueden obtener de este, como se muestra de forma clara en la tabla 11.

Tabla 11. Productos obtenidos del proceso de pirólisis.

Fracción del producto	Temperatura (°C)	Tipo de producto	Aplicación
Solida	250-350°C	Carbón Bio-abono (Bio-char)	Enmiendas para suelo
Líquida	500-800°C	Combustible líquido-aceite	Combustibles semejantes a la gasolina y diésel
Gaseosa	>800°C	CO, H ₂ , CH ₄ , CO ₂ , Cantidades pequeñas de hidrocarburos (etileno, acetileno, etano etc.)	Generación de energía eléctrica, empleados para turbinas y motores de gas.

2.15 Biochar

2.15.1 Concepto de Biochar.

El Biochar es un producto derivado del proceso de pirólisis a partir de la materia orgánica (biomasa) con las características peculiares de tener una forma porosa y de grano fino (Abenza, 2012) teniendo un efecto positivo en la incorporación en el suelo mejorando sus características físico-químicas y biológicas del mismo (Escalante, 2016).

2.15.2 Propiedades del Biochar.

Las propiedades del Biochar son diversas ya que contiene una gran estabilidad, considerado como un acondicionador del suelo ya que confiere un aumento en el mejoramiento de las propiedades del mismo, tales como crecimiento en la producción de los cultivos, tiene un aporte de nutrientes indispensables para las plantas como lo son N, K, Ca, Mg, el aporte y retención del carbono (C) además es de resaltar que, toma como materia prima los residuos orgánicos que en un tiempo determinado si no se les trata adecuadamente provocan un problema de contaminación ambiental (Escalante, 2016). En la figura 7 se puede observar los beneficios que otorga el Biochar al ser incorporado al suelo.

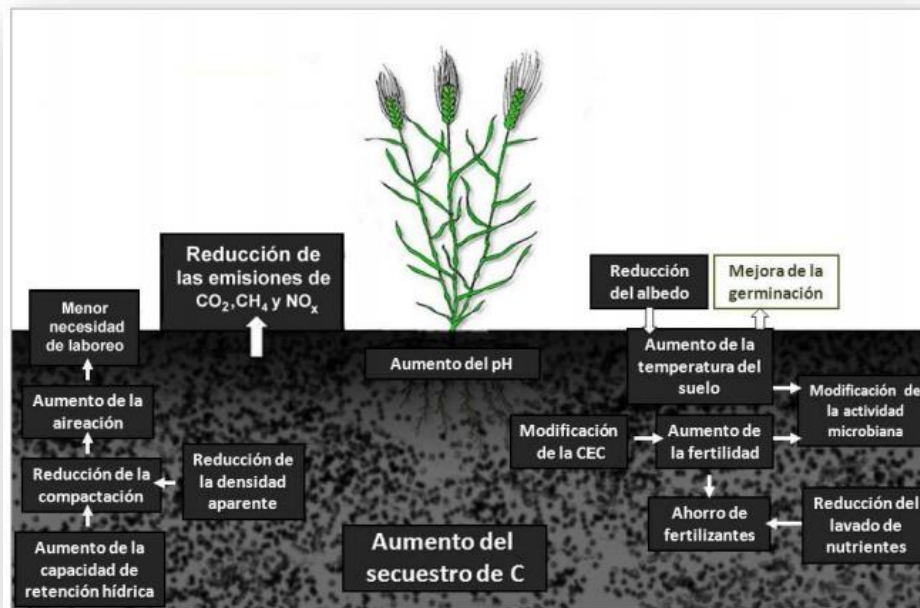


Figura 7. Propiedades del Biochar en suelos

Fuente:(Prieto, Montero, & Albuquerque, 2016).

2.15.3 Sistemas de producción de Biochar

La generación de Biochar se realiza a través de un proceso tecnológico actualmente emergente, pirólisis consistiendo principalmente en la descomposición de materia orgánica por la acción de temperaturas altas regularmente esta se lleva a cabo a $<700^{\circ}\text{C}$ en ausencia de oxígeno y en un sistema cerrado (Lehmann & Joseph, 2009) otro proceso que también se genera producto pero que es menos utilizado es la gasificación la cual consiste al igual que el anterior sometiendo la materia orgánica a altas temperaturas en un sistema cerrado pero en este caso añadiendo un agente gasificante como oxígeno, vapor de agua o la mezclas de estas (BEFS, 2014; Izquierdo, 2014).

Cabe mencionar que de estos dos procesos no solo se obtiene Biochar, sino que también se obtiene gases que pueden ser utilizados para la generación eléctrica y productos líquidos (Bio-oíl) que pueden ser sustitutos de la gasolina y diésel tal como se explica en la Figura 8.

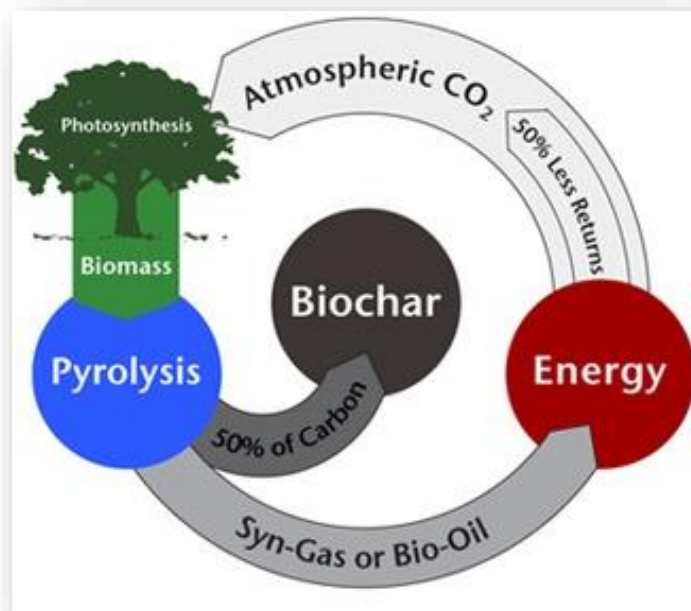


Figura 8. Productos derivados del proceso de pirólisis

Fuente: (THM, s.f.).

2.15.4 Implicaciones agrícolas de la utilización del Biochar.

Se sabe que el Biochar tiene propiedades benéficas hacia el suelo como el aporte de carbono al mismo, siendo aprovechado por las plantas y aumentando la retención de agua en el lugar (Abenza *et al.*, 2012) Como también se contribuye a la disminución del efecto invernadero y la duración del nutriente “C” puede llegar a persistir hasta 500 años en un suelo medianamente fértil ya que el Biochar es un producto estable (SCA, 2015) generando un aporte significativo en la fertilidad de los suelos, lo cuales pueden ser bien utilizados para actividades de agricultura (Paul, Ernsting, Semino, & Gura, 2009).

2.15.5 Efectos del Biochar sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

De acuerdo a las características que contiene el Biochar cuando este es aplicado al suelo tiende a afectar a este de forma positiva en las propiedades físico-químicas y biológicas del mismo principalmente un alto contenido en la retención de carbono (Escalante, 2016), por ejemplo presentan cambios como (CREAF, 2013):

- Aumento en la retención de agua.
- Incremento en la permeabilidad.
- Crece la capacidad de adsorción de iones.

Otra de las contribuciones que este proporciona, es la estimulación de actividades biológicas del lugar (CREAF, 2013) el Biochar aporta beneficios a otros factores que componen al suelo tales como:

- Estructura:

Cuando se le adiciona Biochar al suelos donde su estructura se encuentre compuesta por partículas gruesas, es decir, suelos arenosos o limosos, tiende a presentar un aumento en su capacidad de intercambio catiónico (retención de nutrientes y agua), mientras que en suelos donde su estructura sea por partículas finas este compuesto mejora la infiltración de agua y promueve el crecimiento de plantas en el suelo (STEFANNOLTE, 2017).

- pH:

Cabe señalar que el este producto contiene un pH alto el cual sería muy apropiado en suelos ácidos ya que evitaría a toda costa la pérdida de nutrientes y la fertilidad, de lado contrario si este es añadido en suelos que presenten un pH básico tendría un efecto negativo, es por ello que en este caso se debe adicionar una cantidad considerable de estiércol o de materia orgánica para que los aportes del compuesto sea positivo sumando así mayores beneficios con la materia orgánica extra (STEFANNOLTE, 2017).

- Aumento en la temperatura del suelo:

En este factor el Biochar afecta la temperatura del suelo por el color característico negro que este tiene, al verse afectado en el aumento de este parámetro se induce al crecimiento en la actividad microbiana, dando lugar a un aumento en la temperatura del suelo (STEFANNOLTE, 2017).

2.15.6 Efectos del Biochar sobre los cultivos.

La adición del Biochar en los suelos utilizados para agricultura tiene gran realce en el desarrollo de las plantas, se sabe que este compuesto presenta en su estructura una alta concentración de carbón el cual es una de sus características fundamentales, en estudios realizados el Biochar provee un gran incremento en los nutrientes disponibles en el suelo a nivel macro y micro (Abenza *et al.*, 2012).

Mientras que en las plantas los macro-nutrientes que se encuentran en los tallos y hojas tales como celulosa, lignina y hemicelulosas suelen presentar un incremento considerable, los cuales da lugar a un mejoramiento en el peso y tamaño del mismo y un aumento de volumen de las raíces de las plantas, que por consiguiente llegan a generar el pH óptimo para el desarrollo de la misma, en general proporciona una mejor calidad del suelo para las actividades productivas de la agricultura (Maria & Ocampo, 2014).

2.15.7 Implicaciones ambientales de la utilización del Biochar.

Actualmente uno de los problemas que afectan en el planeta es el cambio climático, el cual se refiere en un incremento considerable en la temperatura tanto terrestre como marina (SEMARNAT, 2009). Uno de los aspectos de mayor importancia es que la mayoría de los gases de efecto invernadero (GEI) son generados por actividades humanas tales como la generación de electricidad, las industrias, agricultura, medios de transporte y principalmente los cambios de uso de suelo ya que al ser afectado por la deforestación tiende a producir altas concentraciones de CO₂ (Rodríguez & Mance, 2009), tal como se observa en la figura 9.

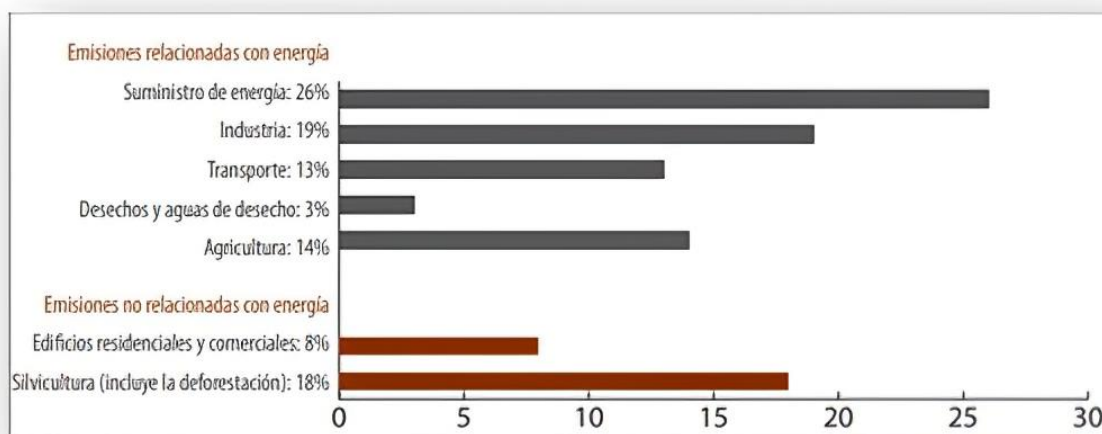


Figura 9. Grafica de emisiones generadas

Fuente: (Rodríguez & Mance, 2009).

Como se mencionó anteriormente la agricultura está plenamente relacionada con el cambio climático, ya que esta actividad aporta GEI dando lugar a este problema, por otro lado existen sistemas de mitigación del cambio climático tal es el caso del proceso de pirólisis el cual al término de este, forma un producto denominado Biochar partir de materia orgánica ya que por sus características que lo conforma puede llegar a retener el carbono durante un tiempo prolongado (Amonette, Woolf & Alayde, 2013).

Este producto se elabora primordialmente para los suelos agrícolas ya que al ser adicionado , este libera cantidades pequeñas de dos gases que pertenecen a los GEI los cuales son el metano y óxido nitroso, también proporciona la fertilidad del mismo, da un aumento en el desarrollo de los cultivos ,retención de macro y micro nutrientes del suelo y concentra por más tiempo el agua del terreno (Amonette, Woolf & Alayde, 2013).

2.15.8 Recuperación de suelos.

Se sabe que gracias a la elaboración de enmiendas orgánicas estas pueden restablecer de forma natural a los suelos que presenten degradación y que sean casi irrecuperables (Alcañiz, 2015) Tal es el caso del Biochar o también denominado Bio-carbón el cual es una opción ampliamente estudiada y de uso agrícola ya que sus beneficios son diversos para el suelo, como la retención de múltiples nutrientes, de humedad y regula el nivel de acidez del mismo (Cuasapaz, 2016).

Este producto dependerá de la materia orgánica que se utiliza para la elaboración de Biochar , ya que en estudios realizados se nota que el producto proveniente de “agave” tiene mayores atribuciones en las plantas de pepino que los derivados de olote y de álamo, cumpliendo así su función como enmienda orgánica (Chávez, 2015). Lado contrario, el Biochar que proviene de las astillas de madera y de cáscara de trigo no tiene aportes significativos en la producción de las plantas *Lens esculenta* (Lentejas) y *Lactuca santiva* (Lechuga) esto se debe a que el producto contiene escasos nutrientes de Zn, Cu y Ni , los cuales son óptimos para el desarrollo de dichas plantas (Parra, 2016).

Cabe resaltar que este producto es aplicado en la recuperación de canteras, vertederos, y zonas que hayan sido afectadas en su fertilidad por los incendios forestales teniendo un gran efecto positivo en su reparación (Cuasapaz, 2016).

2.15.9 Impactos socio-económicos de la utilización del Biochar.

Es importante destacar los beneficios que proporciona el Biochar ya que como se ha mencionado en temas anteriores, sus peculiaridades aporta beneficios al suelo, como la captura de carbono, nutrientes, retención de agua, cambios adecuados en el pH, aumento en el desarrollo de los cultivos y por ende de las plantas (Rodríguez, 2013).

Por otra parte, Parra (2016) indica que, para la determinación de la viabilidad económica, se asumieron los aspectos positivos que este genera, ya que como los estudios que se han venido realizando arrojan que el Biochar es factible, el cual este podría implicar afectaciones económicas en la desvalorización del uso de los fertilizantes inorgánicos.

Su factibilidad dependerá crucialmente del rendimiento que presenten los cultivos si estos llegan a demostrar un 14.9% en 1 año y un 7.45% en los años posteriores, se deduce que tanto el proceso de pirólisis y su producto de Biochar serían altamente viables para uso agrícola.

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Recolección de residuos.

La recolección de los residuos orgánicos de naranja se hizo de jugueras existentes en la región, los cuales fueron transportados en bolsas de plástico con capacidad de 5 Kg al Laboratorio de Química (LQ) del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Posteriormente, se prepararon 3 muestras representativas, las cuales consisten en que la primera muestra (M1) estuvo únicamente compuesta por el gabazo de naranja, mientras que la muestra dos (M2) debe estar conformada solamente por la cascara de mismo, y finalmente la tercera muestra (M3) estuvo formada por la mezcla de las dos anteriores, es decir, la cáscara de naranja con el gabazo del mismo. Cabe mencionar que cada uno de estos residuos se pesó, y la suma total de los residuos dio la totalidad de la muestra.



Figura 10. Muestras representativas utilizadas.

3.2. Pretratamiento de los residuos.

Una vez obtenidas las muestras representativas de 1 kg por muestra, estas fueron sometidas a un pretratamiento, el cual consiste en un método de secado en un desecador solar para poder disminuir el contenido de humedad de las muestras, esto gracias la técnica gravimétrica, la cual está fundamentada en tomar una muestra de residuo, pesarla antes y después de su desecado y calcular su contenido de humedad. Se pesaron las muestras antes de ser introducidas dentro del dispositivo, luego, las muestras se colocaron en una cápsula dentro del desecador a una temperatura de 110°C por aproximadamente 2 horas, transcurrido este tiempo se retiró la cápsula, dejándose enfriar y pesando nuevamente hasta alcanzar peso constante. Al obtener los datos de la diferencia de peso se aplicó la ecuación 1:

Ecuación 1.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}}$$

Luego de haber finalizado lo anterior, este producto fue sometido a una trituración, para después de ser tamizado en un tamiz de 30 mm.

3.3. Producción de Biochar.

Para poder llevar a cabo el proceso de pirólisis lenta, fue utilizada una estufa de secado, mientras tanto, para llevar a cabo lo anterior se introdujeron 500 gr de muestra M1, M2, M3 ya tamizadas, en una malla de 30 mm, las cuales fueron depositadas en una parrilla, dentro del equipo a una temperatura de 300°C, durante un tiempo de residencia determinado de alrededor de 3 a 4 horas. Una vez finalizado el tiempo, este fue apagado, abriendo la compuerta para dejar escapar los gases contenidos, por último, se retiró la parrilla y se recogió el producto obtenido. Cabe recalcar que este proceso se llevó a cabo 2 veces para obtener mayor cantidad.

3.4. Caracterización del Bio-char

3.4.1. Determinación de Materia orgánica

El método empleado, fue mediante la técnica de oxidación, la cual se estima el contenido de materia orgánica total de una muestra de sustrato (Biochar), completo o de alguna de sus fracciones.

Este análisis consistió en preparar muestras por triplicado y su respectivo estándar, en donde, contenían ácido sulfúrico en grado analítico al 96% (H₂SO₄). Después se preparó una solución de dicromato de potasio (K₂Cr₄O₇) a 0.17 M, pesando 50 gr de este reactivo, siendo diluido y aforado en 1 lt de agua, cada muestra y blanco tuvo 10 ml de esta solución.

Luego, se realizó una solución patrón, utilizando sacarosa en grado analítico (C₁₂ H₂₂ O₁₁), la cual fue sometida a un secado en un horno a una temperatura de 105°C durante 2 horas, una vez finalizado, se dejó enfriar dentro de un desecador, en seguida se pesó 29.69 gr de sacarosa disuelta en 250 ml de agua. Dicha solución contuvo 50 mg C ml⁻¹. Finalmente, este patrón obtenido fue almacenada dentro de una nevera.

Posteriormente se realizaron patrones de trabajo, tomando alícuotas de la solución patrón de 2,5,10,15,20,25 ml siendo aforados con agua en matraces de bola de 100 ml, cada una de las muestras contuvo 1, 2.5, 5, 7.5, 10 y 12.75 mg C ml⁻¹. A continuación, se colocaron 2 ml de cada una de las soluciones preparadas en un vaso precipitado de 250 ml, seguidamente se secaron completamente con ayuda de una estufa a una temperatura de 105°C y se dejó enfriar.

Una vez cumplidas todas las soluciones ya antes mencionadas, se prosiguió a la determinación de la cantidad de materia orgánica, pesando 0.2500 gr de las muestras generadas de Biochar, en un vaso precipitado de 250 ml. Consecutivamente con una pipeta, se tomaron 10 ml de dicromato de potasio 0.17 M a las muestras de Biochar, agitándolas durante 5 min.

También, se agregó 20 ml de ácido sulfúrico a las 3 muestras y a los patrones de trabajo, y fueron agitadas durante 1 minuto, dejándolas reposar por 30 minutos para que estas se enfríen. Después fueron agregados 100 ml de agua destilada a las muestras y a la muestra patrón y se dejó en reposo durante 24 horas para que las partículas interferentes logran precipitarse. Una vez terminado lo anterior, la parte sobrenadante de las muestras fue depositada dentro de tubos de ensayo, teniendo en cuenta que estas no deben mezclarse.

Finalmente, las muestras fueron analizadas en un espectrofotómetro (Figura 11) a una longitud de onda de 620 nm, en absorbancia. Se leyeron las muestras, calculándose la concentración de carbón oxidable (CO) en mg, con base a la ecuación 2, cabe recalcar que se multiplicó el resultado por el factor de 1.32 para tener el porcentaje de CO total y por último el valor obtenido fue multiplicado por 1.72 para así obtener el valor de porcentaje de materia orgánica.

Ecuación 2.

$$\%CO = \frac{mg\ C}{G\ muestra} * \frac{1}{10}$$



Figura 11. Espectrofotómetro modelo THERMO SCIENTIFIC GENESYS 10S Vis.

3.4.2 Determinación de pH.

Se pesaron 10 gr de muestra de Biochar obtenido en una balanza analítica, siendo depositada en un Matraz Erlenmeyer de 250 ml, en donde, posteriormente se adicionaron 20 ml de agua destilada y se agito manualmente con una varilla de vidrio durante 30 minutos, para después dejar reposar por 15 min, seguidamente, con ayuda de un potenciómetro (Figura 12) equipado con un electrodo de vidrio y con un electrodo de referencia, se calibró el potenciómetro en soluciones Buffer de 4, 7, y 10, finalmente el electrodo se enjuagó con agua destilada y se realizaron las lecturas pertinentes de pH las soluciones generadas.



Figura 12. Potenciómetro equipado con un electrodo de vidrio y de referencia.

3.4.3 Determinación de Conductividad Eléctrica (CE).

Se tomaron 20 gr de la muestra de Biochar seco, que se colocaron en vasos precipitados de 250 ml, añadiéndoles agua hasta saturar la muestra hasta formar una leve capa de espuma, y se registró el volumen gastado, donde permaneció en reposo y tapado por 3 horas.

Después, fue necesario obtener el extracto de la muestra, para tal efecto, se colocó un papel filtro sobre el embudo Buhner, siendo humedecido con agua, drenando el exceso de la misma. Después se conectó el matraz Kitasato al sistema de filtración al vacío y fue mezclada nuevamente la pasta para ser colocada en el embudo, por consiguiente, fue aplicado vacío hasta obtener un extracto con un volumen determinado.

Por último, con ayuda del dispositivo Waterproof Hi™ (Figura 13) se registró la conductividad eléctrica correspondiente para cada muestra del analizada.



Figura 13. Determinación de CE mediante un dispositivo Waterproof Hi™.

3.4.4 Determinación de Densidad.

Este análisis, se llevó a cabo a partir del método del cilindro, el cual consistió en haber tomado 50 gr de cada muestra de Biochar, Posteriormente esta fue depositada en crisoles de porcelana, y con ayuda de un plumón se marcó con una línea el área ocupada por las muestras, Así mismo se retiró la muestra de los crisoles, seguidamente con una pipeta se agregó agua hasta llegar a la línea anteriormente marcada y así registrar los mililitros de agua gastados. Luego, finalmente determinar la densidad con base a la ecuación 3:

Ecuación 3.

$$D.a. = \frac{\text{peso de los sólidos de la muestra o peso seco}}{\text{Volumen de los sólidos de la muestra}}$$

3.4.5 Determinación del porcentaje de humedad.

Para la determinación de este parámetro, se pesaron 50 gr de cada una de las muestras de Biochar, las cuales fueron depositados en crisoles, a las cuales se añadió agua hasta ser saturadas por completo, Posteriormente, fueron introducidas dentro de un horno durante 3 horas a 105 °C para eliminar por completo la humedad contenida en las muestras.

Después, una vez de haber completado lo anterior fueron retirados los crisoles del horno, para más tarde enfriar las muestras a temperatura ambiente. Finalmente se determinó el porcentaje de humedad mediante la ecuación 4:

Ecuación 4.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} = \%$$

3.4.6 Determinación de Granulometría

Para poder llevar a cabo este análisis, consistió en pesar cada una de las muestras de Biochar en un tamiz de malla 2 mm efectuando movimientos ondulatorios, con el fin de que las partículas más finas pasaran por la malla del tamiz y las de mayor tamaño quedarán atrapadas en la malla, una vez terminado lo anterior, se pesó el tamiz y así mediante diferencias de peso, se pudo determinar la cantidad de muestra que paso la malla como también la que quedo retenida y verificar si esta cumple con la norma NADF-020-AMBT-2011.

3.5. Germinación y desarrollo de las plantas.

3.5.1. Evaluación foliar

Este método se realizó, recolectando 10 hojas de la parte media de las plantas, de las cuales mediante la técnica de la cuadrícula, el cual consiste en una hoja albanene donde se trazaron una serie de cuadros de tal forma que tuviera un tamaño semejante al de la hoja de la planta, una vez que se realizara la cuadrícula mencionada, esta fue colocada en la parte superior de la hoja, seguidamente se elaboró el conteo de los cuadros que abarcaba la hoja de la planta el cual cada uno de los cuadros representaba 1 cm². Si las hojas que llegaron a tocar parte de un cuadro, estos fueron tomados en cuenta en el momento que se realizó el conteo.

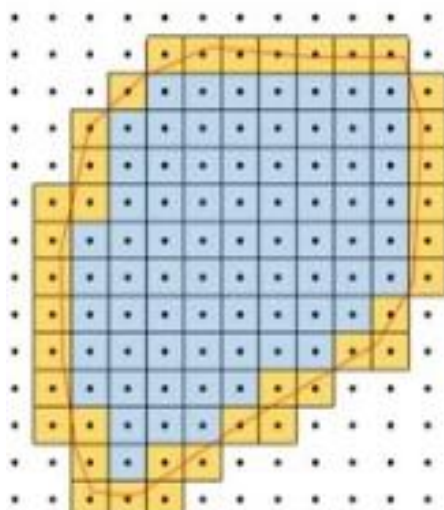


Figura 14. Método de la cuadrícula.

3.5.2. Evaluación de altura.

Para el estudio de esta variable, fue recomendable realizar las mediciones sobre las plantas que se observaron más saludables con su follaje completamente expuesto a la luz del sol o al menos plantas con la mayor exposición a la luz, esto con ayuda de una regla de 30 cm, colocándose en la base donde se encuentra la planta hasta la parte aérea de la misma, finalmente se registrándose la altura obtenida.

3.5.3 Evaluación del tallo.

Esta evaluación se realizó mediante la ayuda de un vernier, el método de medición constó en colocar este dispositivo en la parte media de la planta, para seguidamente obtener la medida del tallo de la planta.

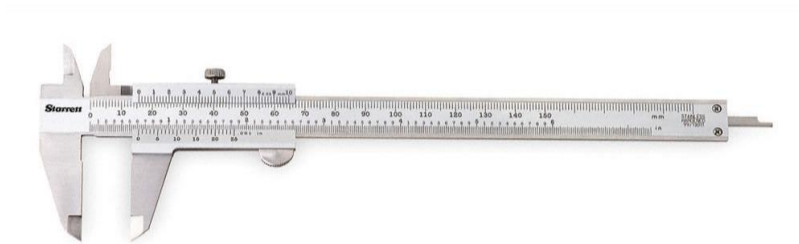


Figura 15. Vernier utilizado para la medición.

3.5.4 Evaluación de materia seca.

La evaluación de este parámetro se efectuó con ayuda de una balanza, se pesó una muestra representativa de la planta por cada tratamiento, seguidamente fue introducido dentro de un horno a una temperatura de 105°C durante 5 min, luego se retiró la muestra y se anotó el peso resultante, posteriormente se realizaron repeticiones cada 5 minutos, hasta que el peso se mantuviera constante.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Caracterización de Biochar.

4.1.1 Determinación de Materia Orgánica.

Los resultados obtenidos se presentan en la figura 16, donde el tratamiento M3 es el que mayor porcentaje de materia orgánica tiene, seguido M1 y por último M2, por tanto, estos valores son considerados como bajos, debido a que los datos obtenidos son inferiores a los que se establecen en la NOM-NADH-020-AMBT-2011, siendo este parámetro como uno de los más importantes.

Sin embargo, de acuerdo a Escalante, 2016 menciona que generalmente este tipo de producto ostenta una baja presencia de materia orgánica, debido al proceso de pirólisis, ya que dentro del proceso se lleva a cabo una oxidación de la materia orgánica, donde disminuye considerablemente la presencia de componentes húmicos y al mismo tiempo generando carbono más estable.

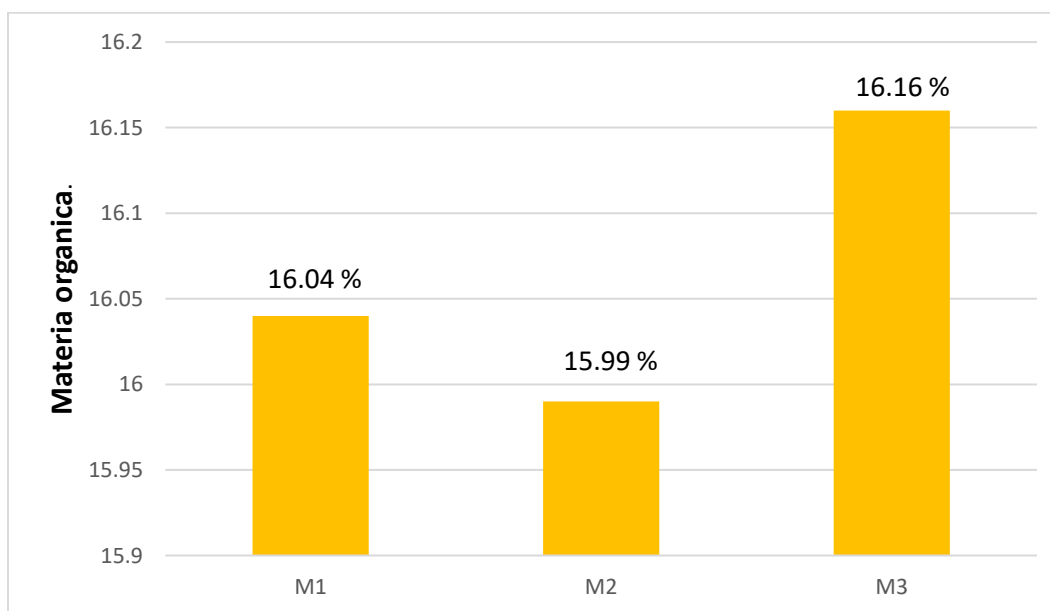


Figura 16. Determinación de Materia orgánica (MO) en las muestras de Biochar.

Por otra parte, de acuerdo a los parámetros que establece la NOM-NADH-020-AMBT-2011, el Biochar no cumple con los límites mínimos de materia orgánica para ser considerado como abono (SEMARNAT, 2012) ya que como se sabe este parámetro juega un papel fundamental dentro de las propiedades físicas, sin embargo, al introducir este producto al suelo este tiende a aumentar la materia orgánica humificada ya presente en el suelo, la cual ayuda considerablemente a la estimulación microbiana (Parra, 2016) .

Este se ve apoyado por (Moreno & Aguilar, 2017), donde concluye que al incorporar el Biochar (procedente de cáscara de arroz, arveja y hojas de cebolla larga) a los suelos de las parcelas analizadas, este demostró un acrecimiento formidable en el porcentaje de materia orgánica al término de la evaluación.

4.1.2 Determinación de Carbono Total.

De acuerdo a los datos obtenidos de este parámetro, se observa que el tratamiento que mayor cantidad de carbono total presenta fue M3, seguido de M1 mientras que el más bajo fue M2, tal como se aprecia en la figura 17. Aunque estos valores son considerados relativamente bajos, en estudios evidenciados por Forero & Navarro, (2017) mencionan que estos valores de carbono tienden a elevarse en medida en que pasa el tiempo, después de su aplicación al suelo.

Esto se ve apoyado por Moreno & Aguilar, (2017) donde al término de su estudio, demostró que el Biochar implementado, aumento hasta 5 veces más la presencia de carbono en el suelo y a su vez aportó una mejora en su estabilización. Así mismo, Escalante *et al.*, (2016) atribuye que el crecimiento de carbono en el suelo puede deberse a una de las principales características que comúnmente demuestra el Biochar, correspondiente, a un alto potencial en el secuestro de este elemento.

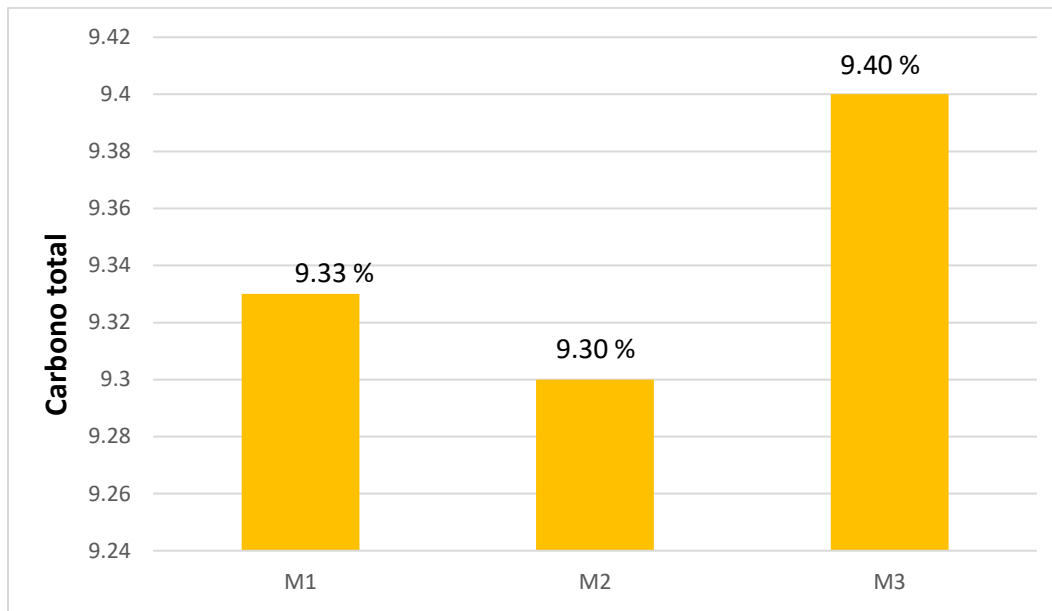


Figura 17. Determinación de Carbono total presentes en las muestras de Biochar.

4.1.3 Determinación de pH.

De acuerdo a los resultados obtenidos de pH, se observa que la muestra 2 representa una muy ligera acidez, esto se debe a que es proveniente únicamente de la cáscara de naranja, puesto que la pared celular de la envoltura de los residuos presenta mayor cantidad de macro componentes, los cuales otorgan la acidez del mismo (Ferrari, 2000) ,por otra parte la muestra 1 presenta una ligera alcalinidad, gracias a que el gabazo se encuentra conformado mayormente por azúcares, por lo cual disminuye drásticamente su acidez, mientras que la muestra 3 su pH se encuentra neutro.

Sin embargo, Guerra, (2014) ha reportado que su Biochar obtenido ostentó valores de pH desde neutros hasta muy fuertemente alcalinos (> 9), donde los valores neutros son derivados de la cascarilla de arroz mientras que los más altos son provenientes de la corteza de árboles, concluyendo que el pH del Biochar dependerá totalmente del tipo de materia prima a utilizar como también de su composición.

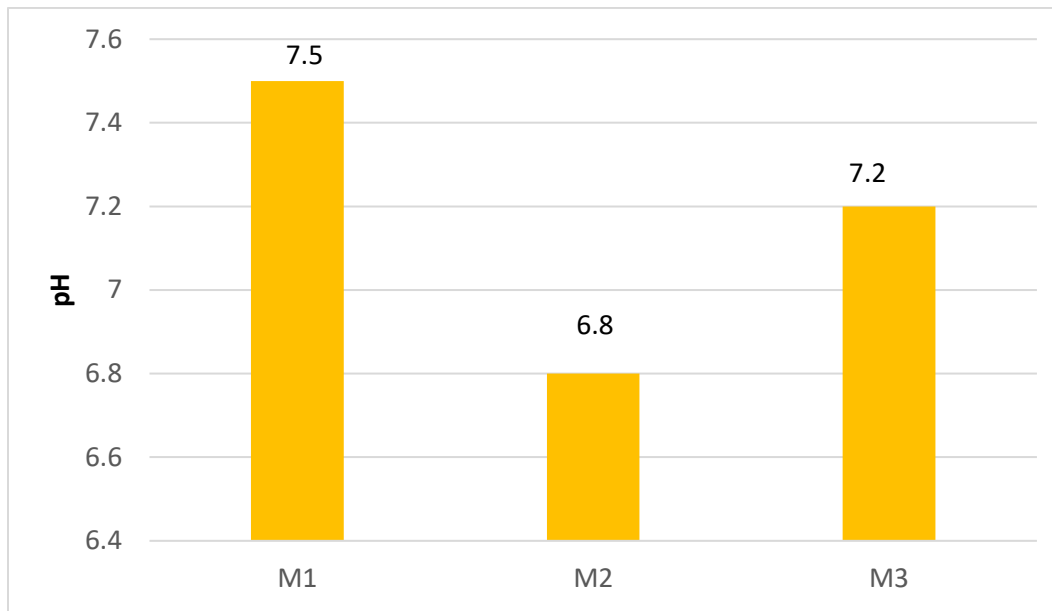


Figura 18. Determinación de pH de Biochar procedente de residuos de naranja

Con base a la tabla 2.4 que se muestra en marco teórico, se puede deducir que las muestras M2 y M3 se encuentran en rangos de abonos neutros a excepción de M1, el cual es perteneciente a la categoría de medianamente alcalinos. El cual con base la NOM- FEDERAL NADF-020-AMBT-2011, las 3 muestras de Biochar inciden en su utilización como sustrato para viveros (SEMARNAT, 2012).

Cabe resaltar que Moreno & Aguilar, (2017) hacen mención que al introducir el Biochar al área de terreno, después de un determinado lapso de tiempo, este brinda la neutralización del mismo, en su caso, antes de su aplicación en el suelo, presentaba un pH fuertemente ácido mientras que al término del estudio este cambio a un pH medianamente ácido, dando por entendido que la presencia de Biochar es benéfica para las propiedades del suelo.

4.1.4 Determinación de conductividad eléctrica (CE).

Con base a la figura 19, se puede apreciar que de las muestras, la que mayor CE presenta es M1 después M3 y finalmente M2, estos valores obtenidos son gracias a que generalmente un Biochar con un contenido alto de cenizas tienden a expresar una mayor cantidad de sólidos totales disueltos, ya que en este caso, las sales solubles se miden como cenizas (Guerra, 2014).

Esto se ve apoyado por Molinés, (2015), quien hace referencia a que valores de CE del Biochar tienden a elevarse en medida en que aumenta la temperatura, esto debido, a que durante el proceso existe la pérdida de materia volátil que da lugar al incremento de sales presentes dentro de la fracción de cenizas obtenidas.

Aunque Guerra, (2014) ha reportado valores similares de conductividad eléctrica a los obtenidos, los cuales han sido considerado como altos, sin embargo, en zonas donde hay constantes precipitaciones, como es el caso de Misantla, esto no causaría ningún efecto adverso, gracias a que las escorrentías de las lluvias lavarían permanentemente a los suelos.

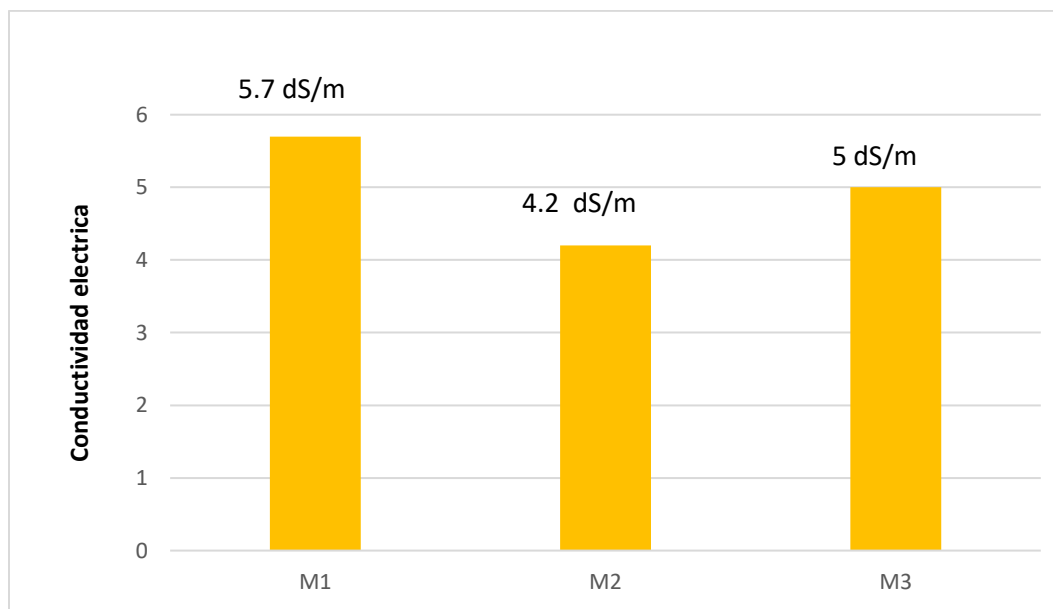


Figura 19. Determinación de Conductividad Eléctrica de Biochar.

Con base a lo anterior, la NOM- FEDERAL NADF-020-AMBT-2011, estipula, que de acuerdo a los valores de Conductividad eléctrica arrojados las muestras de Biochar caen dentro de la clasificación de abonos utilizados para la agricultura ecológica y reforestación (SEMARNAT, 2012).

No obstante, el abono obtenido, se puede comparar con la clasificación de suelos que muestra la tabla 19 de acuerdo a la conductiva eléctrica, por tanto, las 3 muestras caen dentro de la clasificación de suelos salinos.

Tabla 12. Valoraciones para Determinación de Conductividad Eléctrica

Categoría del suelo	Valor en dS/m
Efectos despreciables de salinidad	<1.0
Muy ligeramente salino	1.1 – 2.0
Moderadamente salino	2.1 - 4.0
Suelo salino	4.1 – 8.0
Fuertemente salino	8.1 – 16.0
Muy fuertemente salino	>16.0

Fuente: (Silvestre, 2002)

4.1.5 Determinación de la Densidad.

De acuerdo a la figura 20, se aprecia que la muestra que presenta mayor densidad es M1, seguidamente de M2 y por último M3, esto se debe a la naturaleza del Biochar, es decir, que las 3 muestras anteriores expresan propiedades higroscópicas por alta la porosidad que esta presenta, lo cual permite así una baja densidad aparente del Biochar y una alta área superficial (Guerra, 2014)

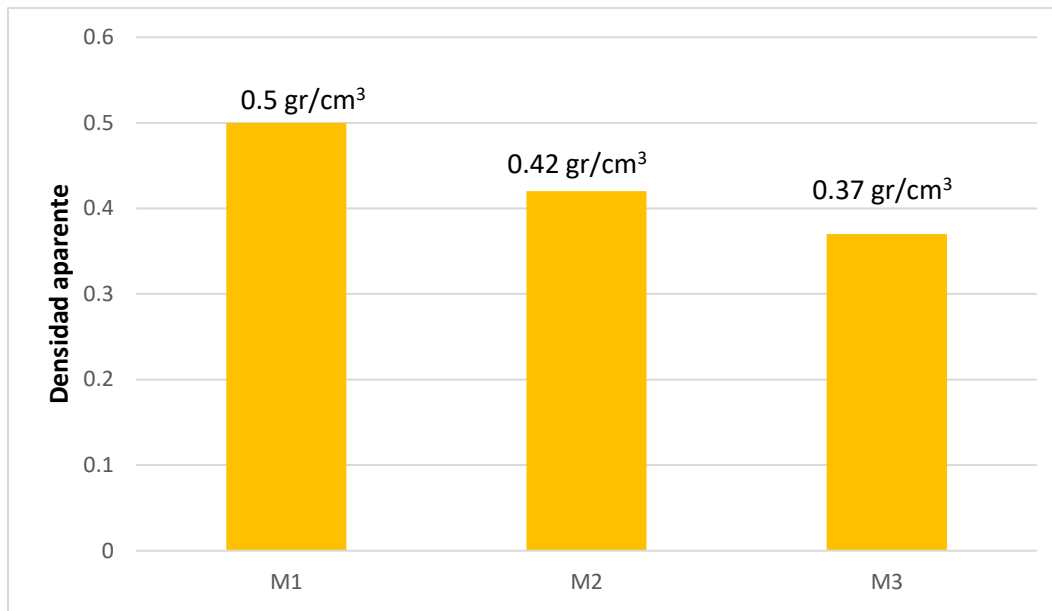


Figura 20. Determinación de la densidad aparente.

Así mismo, es importante recalcar la gran importancia y el impacto que tiene la densidad sobre el suelo, ya que de este depende la retención de humedad, como también la absorción de nutrientes, los cuales, estos dos últimos son de suma importancia para la proliferación de plantas y cultivos (Guerra, 2014). Por tanto, para poder lograr lo antes mencionado la adición de Biochar es una de las opciones que puede proporcionar aumentos en dichas características.

Eventualmente la adición de Biochar al suelo puede llegar a generar agregados considerados como muy estables existiendo una variación entre el contenido de materia orgánica, lo que trae consigo la presencia de espacios porosos que ayudara arduamente en la oxigenación del suelo, como a su vez se estaría mejorando la absorción, retención de agua y de nutrientes (Keller, 2010., Moreno & Aguilar, 2017).

4.1.6 Determinación de retención de humedad del Biochar.

A continuación, se presenta el porcentaje de retención de humedad que presentan las muestras, la M1 y M2 mantienen un poco más del 55% mientras que M3 demostró el dato más bajo, gracias a que los residuos orgánicos utilizados para este proceso, muestran arriba de un 10% de humedad en peso, lo cual otorga un mayor rendimiento durante el proceso pirolítico del producto dando lugar a un aumento considerable en la composición sólida y por ende una mayor conservación de humedad (Forero & Navarro, 2017).

Por otro lado, Leveau, (2018) obtuvo resultados negativos con lo que respecta a este parámetro, teniendo el registro que el porcentaje de humedad más alto fue del 26.8%, deduciendo, que este producto demuestra poca eficiencia en la retención de humedad, además, de que el Biochar era proveniente de residuos verdes y estiércol de cerdo.

No obstante, esto se ve apoyado por Martínez, (2015), ostentando que de la misma forma, el Biochar resultante exhibió valores por debajo del 29% de retención hidráulica, a pesar de que la materia orgánica utilizada era rica en lignina ya que eran provenientes de la corteza de la viruta de álamo, bagazo de agave y del olote, sin embargo, este no fue un factor determinante para que favoreciera la conservación de humedad.

Eventualmente, se logra apreciar, que los datos ilustrados en la figura 21, superan en mayor medida los porcentajes anteriormente planteados, dando por entendido, que el Biochar resultante del residuo de la naranja modela una eficiencia bastante estable, en comparación con estudios realizados donde utilizan otro tipo de residuo orgánico.

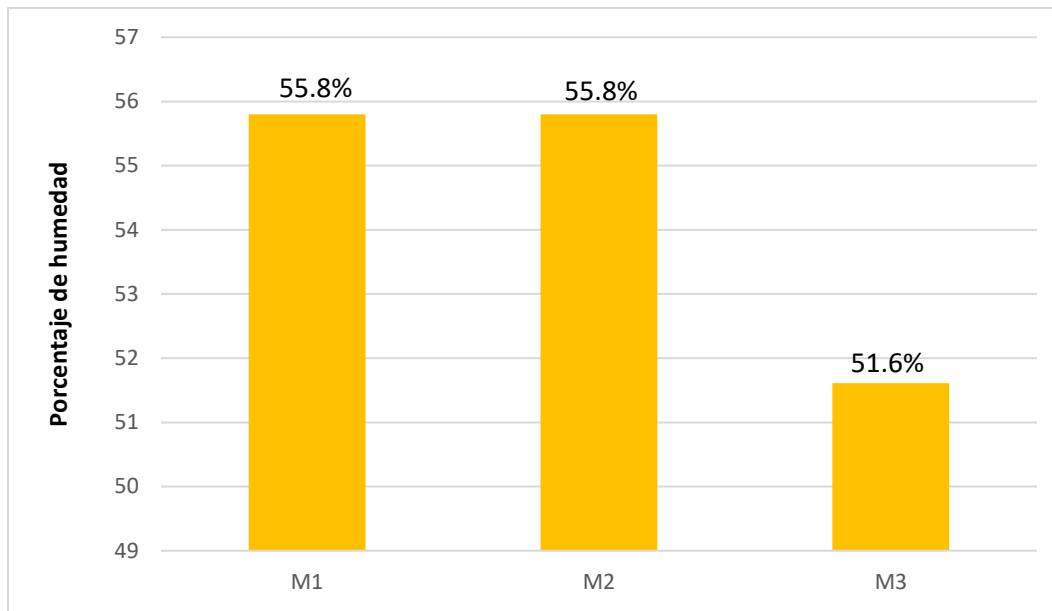


Figura 21. Determinación de porcentaje de humedad retenido.

Con base en la figura antes mencionada, se establece que las 3 muestras de Biochar superan el porcentaje de humedad que establece la NOM-NADH-020-AMBT-2011, ya que los valores obtenidos presentan un valor arriba del 50%, por lo cual de acuerdo a la norma, este abono puede ser utilizado para sustratos en viveros, para la agricultura y reforestación (SEMARNAT, 2012).

4.1.7 Determinación granulométrica.

En este parámetro se evidenció que efectivamente las 3 muestras de Biochar, fueron capaces de pasar através de un tamiz con apertura de malla de 10 milímetros, por ende, este cumple los requerimientos mínimos que estipula la NOM-NADH-020-AMBT-2011 así mismo, este abono puede ser utilizado para sustratos de maceta, reforestación, áreas verdes y la agricultura.

Cabe resaltar, que el tamaño de partícula del Biochar se encuentra altamente ligado al tipo de materia orgánica a utilizar durante se efectúa la pirólisis, gracias a la acción de la descomposición y deterioro que sufre el residuo dentro del proceso (Lehmann & Joseph, 2009).

4.1.8 Caracterización del suelo testigo

En la tabla 13, se muestran los análisis químicos y físicos que se realizaron al suelo testigo utilizado para la germinación, se tomó una muestra de 1 kilogramo de suelo a una profundidad de 15 cm, la cual fue depositada en una bolsa plástica transparente e inmediatamente se llevó al laboratorio para sus posteriores análisis.

Tabla 13. Análisis realizados a la muestra de suelo testigo

Tipo de análisis	Valores obtenidos
Químicos	
pH	7.2
Conductividad eléctrica	0.3 dS/m
Materia orgánica	9.30
Carbono total	5.41
Físicos	
Densidad	1.4 gr/cm ³
Textura	Franco- arenoso
Humedad	7 %

De acuerdo a la tabla anterior, se observa que el pH que muestra el suelo testigo cae dentro de los rangos de suelos neutros, mientras que la CE es relativamente baja ya que presentan una cantidad de sales despreciables de acuerdo a la tabla 13, por lo que respecta a la materia orgánica y carbono total cuenta con cantidades muy pequeñas debido a que en el área de donde se tomó la muestra de suelo, no contaba presencia compuestos orgánicos, lo cual trae consigo la ausencia de la actividad microbiológica provocando que no se puedan llevar a cabo, la descomposición de MO y el incorporamiento de carbono (Gay, 2015) .

Así mismo, la densidad del suelo demuestra un valor alto, atribuido a la gran compactación que existe entre los poros (Guerra, 2014). Por otra parte, la textura que muestra es correspondiente a un suelo franco- arenoso debido a que se encontraba en mayor presencia, con un 60% de arenas.

4.2 Germinación y desarrollo de las plantas.

4.2.1 Evaluación foliar.

Con respecto a la figura 22, la cual indica, que, de los tratamientos evaluados, estadísticamente, demostraron diferencias entre ellos revelando contrastes significativos, de acuerdo a el paquete estadístico FAUANL ($DMS < 0.05$). Gracias a que el análisis utilizado, demuestra menor pliegues en comparación con otros tipos de análisis estadísticos, sin embargo, pese a ello, se eligió a este, ya que las repeticiones efectuadas eran desproporcionales, lo cual impedía la realización de distintos tipos de análisis estadísticos.

Como puede observarse en la siguiente figura, el comportamiento que muestran los tratamientos de RT y RG son similares a lo largo del monitoreo, ocurre algo similar con los tratamientos RM y RC únicamente en la semana 1, ya que habían enseñado valores muy semejantes, pero fue en la segunda semana donde se comenzaron a apreciar las diferencias en el crecimiento del follaje, donde se puede constatar que al término del estudio, el tratamiento RC fue el que mayor rendimiento tuvo en asimilación con los demás.

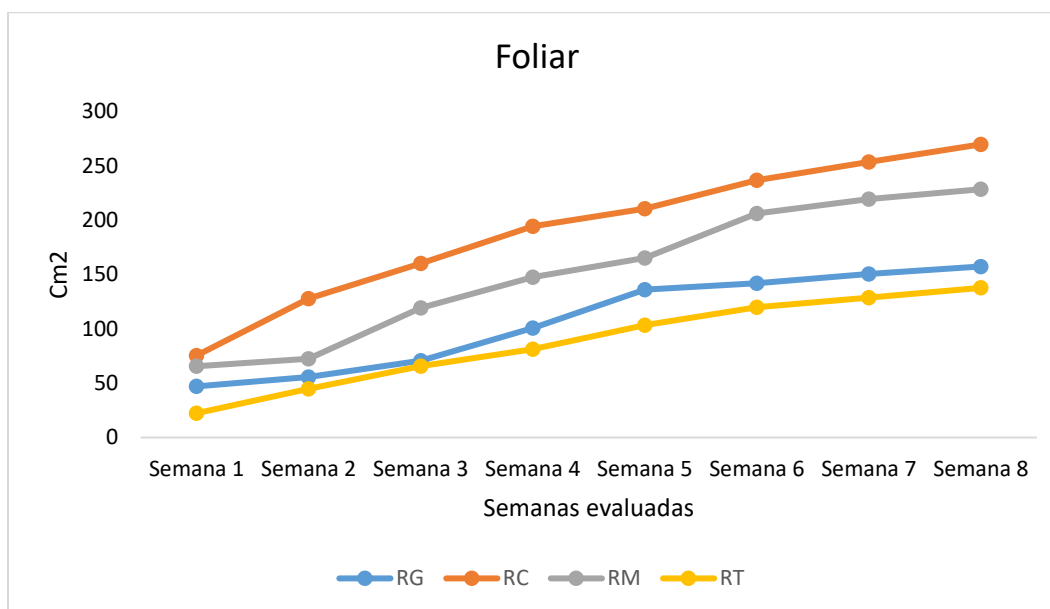


Figura 22. Grafica de área foliar total de la planta de frijol.

Abenza (2012), obtuvo valores considerados como no destacables, ya que las diferencias estadísticas (p-valor <0,05) eran mínimas de acuerdo a el test de Fisher's PLSD, a pesar de ello, los tratamientos que solo los que contenían Biochar, fueron los que exhibieron una mayor área foliar con respecto al suelo testigo, cabe destacar que el IAF está plenamente relacionado con el análisis de área foliar total que se evaluó en este trabajo.

Por lo contrario, otros autores como Abad (2018) menciona que, durante el estudio, el Biochar proveniente de eucalipto, no ostentó discrepancias importantes de acuerdo a sus tratamientos de cultivo de maíz, de acuerdo al Índice de Área Foliar (IAF <0.05), donde este análisis consiste principalmente en determinar la relación entre el número de población de las plantas sobre el suelo en el cual se encuentra establecido.

Con base en lo anterior, se procedió a realizar un análisis donde indicara a través de letras (A, B, C, D) cuál de los tratamientos valuados presentaba mejor desempeño respecto al área foliar, ilustradas en la tabla 14.

Las diferencias entre los tratamientos, se hacen notar con base a letras, donde A, es decir, RC fue el que mayor cantidad de área foliar total demostró, en comparación con el resto de las muestras, en el caso de RG, expuso una conducta parecida a RM y RT, asimismo, RT es el que arrojó el valor más bajo, siendo este dato esperado, ya que este no contenía Biochar.

Tabla 14. Evaluación de área foliar total (FAUNL DMS< 0.05)

Tratamiento	Media (cm²)	0.05
RG	102.197	BC
RC	181.192	A
RM	125.000	B
RT	95.811	C

A continuación, en la tabla 15, se muestran los valores obtenidos respecto al coeficiente de relación a lo largo de las 8 semanas registradas.

Tabla 15. Correlación existente de are foliar durante las 8 semanas evaluadas.

Semanas	Tratamientos			
	RG (cm ²)	RC (cm ²)	RM (cm ²)	RT (cm ²)
1	47	75.374	65.5	22.33
2	55.7	127.625	72.5	44.66
3	70.66	160.166	119.125	65.66
4	100.66	194.083	147.4	81.104
5	136	210.255	165	103.291
6	141.666	236.416	206	119.801
7	150.33	253.158	219.25	128.679
8	157.22	269.5	228.22	137.582
COEF.DE.CORREL	0.96473483	0.97876733	0.99011982	0.99015009

De este modo, el análisis permite estimar la posible relación que pudiera existir entre dos parámetros, en este caso el área foliar total con forme al tiempo, donde en la tabla anterior, luce los datos adquiridos, que demuestran que hay la existencia de una fuerte dependencia, siendo catalogadas como una relación lineal perfecta, ya que los resultados de correlación se encuentran por arriba de 0.96.

De este modo, Prieto, (2015) hace mención sobre la obtención de una relación negativa entre el área foliar (SLA) con respecto a la tasa de asimilación (NAR) y el aumento en la biomasa (RGR), sin embargo, las plantas de trigo con Biochar presentaron hojas de mayor grosor en comparación del tratamiento testigo.

4.2.2 Evaluación de altura.

De acuerdo al análisis realizado, con el paquete estadístico FAUANL (DMS < 0.05) representados en la figura 23, se aprecia una diferencia entre las alturas durante las 8 semanas evaluadas, así mismo, estadísticamente existen diferencias significativas entre los tratamientos y el suelo testigo, por lo que se puede afirmar que en las 3 dosis de Biochar tienen repercusiones positivas en el crecimiento de la planta.

Pese a ello, eventualmente se logra observar que tratamiento RG y RM se han venido manifestando de forma similar a lo largo de la inspección del estudio, además, el tratamiento RT siempre se mantuvo deficiente durante el monitoreo, por otra parte, la dosis de RC desde el inicio ostento un desarrollo favorable hasta el término del mismo, encontrándose siempre por arriba en el crecimiento, en comparación con el resto.

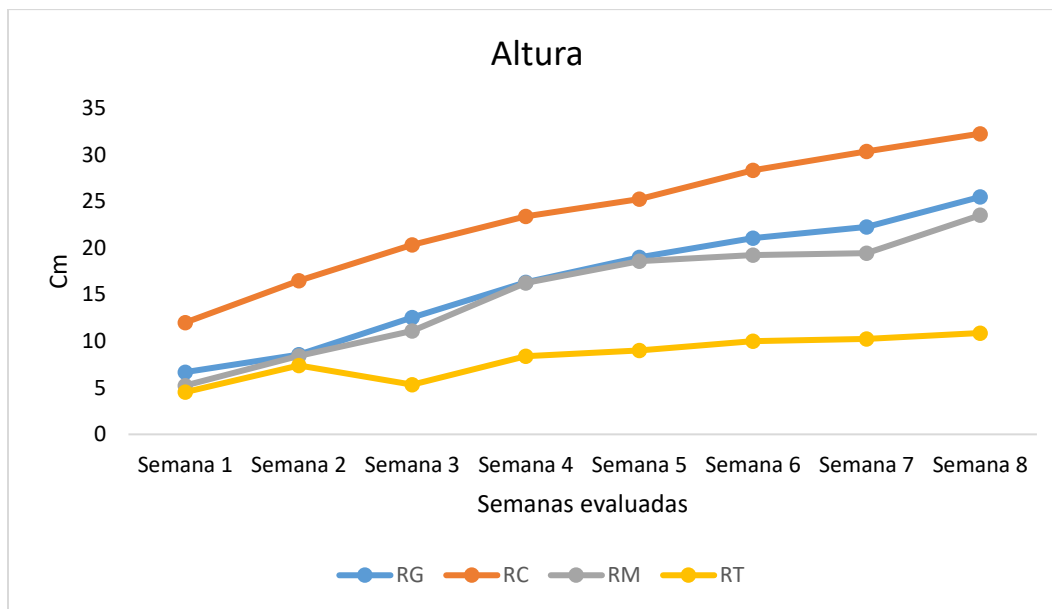


Figura 23. Gráfica de crecimiento de altura de las plántulas de frijol.

En estudios realizados por Abenza, 2012, deducen que durante la germinación de la cebada (*Hordeum vulgare*) obtuvieron una rapidez de crecimiento del 90 % casi en todos sus tratamientos, debido a que la cantidad de Biochar utilizado constaba desde los 300 a 400 gr, sin embargo, el producto fue mezclado con un fertilizante inorgánico rico en N, P, K, por lo cual, este se ve favorecido en el crecimiento de altura, aunado a esto, dicho autor menciona que al final del monitoreo los tratamientos que contenían únicamente Biochar, fueron los que presentaron mayor altura, cabe destacar que los residuos empelados eran provenientes de resinas de pino, astillas chopo y lodos residuales de un planta de tratamiento de aguas residuales.

En cambio, en el actual trabajo, los tratamientos contenían únicamente el producto sin la incorporación de ningún fertilizante inorgánico.

A pesar de las diferencias estadísticas presentadas en las evaluaciones por semanas, se optó por evaluar que tratamiento fue el más adecuado para desarrollar el crecimiento de las plantas durante las 8 semanas evaluadas, siendo catalogado mediante letras (A, B, C, D), tal y como se ilustra en la tabla 16.

Eventualmente, podemos deducir que, de acuerdo a los valores presentados en la siguiente tabla, estos son descritos como una relación lineal perfecta, debido a que todos los datos están por arriba de 0.966, a excepción del tratamiento RT contando con un valor más bajo, este ha sido clasificado como fuerte, pero de igual manera, existe una dependencia grande entre la altura y el pasar del tiempo.

Tabla 16 Evaluación de altura (FAUNL DMS< 0.05)

Tratamiento	Media (cm)	0.05
RG	5.620	B
RC	7.830	A
RM	4.980	C
RT	3.020	D

El paquete estadístico FAUNL (DMS< 0.05) cuenta con la herramienta de poder clasificar que tratamientos son los que mejor rendimiento presentaron, como se muestra en la tabla anterior, indicando que el tratamiento RT fue el que menor eficacia mostro en el aumento de altura, en cambio, RC se consideró como el mejor tratamiento en el desarrollo de la planta, ya que se encontraba por encima de los demás muestras, después de ello, se encontraban RG y RM.

Cabe mencionar que Abad, 2018 ejecuto pruebas similares utilizando Biochar proveniente de ramas y cortezas de eucalipto (*Eucalyptus globulus Labill*), para el monitoreo en la germinación de maíz (*Zea mayz L*) donde se manifestaron estadísticamente (Modelo estadístico: Homogeneidad de varianzas y distribución normal de los residuales.), un mejor crecimiento en las plantas que contenían Biochar, en comparación con los tratamientos control, debido a el proceso pirolítico utilizado, el cual fue pirólisis rápida, donde se realizó dentro de un horno pirolizador de tipo retorta, el cual otorgaba un mayor control en la temperatura y una disminución en el derroche de la misma.

Tabla 17. Correlación existente de altura durante las 8 semanas evaluadas

Semanas	Tratamientos			
	RG	RC	RM	RT
1	6.68	11.99	5.24	4.53
2	8.55	16.49	8.4	7.4
3	12.55	20.33	11.1	5.33
4	16.31	23.38	16.24	8.37
5	19	25.22	18.56	9
6	21.04	28.33	19.24	10
7	22.25	30.33	19.44	10.25
8	25.46	32.25	23.5	10.87
COEF.DE.CORREL	0.99089026	0.99127577	0.98111973	0.92725125

En estudios realizados por White *et al.*, (2015), obtuvo una correlación del 4.08, indicando una fuerte relación en medida que se va aumentando el nivel de Biochar, la altura de la planta de Alfalfa, Trebol blanco y Rye grass, tiende a incrementarse considerablemente con el pasar del tiempo, en donde, este autor evaluó 120 días.

4.2.3 Evaluación de tallo.

En cuanto a la tabla 18, se muestra el diámetro de tallo promedio, el cual modela variaciones despreciables entre los tratamientos monitoreados, durante las 8 semanas valuadas, sin embargo, con base al del paquete estadístico FAUANL (DMS < 0.05), arrojo una significancia mayor a 0.05, es decir, dicho paquete indica mediante letras (A, B, C y D), que dosis es el que mejor desempeño tiene, pese a lo anterior, los tratamientos RG y RM revelaron un comportamiento muy similar respecto al grosor de tallo, mientras que RT fue el menor aumento exhibió, caso contrario donde RC, se consideró como el que mayor rendimiento mostró a lo largo del estudio.

Tabla 18. Evaluación de tallo de plantas de frijol (FAUANL DMS< 0.05).

Tratamiento	Media (mm)	0.05
RG	0.333	B
RC	0.398	A
RM	0.325	B
RT	0.304	C

Cabe mencionar que Montenegro, (2013) llevo a cabo un estudio similar, con plántulas de aguayamanta (*Physalis peruviana*) en Perú, el cual, indicaba que los tratamientos de Biochar evaluados, presentaron un crecimiento de tallo estadísticamente alto mediante la prueba HSD Tukey (Honestly-significant-difference), atribuido a que utilizo una cantidad aproximadamente de 31 kg por cada tratamiento de Biochar.

Esto se ve apoyado por Leveau, (2018) donde menciona que los tratamientos monitoreados a los que se les añadió Biochar, presentaron un mayor espesor en el diámetro de tallo, en comparación con la dosis control y que contenían estiércol de cerdo.

Con base a la figura 24, muestra la conducta que lucieron cada tratamiento, el cual, RT y RG el grosor de tallo era muy similar desde la semana 1 hasta la 7 y fue hasta la semana 8 donde se observa que RG aumento su tamaño considerablemente, alcanzando un espesor semejante al del tratamiento RM, aunque, por otro lado, se tiene que RC fue el que siempre mantuvo valores por encima del resto de las dosis y del suelo testigo.

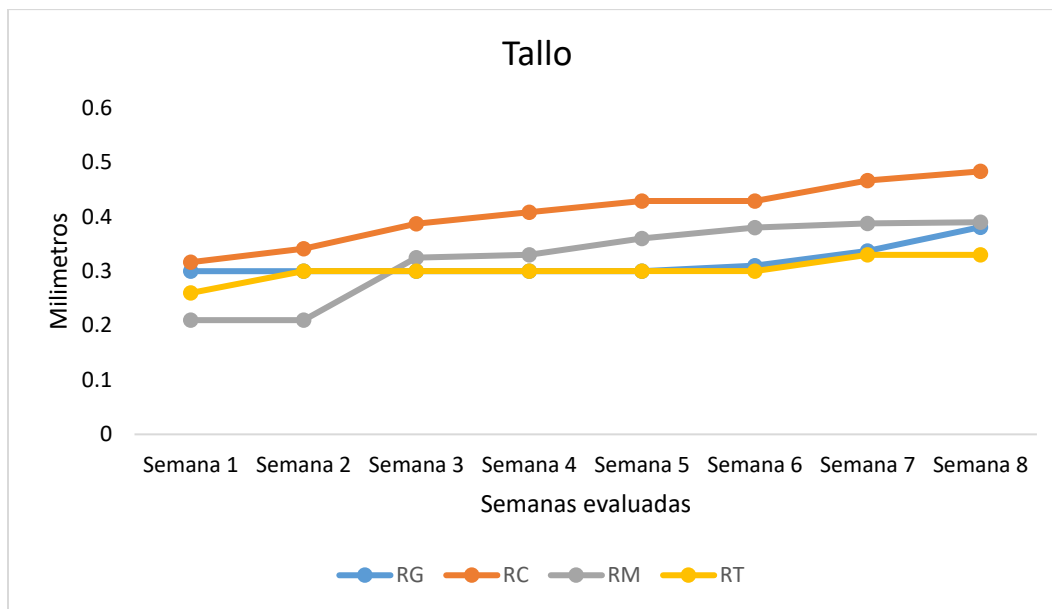


Figura 24. Gráfica de crecimiento de tallo de las plántulas de frijol.

Briones, (2017) resalta que, al término de su monitoreo de las plántulas de pimienta, a los 15, 30 y 60 días, los tratamientos que presentaban Biochar, fueron los que mayor diámetro de tallo presentaron, en comparación con los que únicamente contenían suelo, es importante hacer mención que los residuos manejados fueron restos de podas de cacao, cascarilla de arroz, panca de arroz/maíz y estiércol de ganado vacuno.

4.2.4 Determinación de materia seca.

En la tabla 19, se observa el peso de la biomasa que presentaban las plantas, donde se determinan que tratamiento es el que mayor beneficio tiene, gracias a la aplicación del paquete estadístico FAUANL ($DMS < 0.05$). Como se puede observar, RC es el mayor impacto positivo tiene sobre la planta, seguido de RM y RG, donde estos tratamientos se pueden catalogar buenos, debido a que cuando la planta se encuentra en presencia de Biochar, esta propicia a un aumento a la biomasa en general de la misma (Abad, 2018).

Tabla 19. Peso en seco de las plantas de frijol.

Tratamiento	Media (gr)	0.05
RG	4.188	A
RC	6.108	B
RM	4.800	B
RT	1.953	C

Otro de los estudios que también lo mencionan es Abenza, 2012, donde obtiene resultados que indican que la presencia de Biochar, tanto en pirólisis lenta como rápida, la planta presenta un acrecentamiento en su biomasa, y esta puede aumentar si el Biochar es mezclado con un fertilizante extra rico en nitrógeno, teniendo así un impacto directo en el crecimiento foliar de la planta.

A continuación, se presenta el comportamiento de la biomasa en las 4 semanas, donde podemos apreciar que RG y RM eran las que mostraron pesos similares, por tanto, RC estuvo por encima de los demás durante el monitoreo, sin embargo, como era de esperar, RT fue el que menor peso de biomasa tuvo con el resto de los tratamientos.

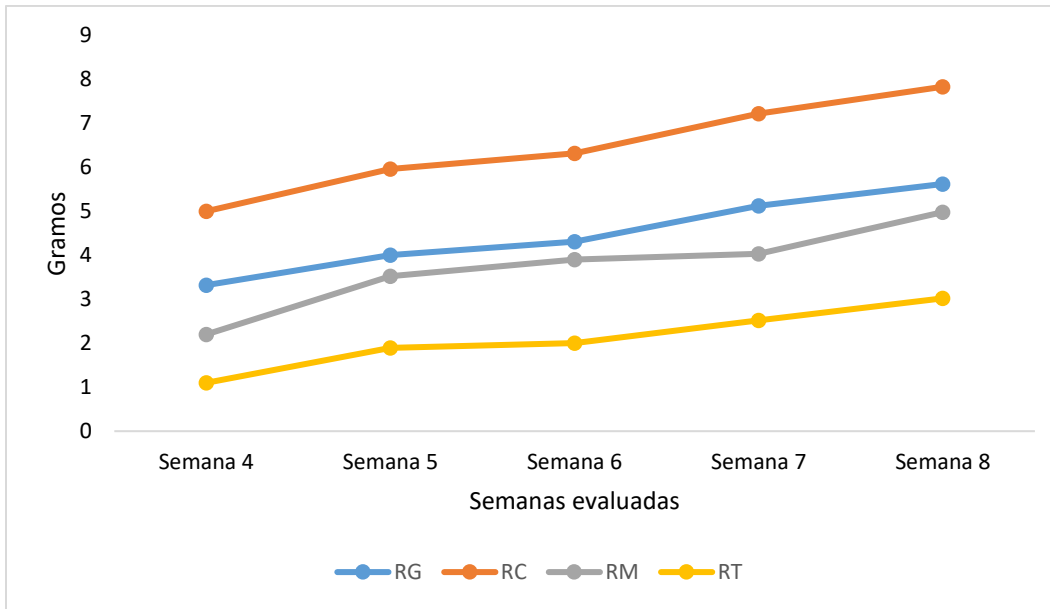


Figura 25. Gráfica de crecimiento de tallo de las plántulas de frijol.

Prieto, (2015), el cual hace mención que al término de la cosecha (187 días) y realizar los análisis pertinentes, los datos arrojaron que las muestras que contenían Biochar, tuvieron un aumento considerable en la biomasa de la planta con respecto a sus hojas, tallos y raíces.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Para concluir, las 3 muestras de Biochar analizadas, demostraron propiedades físicas y químicas estables, donde fueron comparadas con la NADF-020-AMBT-2011, la cual emite parámetros de deben contener los abonos orgánicos para poder ser considerados de calidad, pese a ello, el Biochar cumplió satisfactoriamente los criterios que la norma estipula, cabe mencionar que fue escogida esta norma, ya que es la única en el país que propone parámetros para catalogar abonos de origen orgánico como viables para ser aplicados en los cultivos.

Las plantas a las cuales se les suministró Biochar, mostraron un desarrollo mucho más rápido que las plantas con suelo testigo, debido a que los parámetros de crecimiento de altura, tallo, área foliar y materia seca, indicaron en mayor proporción que el testigo, dando por entendido que los 3 tratamientos poseen aportes benéficos para la proliferación de las plantas.

Asimismo, de las dosis antes mencionada, la que mejor rendimiento presento, fue RC y RM provenientes de la cáscara de naranja y del gabazo con la cáscara del mismo respectivamente, sin embargo, a lo largo del monitoreo, RC es el que ostentó los valores más altos de los parámetros analizadas, siendo este el más factible para mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo y poder así tener una producción en el cultivo de frijol *Phaseolus vulgaris*.

Finalmente se puede mencionar que la aplicación de Biochar proveniente de residuos de *Citrus X sinapsis*, tiene un efecto positivo sobre la planta de frijol *Phaseolus vulgaris*. El cual debe ser considerado hoy en día como una de las alternativas para ser aplicadas en los cultivos, ya que el uso de los fertilizantes inorgánicos presentar más efectos adversos que beneficios, es por ello que se deben suplir por productos que beneficien a la agricultura y que no generen alteraciones hacia el medio ambiente.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- Agroforestry. (2012). Las plantas y los nutrientes. *Los Nutrientes de La Planta*, (CI), 1–6. Retrieved from <http://www.worldagroforestry.org/NurseryManuals/CommunityESP/LosNutrientes.pdf>
- Alberto, E. C., Reséndez, A. M., Carrillo, M. G., Quiroga, H. M., & Ángel, O. (2018). Influencia del biocarbón aplicado al suelo sobre atributos de rendimiento y calidad de avena forrajera, (Dm), 221–228.
- Alcañiz, J. (2015). Protección y Restauración de Suelos, 2–3. Retrieved from http://www.creaf.cat/sites/default/files/creaf_suelos_esp.pdf
- Alexander Gómez, W. K. & S. R. (2008). *Pirólisis*.
- Alfaro, J. E. G. (2016). El suelo y los abonos orgánicos. Retrieved from <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>
- Álvarez de la Puente, J. M. (2014). Manual de compostaje para la agricultura ecológica. *Consejería de Agricultura y Pesca*, 1, 48.
- Alvarez Godoy, E., de Carvalho Rodrigues, J. C., Martins Alves, A. M., & Álvarez Lazo, D. (2007). Content and quality study of the lignin by analytical pyrolysis in *Pinus caribaea*. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 9(2), 179–188. Retrieved from http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2007000200008&script=sci_arttext&tlng=en
- Angoitia, F. de. (2004). Los abonos orgánicos. 1875, 198–210. Retrieved from <http://www.filosofia.org/rev/reu/1875/n080p370.htm>
- Antonio Trinidad. (2007). Abonos orgánicos. *Sistema de Agronegocios Agrícolas*, 1–7. Retrieved from <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonosorganicos.pdf>
- Arauzo, J., Bimbela, F., Ábrego, J., Sánchez, J. ., & Gonzalo, A. (2014a). Introducción a las tecnologías de aprovechamiento de biomasa. *Grupo Español*

Del Carbón, (33), 2–6.

Arauzo, J., Bimbela, F., Ábrego, J., Sánchez, J. L., & Gonzalo, A. (2014b). Introducción a las tecnologías de aprovechamiento de biomasa . An introduction to biomass valorisation technologies ., 2–6. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5111506>

Avedaño, H. F. H. M. & E. F. P. (2017). Evaluacion Del Biochar Por Pirólisis Lenta Como Medio Adsorbente De Cinc;Cobre;Cromo Y Niquel, 1–66.

Barros, J., Serk, H., Granlund, I., & Pesquet, E. (2015). The cell biology of lignification in higher plants, 1053–1074. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv046>

BEFS. (2014). BIOENERGÍA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA ÉVALUACIÓN RÁPIDA (BEFS RA) Manual de Usuario.

Bertero M., Gorostegui H.A., Orrabalís C.J., Guzmán C.A., Calandri E.L., S. U. (2011). Pirólisis De Biomasa Residual De Frutos De Chañar Y Palma . *Hyfusen*.

Blanco, D. (2009). Ratamiento biológico aerobio - anaerobio - aerobio de residuos ganaderos para la obtención de biogás y compost, 1–287. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10612/1066>

Blanquer, G., Manuel, J., & Asensio, I. (2010). La textura de un suelo. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/50839531_La_textura_del_suelo

Bott, R. (2014). Gasificación. *Igarss 2014*, (1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Brockmann, D., Pradel, M., & Hélias, A. (2018). Agricultural use of organic residues in life cycle assessment: Current practices and proposal for the computation of field emissions and of the nitrogen mineral fertilizer equivalent. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 50–62. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.01.034>

Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J., Bueno, J., ... Rodríguez, C. (2001). DIVERSIDAD Y ROL FUNCIONAL DE LA MACROFAUNA EDÁGICA EN LOS ECOSISTEMAS TROPICALES MEXICANOS. Retrieved from

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57500006>

- Caamal-Pat, Z. H., Casas-García, R. A., & Urbano-López-de-Meneses, B. (2014). Economic and Environmental Fertilization Optimization on Sugar Beet Farms in a European Region. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XX(1), 117–129. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.12.046>
- Cajamarca, D. (2012). Procedimientos para la elaboración de abonos orgánicos. *Universidad de Cuenca*, 118.
- Calderón, F., & Laboratorios. (2016). La Producción de Combustibles Vehiculares a partir de Plásticos de Desechos, 226. Retrieved from <http://www.drcalderonlabs.com/Procesos/Pirólisis/Proceso de Pirólisis.pdf>
- Cares, J., & Huang, S. (n.d.). Nematodos del suelo. 2012, 163–176. Retrieved from [https://books.google.com.mx/books?id=m-QMZaBiP0YC&pg=PA163&lpg=PA163&dq=Nematodos+del+suelo+Juvenil+E.+Cares+y+Shiou+P.+Huang+\(†\)+INtROduCCIÓN&source=bl&ots=Lfcp_ppti2&sig=ACfU3U0JGvL_aRW7f7CrLbJac5ZfT6Z_oA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjFnsLb1sjmAhUEEqwKHfcrDVAQ6AEwAXoECAoQAQ#v=onepage&q=Nematodos del suelo Juvenil E. Cares y Shiou P. Huang \(†\) INtROduCCIÓN&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=m-QMZaBiP0YC&pg=PA163&lpg=PA163&dq=Nematodos+del+suelo+Juvenil+E.+Cares+y+Shiou+P.+Huang+(†)+INtROduCCIÓN&source=bl&ots=Lfcp_ppti2&sig=ACfU3U0JGvL_aRW7f7CrLbJac5ZfT6Z_oA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjFnsLb1sjmAhUEEqwKHfcrDVAQ6AEwAXoECAoQAQ#v=onepage&q=Nematodos del suelo Juvenil E. Cares y Shiou P. Huang (†) INtROduCCIÓN&f=false)
- Carrasco, J. (2008). Combustión Directa De La Biomasa. *Master En Energía Renovables y Mercado Energético 2007/2008. Escuela de Negocios*, 30.
- Casado, Ó. R. (2016). (Study of the influence of different parameters on the pyrolysis of sewage treatment plant sludge) Graduado/a en Ingeniería Química. Retrieved from <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9152/386975.pdf?sequence=1>
- Chávez, C. C. M. (2015). Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en Cucumis.
- Cueto, J., & Figueroa, U. (2012). Impacto Ambiental de la Fertilización y Recomendaciones para Mejorar la Eficiencia en el uso de Nutrientes. *Inifap*.
- Daniel, A., Abenza, P., Maria, J., & Baldellou, A. (2012). Evaluación de efectos de

varios tipos de Biochar En Suelo Y Planta, 1–12. Retrieved from https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2012/hdl_2072_202695/PFC_DanielPacoAbenza_resum.pdf

Dema, A. V. (2001). Aplicación de fertilizantes orgánicos en la repoblación de zonas forestales degradadas de la Comunidad Valenciana. Retrieved from <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/9897/1/Valdecantos-Dema-Alejandro.pdf>

Digestion_anaerobia_unal.pdf.crdownload. (n.d.).

Domene Vico, A. (2014). Valorización de residuos ligno-celulósicos mediante vías termoquímicas.

Ellena, M., Montenegro, A., Sandoval, P., González, A., & Azócar, A. (2013). Capítulo 5. Fertilización. *Avellano Europeo: Establecimiento y Formación de La Estructura Productiva*, 93–112.

Escalante, et al. (2016). Biobarbon (Biochar) I Naturaleza, fabricación y uso en el suelo. *Red de Revistas Científicas de América Latina, Volumen 34, Numero3*, 367–382. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792016000300367&script=sci_arttext

Escalante Ariadna, et al. (2016). Biocarbón (biochar)I, naturaleza, historia fabricación y usos en el suelo. *Red de Revistas Científicas de América Latina, Volumen 34, Numero3*, 367–382. Retrieved from <http://www.revistas-conacyt.unam.mx/terra/index.php/terra/article/viewFile/155/134>

Estrada, C. A., & Zapata Meneses, A. (2004). Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor. *Scientia et Technica*, (25), 155–159. <https://doi.org/ISSN 0122-1702>

Estrada, C. C. (2010). Celulosa. *Celulosa*, 1(Mcc), 23–26.

FAO. (2006). Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible. Materia orgánica y actividad biológica. *Fertilidad de Suelo*, 1–28. <https://doi.org/10.1002/ldr.606>

- Ferrari, F. (2000). Et Al. (2000). *Ecología*, (1984), 3–5.
- Ferreiro, P. A. Z., Avalos, M., & Vázquez, V. (2007). Caracterización de las propiedades generales del suelo en una parcela experimental con distintos sistemas de laboreo General soil properties characterization in an experimental plot with different management systems, *32*(1), 127–137.
- Forero Gutierrez, D., & Navarro Muñoz, J. P. (2017). Implementación de alternativa de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos mediante el proceso de pirólisis lenta para la obtención de materiales de uso agrícola. Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/20502>
- Forján, R. (2017). Recuperación de suelos de mina combinando la aplicación de enmiendas elaboradas con residuos con la fitoremediación Rubén Forján Castro. Retrieved from <http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/handle/11093/825>
- Gastón, C., Armas, F., & Rodríguez, G. (2005). Efectos de los fertilizantes químicos en el suelo por producción de arroz. *Universidad Peruana Unión*, 3.
- Gay, L. M. (2015). Trabajo fin de grado ÍNDICE.
- Geisseler, D., Linnquist, B. A., & Lazicki, P. A. (2017). Effect of fertilization on soil microorganisms in paddy rice systems – A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 115, 452–460. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2017.09.018>
- Guerra, P. (2014). Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. Tesis de Grado. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 101. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1895/Q70.G84-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Harm, H. C. W. (2010). Pirólisis, una técnica de tratamiento térmico no tradicional. *Health Care without Warm*, 4. Retrieved from <http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/pir-lisis-una-tecnica-de-trat.pdf>

- Harter, R. D. (2009). Fertilidad de Suelos. *University of New Hampshire*, 57.
- Huacuz Villamar, J. M. (2015). Boletín IIE, 2015 La biomasa en la transición energética de México. *Boletín IIE*.
- Ibáñez, J. (2007). pH del Suelo, 8–10.
- InfoAgro. (2004). El compostaje. *InfoAgro*, 20. Retrieved from <http://www.infoagro.com/>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (1999). Los suelos de México. *Recursos Naturales y Ambiente*, 206. Retrieved from <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/411/cap3.pdf>
- J. Amonette, Woolf, Alayde, L. & J. (2013). biomasa : potenciales técnicos y factores que afectan su implementación Mitigation of Climate Change with Biomass : Technical Potentials, 34, 85–95.
- Jiménez, Granados, Oliva, Q. & B. (2010). CALIDAD NUTRITIVA DE BRACHIARIA HUMIDICOLA CON FERTILIZACIÓN ORGÁNICA E INORGÁNICA EN SUELOS ÁCIDOS. *CALIDAD NUTRITIVA DE BRACHIARIA HUMIDICOLA CON FERTILIZACIÓN ORGÁNICA E INORGÁNICA EN SUELOS ÁCIDOS*, 59(228), 561–570. Retrieved from <http://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v59n228/art9.pdf>
- Jimenez, S. (2012). Combustion De Biomasa. *Combustión de Biomasa*, 1–7. Retrieved from <http://www.energia2012.es/sites/default/files/Combustión de biomasa.pdf>
- Jos, D., Federal, O. U., Lora, E., Federal, U., Mambeli, R., Universidade, B., ... Jos, D. (2015). Procesos biológicos de conversión, (January 2017).
- L.Aguilar Trujillo, L.M. Garcia Rojas, F.Marquez-Montesino, B.A Ramos-Robaina, J.Arauzo-Perez, A. G.-C. (2009). Rendimiento de los productos del proceso de pirólisis en lecho fijo de los residuos de naranja del proceso de obtención de jugos concentrados en la provincia de Pinar del Río , Cuba ., 12(3), 67–74.
- La, I. para la D. y A. de. (2007). *Energías renovables*. España , Madrid.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009a). Biochar for environmental management : An

- introduction. *Biochar for Environmental Management - Science and Technology*, 1, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2009.07.001>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009b). *Biochar for Environmental Management*. London, Sterling, VA: Sustainable future. Retrieved from [http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First proof 13-01-09.pdf](http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First%20proof%2013-01-09.pdf)
- Leveau, M. D. (2018). EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOCHAR DERIVADO DE RESIDUOS VERDES Y ESTIÉRCOL DE CERDO, SOBRE EL BALANCE DE NITRÓGENO EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA (SUELOS ALUVIALES Y ZEA MAYS L.) EN SAN RAMÓN (PERÚ). Retrieved from http://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/UCS/547/TL_Leveau_Diaz.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Linares, S. (2018). DESCRPCIÓN DE TIPOS DE CALDERAS PARA CENTRALES TERMOELECTRICAS A BASE DE BIOMASA, CON CASO PRÁCTICO, (May). Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Andres_Linares4/publication/325153980_DESCRPCION_DE_TIPOS_DE_CALDERAS_PARA_CENTRALES_TERMOELECTRICAS_A_BASE_DE_BIOMASA_CON_CASO_PRACTICO/links/5afaf945aca272e7302a998e/DESCRPCION-DE-TIPOS-DE-CALDERAS-PARA-CENTRALES-TERMOELECTRICAS-A-BASE-DE-BIOMASA-CON-CASO-PRACTICO.pdf
- Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 39(1), 35–48. <https://doi.org/0138-6204>
- Ludwick, A. (1997). *Informaciones agronomicas*, 2(42), 215–216. Retrieved from <https://docplayer.es/83513809-Informaciones-agronicas.html>
- Luiselli, C. F. (2002). NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*.
- M. Cutiño, E Penedo, M Giralt, Giselle Beltrán, Y. S. del C. & A., & Estela. (2009).

Cromatogramas Gram-Schmidt Del Ácido Piroleñoso Obtenido En La Pirólisis De Diferentes Biomosas Vegetales. *Tecnología Química*, XXIX(Número 3), pp 27-37.

Mamani, Pablo, Eloy Chavez, N. O. (2010). El Biol. Retrieved from <http://www.proinpa.org/tic/pdf/Bioinsumos/Biol/pdf59.pdf>

Mancheno, M., Arévalo, P., & Romero, J. (2017). COMBUSTIBLES LÍQUIDOS OBTENIDOS.

Mancheno, M., Astudillo, S., & Arévalo, P. (2017). Residuos Plásticos Obteniendo Combustibles Líquidos , Por Medio.

Margarita Penedo Medina, Jose Falcon Fernandez, Yayné Bertran Guilarte, giselle G. O. (2006). Redalyc.DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA PLANTA ESCALA PILOTO PARA LA PIRÓLISIS DE BIOMASA VEGETAL.

Maria, E., & Ocampo, N. (2014). Evaluación Del Efecto De Biochar En El Suelo Y La Calidad De Los Frutos En Un Cultivo De Uchuva, 44. Retrieved from <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/17900/NatesOcampoEvelynMaria2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martínez, C. C. (2015). Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en Cucumis.

Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68–96. <https://doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>

Maycotte Morales, C. C. (2011). Edafología 1. *Libro*, 170.

Miranda, R. C., Segovia, C. C., & Sosa, C. A. (2006). Pirólisis de llantas usadas: Estudio cinético e influencia de variables de operación. *Informacion Tecnologica*, 17(2), 11–22. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000200003>

Molinés, F. (2015). Producción de biochar a partir de purines. Retrieved from <https://zaguan.unizar.es/record/48087/files/TAZ-TFG-2015-149.pdf>

Moreno, G., Blanquer, J., & Ibáñez, S. (2010). El color del suelo. *Universidad*

Politécnica de Valencia, 31, 663–668.

Moreno, M., & Aguilar, P. (2017). Evaluación del Biochar e Hidrochar, como medios para captura de carbono en el suelo. Retrieved from http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/22399/41121007_2017.pdf?sequence=1

Mosquera, B. (2010). Abonos orgánicos protegen el suelo y garantizan alimentación sana. *Fonag*, 25. Retrieved from www.fonag.org.ec

Negro, M. J., Ciria, P., Solano, M. L., Villa, F., Aibar, J., Alarcon, R., ... Zaragosa, C. (2000). Producción y Gestión del Compost. *Informaciones Técnicas-Gobierno de Aragón*, 48(2 1), 1–31.

NING, C., GAO, P., WANG, B., LIN, W., JIANG, N., & CAI, K. (2017). Impacts of chemical fertilizer reduction and organic amendments supplementation on soil nutrient, enzyme activity and heavy metal content. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(8), 1819–1831. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61476-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61476-4)

Orozco, A., Valverde, M., Trélles, R., Chávez, C., & Benavides, R. (2016). Propiedades físicas , químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinamericana*, 34(2395–8030), 441–456.

Paco Abenza, D. (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta, 111.

Palmero, R. (2010). Elaboración de compost con restos vegetales. *Artículo*.

Parra, P. A. C. (2016). Evaluación Del Uso De Residuos Orgánicos Para La Producción De Biochar Y Su Aplicación Como Enmienda Orgánica. Retrieved from http://oa.upm.es/44393/1/PAOLA_ANDREA_CELY_PARRA.pdf

Patiño, P. E. (2014). Biomasa Residual Vegetal : Tecnologías De Transformación Y Estado Actual Vegetable Residual Biomass : Technologies of Transformation. *Innovaciencia*, 2(1), 45–52.

Paul, P. H., Ernsting, A., Semino, S., & Gura, S. (2009). Agricultura y Cambio Climático :

Pérez, M. de J. (2010). Fertilización Orgánica. *Mcch*, 20.

- Piedrahita, O. (2011). Capacidad_de_intercambio_cationico_en_el_suelo.PDF.
- Pozuelo, E. C., Civit, J. P., & Ripoll, X. F. (2004). GUIA DE LOS TRATAMIENTOS DE LAS DEYECCIONES GANADERAS. Retrieved from http://www.arc-cat.net/es/altres/purins/guia/pdf/guia_dejeccions.pdf
- Preston, C., & Coleman, A. (2000). Optimal number of response categories in rating scale: reliability, validity, discriminating power, and responding preferences. *Acta Psychologica*, 104, 1–15.
- Prieto, M. O. (2015). Efecto del biocarbón sobre el crecimiento y producción de un cultivo de trigo en condiciones de campo. Retrieved from [https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/12795/Manuel Prieto.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/12795/Manuel%20Prieto.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Prieto, M. O., Rafael, D., Montero, V., & Albuquerque, A. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo , las características de la raíz y la producción vegetal.
- Proceso de gasificación de biomasa: una revisión de estudios teórico-experimentales Biomass gasification process: theoretical and experimental studies a review. (2010).
- Ramos, D., & Terry, E. (2014). GENERALIDADES DE LOS ABONOS ORGÁNICOS: IMPORTANCIA DEL BOCASHI COMO ALTERNATIVA NUTRICIONAL PARA SUELOS Y PLANTAS Review Generalities of the organic manures: Bocashi's importance like nutritional alternative for soil and plants. *Inca*, 35(4), 52–59. <https://doi.org/1819-4087>
- Residuos, J. D. E. T. D. E., & Urbanos, L. (n.d.). Valorización energética de rsu.
- Rodríguez-machín, L., López-díaz, I., Ocaña-, V. S., & Pérez-bermúdez, R. A. (2012). Tendencias de investigación y desarrollo . Biomass thermo-conversion by pyrolysis . Trends in research and development . *Centro Azúcar*, 39(1), 27–32.
- Rodriguez, H. (2013). Comercialización De Biocarbon (Biochar) En México. Retrieved from http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Comercializacion_de_Biochar_en_Mexico.pdf

- Rodríguez, M, & Mance, H. (2009). *Cambio climático: lo que está en juego. Cambio climático: lo que está en juego*. <https://doi.org/Foro Nacional Ambiental>
- Rodríguez, Mariela, & Flórez, V. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos ©. *Nociones Básicas Del Ferti-Riego*, (3), 25–36.
- Romero, A. (2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles, *104*, 331–345. Retrieved from <http://www.rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (1994). Propiedades físicas del suelo. *Facultad De Agronomía Universidad De La República*, 68. Retrieved from <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=BAC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=020674>
- SAGARPA. (2016). Uso de fertilizantes. *Secretaría de Desarrollo Rural*, 11. Retrieved from <http://www.sagarpa.gob.mx/>
- Sánchez, R. (2012). Segunda vida de los neumaticos usados.
- Semarnat. (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en Mexico. 2013*.
- SEMARNAT. (2012a). Norma Ambiental para el DF NADF-020-AMBT-2011. *D.O.F.*, 69–83. Retrieved from <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/sedema/images/archivos/sedema/leyes-reglamentos/normas/locales/NADF-020-AMBT-2011.pdf>
- SEMARNAT. (2012b). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187438/pnpgir_2009-2012.pdf
- SEMARNAT. (2013). Residuos. *Informe de La Situación Del Medio Ambiente En México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental*, 319–361. <https://doi.org/978-607-8246-61-8>
- Semarnat, G. F. de M. (2009). *Cambio Climático. Ciencia, evidencia y acciones. Serie ¿Y el medio ambiente?* Retrieved from

http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio_climatico_09-web.pdf

Triángulo de Clases Texturales. (n.d.).

Urien, A. (2013). Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual. *Tesis De Máster*, 1–83. Retrieved from http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES_CENIM_CSIC.pdf

USDA. (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. *Instituto de Calidad de Suelos, Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos*, 88.

White, C., Eduardo, M., Gómez, M., Rafael, L., Ortega, F., Delia, L., ... Medicago, D. E. (2015). EFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE CARBÓN VEGETAL EN LA PRODUCCIÓN DE UNA MEZCLA FORRAJERA DE Medicago sativa (ALFALFA) Lolium perenne (RYE GRASS) Y Trifolium repens (TRÉBOL BLANCO). *Revista de Investigación Talentos Volumen II. (2)*, (2), 28–38. Retrieved from <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1716/1/IAD-2013-T002.pdf>

Xun, W., Huang, T., Li, W., Ren, Y., Xiong, W., Ran, W., ... Zhang, R. (2017). Alteration of soil bacterial interaction networks driven by different long-term fertilization management practices in the red soil of South China. *Applied Soil Ecology*, 120, 128–134. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2017.08.013>