

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

**Diseño de un sistema para la generación de biocarbón como fertilizante utilizando
los residuos orgánicos de la producción de cebolla junca**

Christian Yesid Pabón Román y Daniel Fernando Velandia López

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director:

Yesid Javier Rueda

PhD. Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2024

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Agradecimientos

A Dios por brindarme la oportunidad de demostrar mi valía, de reconocer que sí puedo lograr lo que me propongo.

A mis padres Daniel Velandia y Aminta López por el esfuerzo que han dedicado a mi educación académica, por todo su amor y por hacerme el hombre que soy hoy en día.

A mis hermanas Yurley Velandia y Lizeth Velandia por brindarme consejos y fortaleza en mis momentos de debilidad y necesidad.

A mi compañero de proyecto Christian Pabón por su paciencia, entendimiento y ayuda desinteresada.

A todos mis docentes por sus enseñanzas y sabiduría compartida.

A mis perritos por brindarme felicidad, compañía y por enseñarme el amor verdadero y desinteresado.

A el ingeniero Yesid Javier Rueda, director de proyecto, por confiar en nosotros, por sus asesorías y especialmente su paciencia durante el desarrollo de este proyecto.

A el ingeniero Juan Ángel Moreno, amigo y compañero, por brindarnos momentos de alegría, amistad y por estar siempre dispuesto a ayudarnos durante toda nuestra carrera universitaria sin esperar nada a cambio.

A la Universidad Industrial de Santander, nuestra alma máter, por brindarnos instalaciones y profesores adecuados y de alta calidad para nuestra formación ética y profesional.

Daniel Fernando Velandia López

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Agradecimientos

A Dios por darme salud, paz y felicidad.

A mis padres Elsy y Yesid por su apoyo, amor y por nunca rendirse.

A mis hermanos Marla, Melissa y Johan por enseñarme el amor, por darme más de lo que pueden y por confiar en mí.

A mis amigos que siempre me han apoyado, por su amor y lealtad y por enseñarme lo valiosa que es una amistad.

A mi compañero de proyecto Daniel por acompañarme, por compartir tiempo conmigo y por ayudarnos mutuamente en la universidad.

Al ingeniero Yesid Rueda, director de proyecto, por su confianza para el proyecto, su paciencia y enseñanza.

A la Universidad Industrial de Santander por brindarnos la posibilidad de tener un estudio de alta calidad.

Tabla de contenido

Introducción	13
1. Objetivos.....	15
1.1. Objetivo general.....	15
1.2. Objetivos específicos	15
2. Marco teórico e investigativo.....	16
2.1 Fertilizantes.....	16
2.1.1. <i>Fertilizantes industriales</i>	17
2.1.2. <i>Fertilizantes naturales</i>	18
2.2 Biodigestión	19
2.2.1 Elementos del proceso de biodigestión.....	20
2.2.1.1. Biodigestor.....	21
2.2.1.2. Residuos orgánicos.	23
2.2.2. Productos de la biodigestión.....	26
2.2.2.1. Compost.	26
2.2.2.2. Biogás.	27
2.3. Carbonización	28
2.3.1 Carbonizador.....	29
2.3.2 Biomasa.....	29
2.3.3 Biocarbón.....	30
2.4 Materiales.....	32

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

2.4.1 Acero AISI 1020.....	32
2.4.2 Ladrillo Refractario.....	33
2.4.3 Mortero refractario.....	33
2.4.4 Termocupla	33
3. Método, materiales y procedimiento.....	34
3.1 Preparación del compost.....	34
3.1.1. Recolección de materia prima.....	34
3.1.2 Proceso de mezclado.....	36
3.2 Proceso de biodigestión	39
3.2.1 Prototipo del biodigestor.....	39
3.2.1.1 Diseño y elección de materiales.....	39
3.2.1.2. Construcción del prototipo.....	43
3.2.2 Procedimiento biodigestivo	44
3.3 Proceso de carbonización.....	45
3.3.1 Primera prueba.....	51
3.3.2 Segunda prueba.....	51
3.4 Proceso de plantación y fertilización	53
3.4.1 Germinación y establecimiento.....	54
3.4.2 Crecimiento vegetativo	55
3.4.3 Floración	58
3.4.4 Fructificación.....	60

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

3.5 Hallazgos.....	61
3.5.1 Hallazgos de la preparación del compost.....	61
3.5.2 Hallazgos del proceso de biodigestión.....	62
3.5.3 Hallazgos del proceso de carbonización	62
3.5.4 Hallazgos de la plantación y fertilización	63
4. Diseño del biodigestor y carbonizador	65
4.1. Biodigestor.....	65
4.2 Carbonizador tipo mufla	67
5. Viabilidad del proyecto y análisis económico	79
5.1 Costos de la mufla.....	79
5.1.1 Elementos de fabricación.....	79
5.1.2 Licencias	80
5.1.3 Mano de obra	81
5.1.4 Elementos adicionales.....	81
5.2 Consumo energético.....	82
5.3 Costos totales	83
5.5 Viabilidad del proyecto.....	83
5.5.1 Gastos de la fertilización industrial.....	84
6. Conclusiones	87
7. Referencias bibliográficas.....	89

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Lista de tablas

Tabla 1. Composición química del Acero AISI / SAE 1020	32
Tabla 2. Elementos recolectados para la preparación del compost	37
Tabla 3. Contenido de Carbono y Nitrogeno	37
Tabla 4. Cantidad y unidades de medida materiales compost	38
Tabla 5. Tiempo de floación.....	59
Tabla 6. Tiempo de fructificación.....	60
Tabla 7. Materia prima e insumos.....	80
Tabla 8. Costo de licencias	80
Tabla 9. Costos de mano de obra de la mufla.....	81
Tabla 10. Gastos adicionales.....	82
Tabla 11. Consumo energético de la mufla	82
Tabla 12. Costos totales	83
Tabla 13. Costos de la fertilización industrial	84
Tabla 14. Comparación del fertilizante natural e industrial	86

Lista de figuras

Figura 1. Fertilizantes industriales o químicos	18
Figura 2. Residuos de cebolla junca	24
Figura 3. Ganado caprino y bovino.....	25
Figura 4. Materia fecal caprina y bovina	35
Figura 5. Residuos de la pelanza de cebolla junca.....	36
Figura 6. Modelo del biodigestor.....	40
Figura 7. Bidón de plástico	41
Figura 8. Pasamuros.....	42
Figura 9. Válvula de PVC.....	42
Figura 10. Bomba de látex	43
Figura 11. Creación del biodigestor.....	44
Figura 12. Globo de látex para la recopilación del biogás.....	45
Figura 13. Biomasa.....	46
Figura 14. Trituradora maarca “Inal”.....	47
Figura 15. Balanza marca “Pioneer PX244/E”	48
Figura 16. Mufla “Terrígeno Modelo D8”.....	49
Figura 17. Panel de control de la mufla	50
Figura 18. Biocarbón	52
Figura 19. Semillas de tomate.....	53
Figura 20. Germinación	54
Figura 21. Compostaje y biocarbón	55

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Figura 22. Fertilizante químico	56
Figura 23. Tierra de bosque y de cultivo	57
Figura 24. Crecimiento vegetativo.....	58
Figura 25. Floración.....	59
Figura 26. Reproducción final de las plantas de tomate	61
Figura 27. Sistema séptico integrado.....	66
Figura 28. Anemómetro térmico WK026	72
Figura 29. Cámara de calentamiento	75
Figura 30. Carcasa externa.....	78
Figura 31. Diseño final de la mufla	78

Lista de apéndices

Ver apéndices adjuntos y pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca UIS.

Apéndice A. Código de programación en Arduino

Apéndice B. Plano para la construcción de la mufla

Resumen

Título: Diseño de un sistema para la generación de biocarbón como fertilizante utilizando los residuos orgánicos de la producción de cebolla junca.

Autores: Christian Yesid Pabón Román y Daniel Fernando Velandia López.

Palabras clave: Biodigestión, Biomasa, Carbonización, Biocarbón.

El presente trabajo puso a prueba como fertilizante natural y biocarbón a los residuos orgánicos derivados de la producción de cebolla junca. Para esto, el material orgánico enfrentó un proceso de carbonización y biodigestión, del cual se obtuvo como resultado biocarbón y compostaje, los cuales fueron utilizados en la fertilización de un cultivo de tomates. Además de los residuos de la cebolla junca, también se hizo uso del estiércol de los animales bovinos y caprinos para la producción de este fertilizante natural en forma de compost. Brindando así una solución práctica, efectiva y económica a los trabajadores agrícolas, quienes han visto afectados sus cultivos por el alza de los precios de fertilizantes, abonos y fletes durante el último año.

En Berlín, Santander, conocido como la cuna de la cebolla junca del país, se evidencia una alta cantidad de residuos derivados de la cosecha de este producto, además, su alta actividad ganadera, hace de este corregimiento uno de los mayores emisores de CO₂ del país. El diseño de un biodigestor y un carbonizador para una de las fincas pertenecientes a este corregimiento, permite al campesino contar con una alternativa para darle un segundo uso a los residuos de su cosecha de cebolla junca y una alternativa más ecológica a los desechos fecales de su ganado.

Los resultados obtenidos evidenciaron la eficiencia de esta alternativa sobre los cultivos acelerando la obtención de frutos de una planta de tomate. Además, se confirmó la viabilidad económica del proyecto, al comparar la inversión necesaria para el diseño y construcción del carbonizador (\$9.042.700), la inversión anual energética de la mufla (\$1.680.432) con la inversión anual que se suele realizar en la finca Santa Mónica para el proceso de fertilización de sus cultivos (\$3.280.000). Demostrando una ganancia de \$1.600.000 por año a partir del sexto año de inversión.

Abstract

Title: Design of a system for the generation of biochar as fertilizer using organic waste from onion production.

Authors: Christian Yesid Pabón Román y Daniel Fernando Velandia López

Keywords: Biodigestion, Biomass, Carbonization, Biochar.

The present work evaluated the organic waste derived from the production of Welsh onion as a natural fertilizer and biochar. For this, the organic material underwent a carbonization and biodigestion process that resulted in biochar and composting, which were used in the fertilization of a tomato crop. In addition to the Welsh onion waste, manure from cattle and goats was also used to produce this natural fertilizer in the form of compost. Thus, providing a practical, effective, and economic solution to agricultural workers, who have seen their crops affected by the rise of fertilizers in the last year.

In Berlin, Santander, known as the cradle of the country's onion rush, there is a high amount of waste derived from the harvest of this product. In addition, its high livestock activity makes this district one of the largest emitters of CO₂ in the country. The design of a biodigester and a carbonizer for one of the farms belonging to this district allows the farmer to have an alternative to give a second use to the waste from the onion harvest and a more ecological alternative to the fecal waste from the cattle.

The results obtained from this alternative on the crops showed an acceleration in the obtaining of fruits. In addition, the economic viability of the project was confirmed, by comparing the investment necessary for the design and construction of the carbonizer (\$9,042,700), the annual energy investment (\$1,680,432), with the investment that is usually made on the Santa Mónica farm for the fertilization process of its crops generating an annual income of \$1,600,000 per year from the sixth year of investment.

Introducción

En Colombia, el sector agropecuario se destaca por ser uno de los principales sectores productivos del país, concentrándose principalmente en dos actividades como lo son la agricultura y la ganadería. Si bien estas actividades tienen un buen margen de ingresos; también sobresalen por manejar un gran costo de inversión y un sinnúmero de desperdicios. Dada la carencia de información, capacitación y formación con la que cuentan la mayoría de los trabajadores del sector agropecuario, se hace uso ineficiente de los desperdicios, pues, por un lado, su manejo no siempre es el adecuado, y peor aún, se desaprovechan los mismos, llevando a que el margen de ganancia no sea el óptimo.

Además, el país se ha caracterizado principalmente por su riqueza en recursos renovables y su biodiversidad; la cual se puede encontrar a lo largo y ancho del territorio nacional, incluyendo zonas llaneras, tropicales y de paramo. Estos últimos ecosistemas zonales se encuentran ubicados a aproximadamente 3000 y 4500 metros sobre el nivel del mar, y reúnen las condiciones necesarias para el cultivo de diversos alimentos esenciales en la gastronomía colombiana, entre esos, la cebolla junca.

Esta cebolla, se vende de dos formas: en limpio o en sucio. La cebolla en limpio debe someterse a una limpieza antes de ser empacada y transportada. Este proceso de limpieza genera desperdicios, como cascaras exteriores, gajos de cebolla en mal estado o gajos que no sirven para el consumo como los denominados machos. Durante el proceso de limpieza de la cebolla se pueden generar aproximadamente 6 kg de residuos por cada bulto empacado. A estos residuos, en la mayoría de las fincas del país, no se les suele dar un uso adecuado debido a la falta de conocimiento de los agricultores.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Por otro lado, el uso de fertilizantes en la agricultura colombiana ha crecido exponencialmente, generando así, mayor productividad en los cultivos en los que se implementa. Sin embargo, recientemente los precios de estos insumos han ido en aumento debido a dos problemáticas mundiales como lo son la crisis de salud pública por el virus Covid-19 y la guerra entre Rusia y Ucrania. Según el Ministerio de Agricultura, solo en el 2021, el 20% de todos los fertilizantes importantes provenían de Rusia; por lo que, con la guerra el precio de los fertilizantes importados ha incrementado en un 30%, generando así, dificultades para la agricultura colombiana y afectando directamente el precio de varios productos de la canasta familiar.

Una vez identificada esta problemática, surgió la necesidad de aprovechar al máximo los desperdicios orgánicos que deja el cultivo de cebolla junca, por lo que, en el presente proyecto, se pretende hacer uso de estos mediante un proceso de biodigestión para generar compost y gas metano, los cuales pasaran por un carbonizador dejando como resultado de este proceso el biocarbón. Con este se pretende complementar y/o sustituir el uso de fertilizantes industriales, los cuales no resultan rentables por sus altos costos; mientras que, con el biocarbón se hace un uso eficiente de todos los recursos derivados del cultivo de cebolla junca, incluyendo sus desperdicios y su costo beneficio es aún mayor; contribuyendo así al agricultor colombiano, el cual se verá beneficiado con una mayor productividad en sus cosechas reduciendo el uso y el gasto de fertilizantes industriales.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Generar fertilizante natural y biocarbón mediante un biodigestor y un carbonizador, respectivamente, haciendo uso de los residuos orgánicos de la producción de cebolla junca, para ser utilizado como fertilizante natural.

1.2. Objetivos específicos

- Desarrollar un prototipo del biodigestor a utilizar para la obtención del compost, utilizando los residuos orgánicos de la producción de cebolla, tierra, agua y materia fecal del ganado caprino y bovino.
- Carbonizar los residuos de la cebolla haciendo uso de los elementos del laboratorio de la escuela de ingeniería mecánica para obtener el biocarbón deseado.
- Comprobar el rendimiento y la eficiencia del biocarbón como fertilizante, comparando su desempeño en el crecimiento de una planta fertilizada con biocarbón contra una fertilizada con fertilizante industrial.
- Diseñar a detalle un carbonizador y un biodigestor para la finca Santa Mónica ubicada en el municipio de Tona, Santander, realizando el balance de masa y el cálculo de gas metano obtenido por el biodigestor y el gas metano requerido por el carbonizador.
- Calcular los costos y la viabilidad económica de la construcción del sistema diseñado.

2. Marco teórico e investigativo

Seguidamente, se presenta un recuento de la información recopilada, con el fin de contextualizar acerca del proyecto planteado para la generación del fertilizante natural. Se citarán proyectos y artículos relacionados con la propuesta planteada. Posterior a esto, se explican y presentan los diferentes componentes teóricos, siguiendo como lineamiento los objetivos planteados.

2.1 Fertilizantes

Los fertilizantes, como su nombre lo dicen, son compuestos o sustancias que tienen como función fertilizar el suelo, lo que significa, hacer el suelo más fértil y productivo. Estas sustancias, químicas o naturales contienen nutrientes esenciales para nutrir, y enriquecer el suelo en que se usa, tales como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, entre otros. Esta función la realizan regresando a la tierra los diferentes compuestos que las plantas han absorbido de ella, además, provee a la planta sustancias precisas que ella necesita para su crecimiento; estimulando el crecimiento de raíces fuertes y resistentes. Los fertilizantes, como se describió anteriormente pueden derivarse de procesos químicos completos o de materia orgánica o naturales; los primeros son denominados fertilizantes industriales o químicos y los segundos como fertilizante orgánico o natural.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

2.1.1. Fertilizantes industriales

Los fertilizantes industriales o químicos suelen ser los más usados en el sector agrícola, dado que es más sencillo obtenerlos y más fácil acceder a ellos, solo basta con acudir a una tienda agrícola y allí se podrá encontrar gran variedad de fertilizantes según el tipo de suelo en que se ha de usar, el tipo de cultivo o necesidades específicas que se requieran para su implementación; además, los efectos alcanzados con su uso suelen verse en un menor tiempo de lo habitual. No obstante, tienen costos elevados que no hacen rentable su funcionamiento y generan graves afecciones al medio ambiente, ocasionando un alto índice de contaminación tanto en su producción como en su uso.

Son productos químicos diseñados específicamente para enriquecer el suelo, y dotarlo de los nutrientes necesarios para que en este se puedan llevar a cabo cultivos sanos y resistentes. Estos fertilizantes son fabricados por las grandes industrias y se derivan de procesos químicos complejos en donde se busca la concentración precisa de nutrientes y micronutrientes para así hacer más efectivo el uso del suelo, suministrando de forma rápida y eficiente estos compuestos y llegando a un resultado en un lapso más corto de lo normal.

No obstante, el uso y producción de estos fertilizantes conlleva graves afectaciones al medio ambiente. Vega (2017) afirma que, “los principales efectos ambientales que causa la aplicación de los fertilizantes nitrogenados son: contaminación de las aguas por nitratos, eutrofización y emisión de gases a la atmosfera” (p.10). Conforme a esto, se hace urgente la necesidad de prestarle atención a la implementación de este tipo de fertilizantes y tomar medidas urgentes y eficientes que mitiguen el impacto ambiental ocasionado por el uso de los fertilizantes químicos o industriales.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Figura 1

Fertilizantes industriales o químicos



Nota. La figura representa algunos de los fertilizantes químicos industriales utilizados en el cultivo de la cebolla junca. En la figura 1 se representan dos de los fertilizantes más utilizados para el cultivo de la cebolla junca en la finca Santa Mónica, estos son presentados un empaque plástico, el cual, debido a la falta de cultura de reciclaje, termina siendo un problema para el medio ambiente.

2.1.2. Fertilizantes naturales

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Por su parte, los fertilizantes orgánicos son los producidos naturalmente mediante células vivas o microorganismos. La mayor ventaja de estos es su bajo impacto al medio ambiente, además, de permitir utilizar desechos para un segundo uso. El más común de estos fertilizantes es el compost, anteriormente mencionado en el presente trabajo. Sin embargo, hay variedad de fertilizantes naturales, entre los cuales se destaca la práctica de la lombricultura, cuya técnica es usada con el objetivo de aprovechar los beneficios de las lombrices en la descomposición de la materia orgánica, pues a medida que la consumen y descomponen, transformando la cantidad de residuos orgánicos mientras se produce un fertilizante natural.

Otro tipo de fertilizante natural que destaca considerablemente es aquel que se deriva del proceso de biodigestión, en el cual se descompone la materia orgánica en ausencia de oxígeno, lo que permite que actúen los microorganismos presentes, produciendo biogás y productos que contienen nutrientes esenciales para las plantas y los cultivos.

2.2 Biodigestión

La biodigestión es un proceso biológico en donde los residuos orgánicos (estiércol, restos de alimentos, residuos forestales) son degradados por microorganismos en ausencia de oxígeno, produciendo el biogás y bioabono o compost; por lo que, este proceso también suele ser conocido como biodigestión anaeróbica.

El proceso de biodigestión suele desarrollarse de forma natural en los organismos de los animales; sin embargo, también puede producirse mediante la implementación de biodigestores de forma controlada y bajo parámetros específicos.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Para que se pueda surtir satisfactoriamente este proceso, se deben cumplir algunos criterios: en primera medida, se debe contar con la materia prima, la cual se conforma principalmente de estiércol, residuos agrícolas, restos de alimentos, entre otros tipos de residuos, los cuales deben introducirse en el biodigestor. Allí, el ambiente deberá ser encerrado que obstruya o limite la presencia de oxígeno, creando un ambiente anaeróbico. A continuación, las moléculas grandes de materia orgánica se desintegran en moléculas de menor tamaño mediante un proceso denominado hidrólisis.

Los microorganismos convierten los productos de los anteriores procesos en metano y dióxido de carbono, dando lugar a la producción del biogás, el cual sirve como fuente de energía renovable, que puede usarse para la generación de electricidad, calefacción y demás. Derivado de ese proceso, queda un residuo sólido y líquido denominado *digestato*, el cual es rico en nutrientes y se puede utilizar como fertilizante orgánico para mejorar la fertilidad del suelo, aumentar la retención del agua y promover la actividad microbiana beneficiosa en el suelo.

Además, para surtir el proceso de biodigestión es necesario contar con algunos implementos o materiales, los cuales serán conceptualizados en las páginas subsiguientes.

2.2.1 Elementos del proceso de biodigestión

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

2.2.1.1. Biodigestor. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina (2021) refiere que el biodigestor es un contenedor, en el cual se realiza todo el proceso de biodigestión. Este recipiente o tanque debe ser cerrado herméticamente, para garantizar la correcta descomposición de los residuos orgánicos; en él se contienen residuos orgánicos de origen vegetal o animal, los cuales son mezclados con agua e inoculados por un grupo de microorganismos para generar así esta descomposición y sus resultados, los cuales pueden darse en un periodo de 15 a 55 días según las condiciones.

Además, “los biodigestores constituyen una alternativa económica y efectiva en comunidades rurales de todo el mundo. Permiten satisfacer la demanda energética de estas poblaciones y proporcionan un medio adecuado para manejar los residuos de humanos y animales, siendo una alternativa eficaz para hacer frente al calentamiento global” (Aquaefundación, 2021, párr. 6)

El diseño de un biodigestor está ligado a dos factores o condiciones clave, los cuales determinaran las dimensiones del biodigestor: por un lado, la temperatura del medio y por el otro, la cantidad de residuos orgánicos a utilizar.

La temperatura del medio repercute en la intensidad de la actividad de los microorganismos presentes en el biodigestor durante el proceso, es decir, entre mayor sea la temperatura, mayor será la actividad que realicen los microorganismos y menor será el tiempo de retención que se requerirá para obtener resultados. Para una temperatura como la presente en el corregimiento de Berlín, que oscila entre los 10 y 20°C, se presenta una fermentación psicrófila que se caracteriza por un tiempo de retención mayor a los 100 días. (González et al, 2012)

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Por otra parte, la cantidad de residuos orgánicos que se vayan a implementar durante el proceso de biodigestión dependerá de la cantidad de biogás y compost que se desee obtener una vez se efectúe adecuadamente el proceso. Estos residuos orgánicos están compuestos por carbono (C) y por nitrógeno (N), estableciendo una relación entre ellos (C/N) que influye en la producción. Siendo considerados los valores aceptables entre 20-30 y como 16 un valor óptimo, sin embargo, valores mayores o menores a este rango también pueden ser manejados presentando mayor o menor tiempo de retención. Mas allá de la relación C/N también se debe tener un nivel adecuado de agua para la correcta realización de la biodigestión, ya que, si se presenta escasa o excesiva cantidad de agua, el tiempo de retención puede aumentar y la cantidad de biogás generado disminuir. El uso de excremento animal y desechos agrónomos conlleva a una relación de residuos orgánicos y agua entre 1:1 y 1:2, es decir, por cada kilogramo de excremento, se requerirá 1 litro de agua. (González et al, 2012)

Con el tiempo de retención dado por la temperatura y los residuos orgánicos y su cantidad a utilizar en el proceso de biodigestión, es posible calcular el volumen de digestión del biodigestor dada la siguiente fórmula: (Castillo et al, 2021)

$$\text{Volumen de digestión} = \frac{(\text{Kg de biomasa} + \text{Kg de agua}) * \text{Tiempo de retención}}{\text{Densidad de la mezcla}}$$

Al calcular este volumen de digestión se incluye no solo el espacio necesario para la biomasa, sino también el espacio necesario para acumular el biogás producido por la biodigestión de esta.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

2.2.1.2. Residuos orgánicos. Se define como residuos orgánicos a los diferentes desperdicios o desechos de origen biológico. Existen varios tipos de residuos orgánicos, aunque en el presente proyecto nos enfocaremos en los residuos generados por la producción de cebolla junca y en los residuos de la crianza de animales, es decir, materia fecal de ganado caprino y bovino.

Estos residuos pueden ser utilizados como abono y fertilizantes naturales, aplicando en ellos diferentes procesos para su posterior uso, dando cumplimiento a los parámetros de calidad e higiene a que haya lugar. El proceso más conocido y el más usado para el tratamiento de estos residuos orgánicos es la biodigestión o digestión anaeróbica, proceso que fue descrito previamente en el presente documento.

- **Residuos de la producción de cebolla junca:** La producción de cebolla junca se lleva a cabo en las zonas de paramo de Colombia, debido a que este bioma reúne todas las condiciones agroclimáticas necesarias para su cultivo. La mayoría del cultivo colombiano se encuentra en el departamento de Boyacá, seguido por el departamento de Santander. Según la Encuesta Nacional Agropecuaria, ENA (DANE, 2014), durante el año 2013 en Colombia se cosecharon 14.533 hectáreas de cebolla junca. El tiempo promedio de cosecha de la cebolla junca puede rondar entre los 3 y 5 meses, produciendo aproximadamente 40 toneladas por hectárea. Durante este proceso de producción y cosecha se llegan a generar varios desperdicios, evidenciados en la figura 2, ya sea por cebolla en mal estado o los residuos que se generan durante el proceso de pelanza, el cual es necesario para su posterior transporte y comercialización.

Figura 2

Residuos de cebolla junca



Nota. La imagen representa los residuos derivados del proceso de pelanza de la cebolla junca, el cual es necesario para su comercialización y distribución.

- **Materia fecal de ganado caprino y bovino:** La crianza de ganado caprino y bovino en Colombia es un sector comercial muy fuerte, debido a la gran cantidad de posibilidades que ofrece el país en cuanto a biomas y razas de animales. En una finca del común del país como la finca Santa Mónica, en la cual están presentes estos animales como se muestra en la figura 3, se suele subsistir mediante la cosecha de diferentes alimentos y se suele complementar esto con la cría de animales, o en algunos casos exclusivamente a la crianza de estos.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Figura 3

Ganado caprino y bovino



Nota. La imagen muestra los animales caprinos y bovinos presentes en la Finca Santa Mónica, ubicada en el Municipio de Tona-Santander, en donde se focalizará el presente trabajo de investigación.

La materia fecal del ganado ya sea caprino o bovino, se ha convertido en un problema a nivel mundial debido al impacto que conlleva en el efecto invernadero, esto, por cuando la materia fecal de estos animales produce grandes cantidades de gas metano, lo que ocasiona detrimento en el medio ambiente y tiene repercusiones en el cambio climático. En este sentido, se han realizado gran variedad de estudios, en donde se ha determinado que, “el total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de las cadenas de suministros ganadero se estima en 7,1 gigatoneladas de CO₂ por año (...) Este total representa el 14,5% de todas las emisiones inducidas por el ser humano”. (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), 2013)

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

No obstante, la materia fecal es considerada un residuo orgánico, por lo que se le puede dar un uso óptimo, transformándola mediante procesos de biodigestión, del cual resulta el compostaje y el biogás, aprovechando al máximo este recurso y disminuyendo la huella ambiental del mismo.

2.2.2. Productos de la biodigestión

2.2.2.1. Compost. El compostaje es la descomposición de materia orgánica, y puede darse en dos ambientes. Por un lado, se encuentra el compostaje aeróbico, el cual la FAO define como “la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes”. (Portal terminológico de la FAO, FAOTERM)

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO - por sus siglas en inglés, la descomposición aeróbica es la sumatoria de complejos procesos metabólicos que requieren de diversos microorganismos, para que actúen en presencia de oxígeno, optimizando el Nitrógeno y el Carbono produciendo con esto su propia biomasa y haciendo uso de recursos orgánicos de forma más eficiente. Para facilitar este proceso, es necesario proporcionar ventilación y un ambiente húmedo, para que se obtenga un compost de alta calidad, minimizando los gases de efecto invernadero y creando soluciones sostenibles para la optimización de recursos orgánicos (FAO, 2011).

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Por otra parte, el compostaje también puede ser anaeróbico, el cual permite que se descomponga la materia orgánica en ausencia de oxígeno o con limitaciones de este. En este método los microorganismos descomponen los residuos orgánicos generando biogás y compostaje. El compostaje anaeróbico requiere la implementación de sistemas especializados y herméticos como los biodigestores, donde se limite la presencia de oxígeno. (FAO, 2011)

El compost producido por el proceso de biodigestion en su etapa madura, se suele mezclar (20%-50%) con tierra en la aplicación en macetas y jardinería. (FAO, 2013)

2.2.2.2. Biogás. El biogás es la mezcla de gases obtenidos a través de medios naturales o procesos industriales, como consecuencia de las reacciones provocadas por la degradación de materia orgánica, por medio de la acción de microorganismos y condiciones anaeróbicas. El biogás obtenido mediante la descomposición anaeróbica es una forma útil y eficiente de aprovechar los residuos orgánicos y mitigar la huella de carbono, puesto que, por un lado, permite la disminución de los residuos y su aprovechamiento; y por el otro, el biogás obtenido mediante los procesos de biodigestión pues con este se produce un combustible que puede ser utilizado como fuente de energía renovable y aplicarse para uso eléctrico, térmico o como carburante. (FAO, 2011)

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Para la producción de biogás es necesario que esta se efectúe mediante digestión anaeróbica, la cual es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (e.g H_2O_2). Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa (...) en subproductos útiles. Aquí, más del 90% de la energía disponible por oxidación directa, se transforma en metano (...). De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás que abandona el sistema. Sin embargo, el biogás generado suele estar contaminado con diferentes componentes, que pueden complicar el manejo y aprovechamiento de este. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2011, p.13)

2.3. Carbonización

La carbonización es un proceso termoquímico mediante el cual, los residuos orgánicos son expuestos a condiciones particulares, pues son tratados a temperaturas elevadas superando los $400^{\circ}C$ en ausencia de oxígeno o con limitaciones de este. En el curso del proceso, las altas temperaturas causan liberación de gases y vapor de agua, separando los compuestos y haciendo que el carbono que se encuentra en los residuos orgánicos se solidifique en forma de carbón. Este carbón, puede implementarse de diversas maneras, entre esas la culinaria para parrillas y asadores. (Arellano et al., 2017)

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Para efectuar satisfactoriamente el proceso de carbonización, es necesario hacer uso de materia orgánica, en la que abunde el carbono, entre estos los más utilizados suelen ser la madera, los residuos agrícolas (residuos derivados de cultivos), residuos forestales y la biomasa. Además, es indispensable la ejecución de este proceso, haciendo uso de un carbonizador el cual debe encontrarse apto para mantener las temperaturas necesarias y reducir el oxígeno o limitarlo considerablemente. (Quesada 2012)

2.3.1 Carbonizador

Un carbonizador es un equipo ideado para efectuar el proceso de carbonización, dentro del cual se realiza la descomposición termoquímica de la materia prima en las condiciones antes descritas produciendo principalmente biocarbón. Teniendo en cuenta que se deben alcanzar temperaturas entre los 250°C y los 500° C, el carbonizador cuenta con un espacio en el cual se inserta la materia orgánica -residuos agrícolas en el presente caso- y se encuentra sellado herméticamente para evitar el ingreso de oxígeno, evitando también la combustión completa de la materia prima. (Quesada, 2012)

2.3.2 Biomasa

La biomasa se encuentra compuesta principalmente de materia orgánica, un ejemplo de esto son los residuos vegetales y animales, tales como los residuos de cultivos, de pelanzas, excremento de ganado, y residuos generados por el hombre en las ciudades. Además, la biomasa cobra especial relevancia dado que su uso más común es la producción de energía renovable. (Fernández, 2007, p 02).

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Si bien este elemento puede obtenerse de casi cualquier residuo orgánico, existen dos principales fuentes de esta; por una parte, la biomasa primaria, se encuentra constituida por cultivos del reino vegetal requeridos específicamente para la producción de esta para uso energético. En segundo lugar, la biomasa residual, se conforma principalmente de residuos orgánicos derivados de otras labores (SilvaPlus, 2011). Al respecto, el IDAE (como se citó en Cerdá, 2012) establece que estos residuos orgánicos residuales usualmente suelen derivarse de actividades de cultivo como lo son la poda y limpieza de los terrenos, la pelanza de los frutos, los residuos derivados de procesos industriales como la tala de árboles para su implementación como materia prima y los derivados del uso urbano o humano.

2.3.3 Biocarbón

El biocarbón es el resultado de diferentes formas de carbono derivadas a partir de materiales orgánicos o biomasa. Este, hace alusión principalmente a productos carbonizados derivados de los procesos de carbonización de residuos orgánicos en condiciones controlados. (Escalante et al., 2016)

Si bien el biocarbón y el carbón vegetal suelen confundirse, algunos autores han coludido en que su diferencia radica en su uso y origen, pues el biocarbón es el resultado de un proceso en donde la principal materia prima es biológica y suele tener usos afines, mientras que en su mayoría el carbón vegetal suele usarse como combustible. (FORLIANCE,)

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Las características del biocarbón están ligadas por las propiedades químicas de la biomasa a carbonizar y de las condiciones de pirólisis, es decir, de la degradación térmica sufrida durante el proceso de carbonización al momento de ser sometido a altas temperaturas y ausencia de oxígeno. Es por esto por lo que, si bien el biocarbón puede ser utilizado como enmienda o acondicionador del suelo, el uso exclusivo o individual de este producto como fertilizante, puede generar escasez de nutrientes en el suelo a trabajar. (Escalante et al., 2016)

Con esto claro, es necesario entender que para optimizar el uso del biocarbón dado que este es funcional pero no suficiente, podrá adicionarse a fertilizantes, abonos o compostajes para que sus efectos sean más efectivos. Por ejemplo, la mezcla de biocarbón y compostaje sirve de fertilizante orgánico o natural y, además, podrá ser beneficioso desde una perspectiva ambiental, ya que este fertilizante a diferencia de los industriales hace uso de materiales orgánicos en lugar de químicos. (Barrezuela et al, 2022)

La cantidad optima de biocarbón a utilizar por hectárea cultivada suele ser de 20 toneladas, sin embargo, debido a los pocos antecedentes de la utilización de biocarbón sobre cultivos de cebolla junca, se tomará como guía la cantidad de biocarbón por hectárea cultivada utilizada en el cultivo de uchuva, ya que este cultivo se presenta en condiciones similares al de la cebolla junca, condiciones tales como la altitud de la zona y tiempo entre cada fertilización. En el cultivo de uchuva se utiliza biocarbón en una cantidad de 3,5 toneladas por hectárea. (Nates, 2014)

2.4 Materiales

2.4.1 Acero AISI 1020

El Acero AISI/SAE 1020 es un acero al carbono con bajo contenido de este, que puede ser utilizado en diversos estados como lo son: templado, cementado y revenido o en estado calibrado. Dado el porcentaje de carbono que contiene, y demás composición química como se muestra en la tabla 1, es ampliamente utilizado en la fabricación y producción de piezas estructurales o de maquinaria cuya resistencia no requiera mayores esfuerzos, como ejes, eslabones para cadenas, bujes cementados, piñones para transmisión, entre otros. Además, este material cuenta con una gran tenacidad y maleabilidad pues tiene un alto índice de soldabilidad. (Compañía General de Aceros S.A.)

Tabla 1

Composición Química del Acero AISI / SAE 1020

C	0,18 – 0,23
Mn	0,30 – 0,60
Si (máx)	0,15 – 0,30
P (máx)	0,04
S (máx)	0,05

Nota. La imagen evidencia las propiedades químicas con las que cuenta el Acero AISI / SAE

1020. Tomado de:

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo201>

[3Anexos.pdf](#)

2.4.2 Ladrillo Refractario

El ladrillo refractario es un material fabricado e ideado para ser resistente a altas temperaturas sin perder su forma, o estructura o composición. Estos se encuentran fabricados de materiales que por sus características permiten la resistencia y durabilidad del ladrillo al someterlo a temperaturas elevadas; un claro ejemplo de estos componentes son la arcilla, alúmina, magnesia, entre otros. Además de soportar un alto grado en temperaturas, estos materiales son aislantes, por lo cual, el principal uso del ladrillo refractario suele darse en aplicaciones para hornos industriales, quemadores, estufas, revestimiento de las cámaras de combustión, como es el caso del presente proyecto. Estos ladrillos se caracterizan por ser lisos, con colores marrones o blanquecinos, están compuestos por piezas de alta densidad, tiene una baja conductividad térmica. (Pérez, 2023)

2.4.3 Mortero refractario

Este elemento es la unión de materiales refractarios, principalmente sílice (Si O_2) al 55% máximo y alúmina (Al_2O_3) al 39% mínimo, cuya contextura suele ser espesa y sirve para unir ladrillos refractarios, fijándolos y evitando su separación o movimiento incluso al someterse a altas temperaturas. Los rangos de temperatura a los que puede someterse este compuesto rondan los 1.300 a 1600 °C. (C.E. FIRE. Industrial Insulation & Refractories)

2.4.4 Termocupla

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

La termocupla es un sensor que sirve para determinar la temperatura en que se encuentra un espacio, este suele tener aplicación en la producción industrial; también es común encontrarlos en electrodomésticos. Es importante elegir la termocupla adecuadamente puesto que, esta influye de forma directa en el resultado del proceso aumentando la efectividad de este. Existen diversos tipos de termocuplas, los cuales varían según las capacidades de resistencia a las temperaturas, la precisión en los cálculos, y los materiales con los cuales se encuentran fabricadas. (Automatización y Control Ingeniería S.A.S.)

3. Método, materiales y procedimiento

En este capítulo se realizará una descripción de la metodología que se implementó durante el desarrollo del proyecto de investigación, así como los insumos y materiales utilizados para la obtención del diseño del sistema para la generación de biocarbón como fertilizante utilizando los residuos orgánicos de la producción de cebolla junca.

3.1 Preparación del compost

Para la preparación del compost, se eligieron materiales que fuesen de fácil obtención en la finca Santa Mónica; tales como los residuos del proceso de pelanza de la cebolla junca y los frutos dañados o no comercializables, tierra, y materia fecal caprina y bovina.

3.1.1. Recolección de materia prima

La finca Santa Mónica cuenta con labores de ganadería. En la figura 5 se evidencia el establo presente en la finca, en el cual los animales usualmente se encuentran agrupados, razón por la cual, para la recolección de la materia fecal caprina y bovina, se tomaron las heces fecales del suelo de este establo.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Figura 4

Materia fecal caprina y bovina



Nota. La imagen representa el estado de los establos en los cuales se agrupan los ovejos y las reses que se encuentran en la finca Santa Mónica.

Por otra parte, como resultado del cultivo de cebolla junca, esta se debe seleccionar, limpiar y empaquetar para su comercialización. Este proceso se efectúa dentro de una bodega, en la cual se van acumulando los residuos. En la figura 6, se aprecia como estos residuos fueron recolectados y apilados para usarse en la preparación del compost.

Figura 5

Residuos de la pelanza de cebolla junca



Nota. La imagen representa los residuos de cebolla junca recolectados en la finca Santa Mónica del municipio de Berlín-Santander, luego del proceso de limpia y selección del producto final.

Finalmente, la tierra para la mezcla del compost fue recogida directamente de los cultivos presentes en la finca, ya que se encuentra limpia y libre de residuos de plástico o metales, lo que permite que cumpla a cabalidad su función al introducir múltiples microorganismos que juegan un papel primordial en la descomposición de los residuos orgánicos y en la formación del compost.

3.1.2 Proceso de mezclado

Una vez recopilada la materia prima, esta se trasladó a la ciudad de Bucaramanga para su mezclado. Las cantidades de cada compuesto se describen en la tabla 2.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Tabla 2

Elementos recolectados para la preparación del compost

ELEMENTO	CANTIDAD	UNIDAD
Tierra	7	Kg
Excremento de bovinos	7	Kg
Excremento de Caprinos	4	Kg
Residuos de cebolla junca	7	Kg
Agua	20	L

Nota. Los datos representan la materia prima recolectada para la preparación del compostaje.

Para la elaboración del compost, además de hacer uso de los materiales antes descritos, estos fueron triturados de forma manual para facilitar su descomposición, además de balancear los componentes y la humedad.

Para realizar el balance de los componentes se confirmó que el contenido de carbono y nitrógeno de cada componente se encuentre dentro o próximo del valor óptimo necesario para una correcta biodigestión. Dichos contenidos de carbono y nitrógeno se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Contenidos de Carbono y Nitrógeno

ELEMENTO	C/N
Residuos de cebolla junca	16,7
Excremento de caprinos	29
Excremento de bovinos	18
Tierra	11,5

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Nota. La imagen representa los contenidos de Carbono y Nitrógeno que deben tener cada uno de los materiales implementados para la preparación del compostaje, para que sean óptimos para la biodigestión. Tomado de:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10762/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf?seq> y

<http://caracoli.cdm.gov.co/cai/rhc/docs/RHC/Estudios/PROYECTOUIS2.pdf>

Dado a que los valores de C/N de la cebolla junca, excrementos de bovinos y de la tierra, son cercanos al valor ideal y que el valor de C/N de el excremento de caprinos se encuentra dentro del rango aceptable, no es necesario un balance de estos componentes, decidiendo así utilizar la misma cantidad de cada componente. Dado que la mayor cantidad de excremento de caprinos que se pudo recolectar fueron 4 kg, se decidió utilizar solo una parte de los demás componentes recolectados, dichas cantidades se evidencian en la tabla 4.

La cantidad de agua a usar fue dada por la relación 1:1 con la cantidad de excremento y residuos vegetales dentro de la biomasa.

Tabla 4

Cantidad y unidades de medida materiales Compost

COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD
Agua	15	L
Tierra	4	Kg
Residuo de cebolla junca	4	Kg
Excremento de bovinos	4	Kg
Excremento de caprinos	4	Kg

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Nota. En la tabla se encuentran representados las cantidades y sus respectivas unidades de medida de los materiales que se utilizaron para la preparación del compostaje como parte del presente proyecto.

3.2 Proceso de biodigestión

3.2.1 Prototipo del biodigestor

3.2.1.1 Diseño y elección de materiales. Para el diseño del biodigestor, se buscó construir un prototipo experimental y de bajo costo que se pudiese realizar para el desarrollo del proyecto de forma fácil y práctica.

Primero, calculamos el volumen que vamos a necesitar para realizar el proceso de biodigestion de acuerdo con los componentes recolectados como biomasa.

$$\text{Volumen de digestion} = \frac{(\text{Kg de biomasa} + \text{Kg de agua}) * \text{Tiempo de retencion}}{\text{Densidad de la mezcla}}$$

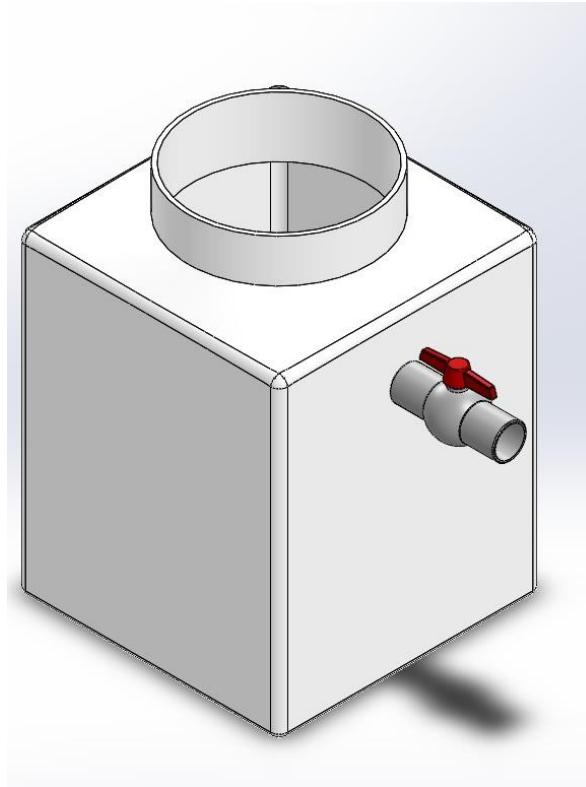
$$\text{Volumen de digestion} = \frac{(16 \text{ kg} + 15 \text{ kg}) * 100}{54 \text{ kg/L}}$$

$$\text{Volumen de digestion} = 57,41 \text{ L}$$

Conociendo el volumen requerido para el proceso de biodigestión, realizamos el modelo de un prototipo que se adapte a nuestras necesidades.

Figura 6

Modelo del biodigestor



Nota. Imagen del modelo realizado por los autores en SolidWorks, evidencia la necesidad de una tapa hermética para la entrada del tanque y una salida que permita la medición del biogás generado.

Con el modelo de la figura se procedió a la compra de materiales para su construcción, comenzando por el tanque, el cual se buscaba que fuese de paredes planas para su fácil perforación. En un almacén ubicado en el centro de la ciudad especializado en la venta de tanques. Después de conocer la disponibilidad de materiales, se seleccionó un tanque de 60 litros de polietileno de alta densidad. El material se seleccionó teniendo en cuenta los requerimientos y en base a la asesoría brindada por el vendedor.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Este tanque de la figura 9, seleccionado por su tamaño, facilita el ingreso y mezcla de la biomasa y por su cierre hermético permite una mayor efectividad al momento de contener el gas producido durante la biodigestión. También, al ser polietileno de alta densidad, no es propenso a la biodegradación, es resistente a la humedad, ideal para estar a la intemperie a temperaturas tanto altas como bajas. (Roca, 2005)

Figura 7

Bidón de plástico



Nota. La imagen representa el bidón de plástico implementado para el diseño del biodigestor.

El pasamuros que se implementó para permitir el ensamble de la válvula de PVC al tanque se muestra en la figura 10. Este permite el ensamble sin comprometer la integridad de la estructura. Asimismo, el pasamuros incluye sellos o empaques que garantiza una barrera hermética, evitando la entrada de contaminantes y la salida de los compuestos derivados de la biodigestión.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Figura 8

Pasamuros



Nota. Pasamuros implementado en el prototipo de biodigestor.

En la figura 11 se muestra una válvula de PVC, seleccionada para regular y controlar el flujo de los gases causados al interior del tanque como consecuencia de la biodigestión, pues permite que se modere el flujo, bien sea abriéndolo, cerrándolo completamente o colocándolo en posiciones intermedias para controlar un flujo específico.

Figura 9

Válvula de PVC



CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Nota. En la imagen se muestra una válvula de PVC, seleccionada para regular y controlar el flujo de los gases causados al interior del tanque como consecuencia de la biodigestión, pues permite que se modere el flujo, bien sea abriendo, cerrando el paso o colocarlo en posiciones intermedias para controlar un flujo específico.

Figura 10

Bomba de látex



Nota. La bomba de látex de la figura 12 se implementó para que por medio de esta se retenga y acumule el biogás y allí poder medir la cantidad obtenida. Para la instalación, se empalmó a la válvula haciendo uso de cinta aislante y teflón, para que no hubiese fuga del biogás ni paso de oxígeno hacía el interior.

3.2.1.2. Construcción del prototipo. Para la construcción del biodigestor, se realizó un corte en una de las caras laterales del tanque o bidón, para incrustar el pasamuros. Una vez colocado el pasamuros, este fue cubierto con teflón para anexar a él la válvula de PVC. Finalmente, se usó teflón y cinta aislante para ensamblar la bomba con la punta de la válvula como se observa en la figura 11.

Figura 11

Creación del biodigestor



Nota. La imagen evidencia el prototipo construido para que allí se efectúe el proceso de biodigestión.

3.2.2 Procedimiento biodigestivo

Una vez mezclados los componentes del compost, se selló el tanque para limitar el acceso de oxígeno y producir condiciones anaeróbicas. Dado que una de las finalidades del proceso de biodigestión es conseguir el compostaje y el biogás, para este último se instaló un globo de látex pegado con teflón y cinta aislante en la válvula de paso para obstruir el acceso de aire o la fuga del biogás generado y recopilarlo en el globo. Es menester precisar que el prototipo de biodigestor se mantuvo sellado herméticamente durante 90 días.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Durante el transcurso de este período, se estuvieron revisando constantemente las condiciones de la bomba de látex para poder evidenciar la producción de biogás. No obstante, este nunca se infló como se muestra en la figura 14, llegando a concluir que la producción del biogás no se obtuvo de forma satisfactoria. Sin embargo, al finalizar el proceso de biodigestión, si bien no se produjo el biogás, si se evidenció la producción del compost o bioabono.

Figura 12

Globo de látex para la recopilación del biogás



Nota. La imagen representa el globo colocado para la recolección del biogás. Como se evidencia en la imagen, este no se infló dado que no se obtuvo el biogás deseado durante el proceso.

3.3 Proceso de carbonización

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Aunado en lo anterior, es menester precisar que, para efectuar el proceso de carbonización, es necesario contar con algunos implementos, tales como el carbonizador, elementos de protección personal y principalmente la materia prima que se pretende carbonizar. En el caso del presente trabajo de investigación, se decidió optar por los residuos derivados del cultivo de cebolla junca; los cuales fueron adquiridos de la finca Santa Mónica, ubicada en el municipio de Berlín del departamento de Santander; en donde se dedican principalmente al cultivo de este alimento.

Una vez culminado la cosecha de la cebolla junca, se debe sacar para empezar a limpiarla, pelándola y quitándole las cascaras y clasificando su fruto para proceder a su comercialización. Como resultado de este proceso, queda un alto porcentaje de residuos orgánicos como las cascaras y los frutos dañados o en mal estado, los cuales no se encuentran aptos para su venta y distribución.

Figura 13

Biomasa



Nota. La imagen representa la biomasa obtenida de los residuos de selección, limpieza y clasificación de la cebolla junca.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Una vez recolectados todos estos residuos, se trasladaron hasta el laboratorio de Combustión ubicado en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la universidad, en donde se pasaron por la máquina trituradora (Ver figura 16) con la finalidad de que estos residuos disminuyeran su tamaño y se convirtieran en trozos pequeños de tal forma que sea posible introducirlos en los recipientes existentes en el laboratorio para poder ingresar al horno carbonizador; además es necesario emparejar el tamaño de los residuos para que al momento de calentar, este proceso se desarrolle de forma homogénea y simultánea en toda la materia prima, consiguiendo así mejores resultados.

Figura 14

Trituradora marca “Inal”



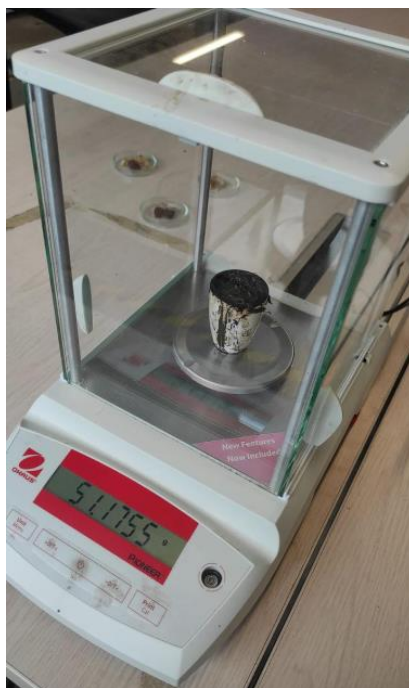
Nota. Se observa en la imagen la trituradora marca Inal en la cual fueron triturados los residuos de la cebolla para emparejar el tamaño de estos.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Habiéndose triturado los residuos de cebolla junca, se hizo uso de tres (3) crisoles para almacenar la biomasa triturada, distribuyéndolos en cantidades similares; no obstante, es necesario determinar el peso de la materia prima, por lo cual, la biomasa fue pesada en la balanza para determinar sus valores exactos.

Figura 15

Balanza marca "Pioneer PX244/E"



Nota. En la imagen se observa la balanza, en la cual se encuentra la materia prima al interior de un crisol para determinar la cantidad de biomasa triturada que someterá a carbonización.

Una vez preparado los implementos y la materia prima, se da inicio al proceso de carbonización; para esto, es necesario establecer la temperatura del horno, la cual para biomásas o madera se recomienda que oscile entre los 400°y 600°C en el lapso de 2 a 3 horas.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Para la programación de la mufla, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros que se modifican en el panel de control: La temperatura SV (SET VALUE) es la que se va a mantener durante el tiempo programado TS (TIME SET). Un dato primordial por saber es que el horno calienta a una velocidad de 5°C/min y se debe tener en cuenta para la configuración de la opción TP (TIME PROGRAM), la cual indica el tiempo que va a tomar el horno en llegar a la temperatura deseada. Una vez cumplido el TS, el horno se apaga, disminuyendo gradualmente la temperatura interior hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Figura 16

Mufla “Terrigeno Modelo D8”



Nota. La imagen muestra el horno quemador o mufla de marca Terrígeno modelo D8, usado para el proceso de carbonización de la biomasa, el cual se encuentra en el Laboratorio de Combustión de la Universidad Industrial de Santander.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Teniendo en cuenta el uso adecuado del horno, se establece un TP de 120 minutos y un TS de 30 minutos y empezamos a buscar la temperatura adecuada para que la cebolla quede como biocarbón.

Figura 17

Panel de control de la mufla



Nota. Se observa el tablero digital de la mufla, en el cual se pueden establecer las variables de temperatura y tiempo de quemado del horno.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Una vez alcanzada la temperatura máxima programada, el horno mantendrá una temperatura constante durante alrededor de 30 minutos. Culminado este tiempo, se debe abrir el horno, haciendo uso de los elementos de protección necesarios y teniendo en cuenta las medidas de seguridad, para sacar los crisoles del horno y situarlos en un lugar adecuado, preferiblemente encima del horno, para que la temperatura de los crisoles no afecte el entorno y ocasione daños a demás equipos o elementos. Seguido de esto, se vacían los crisoles y se deposita el biocarbón en una probeta de acrílico, en donde se deja que se nivele la temperatura con la del ambiente para poderlo almacenar en otro recipiente.

3.3.1 Primera prueba

Para dar inicio al proceso de carbonización, se preparó el horno quemador con las condiciones descritas en el ítem anterior. Se estableció una temperatura de 600°C con el TP de 120 minutos y un TS de 30 minutos. Seguido de esto, se insertó la biomasa en el interior del horno para efectuar el proceso. Como resultado, una vez transcurrido el tiempo establecido, se abrió el horno y se retiró la biomasa de su interior, ante lo cual se evidenció que esta se encontraba convertida en cenizas. De este hallazgo se pudo concluir que la temperatura establecida en el primer intento fue más alta de lo necesario, pues no se consiguió el producto deseado (biocarbón), sino se perdió la biomasa. pues al estar convertida en cenizas, no es posible usarla como biocarbón para el proceso de fertilización.

3.3.2 Segunda prueba

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Considerando los hallazgos anteriores y habiendo evidenciado que 600°C es una temperatura muy alta para carbonizar la cebolla junca, se realiza una segunda prueba, en la cual se programa la temperatura SV de 400°C, y manteniendo constantes el TP y TS. Finalizado el proceso, se retira el crisol y se evidencia que la biomasa ingresada inicialmente al horno quemador se había convertido en el biocarbón deseado, por lo que la temperatura y los tiempos establecidos fueron los adecuados para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Figura 18

Biocarbón



Nota. La imagen representa el biocarbón obtenido durante el proceso de carbonización efectuado en el laboratorio de la universidad como parte del proyecto de investigación en curso.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Tomando como base la fenología del tomate de río, el proceso de plantación y fertilización se dividió en cuatro (4) etapas:

3.4.1 Germinación y establecimiento

En esta etapa, se plantaron las semillas de tomate en una maceta grande, en donde se mezclaron en partes iguales de tierra de bosque y tierra del suelo de los cultivos existentes al interior de la finca Santa Mónica.

Esta etapa se caracteriza por el sembrado de la semilla hasta su germinación, lo cual puede tomar, de 8 a 10 días. Para el caso específico, desde la fecha de plantación hasta la germinación en donde se pudo evidenciar el crecimiento de la planta, trascurrieron 10 días.

Figura 20

Germinación



Nota. En la figura se muestra la etapa de germinación de las semillas de tomate de río grande sin presencia de abonos o fertilizantes bien sea químico o natural.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

3.4.2 Crecimiento vegetativo

Las semillas de tomate permanecieron en la maceta (ver figura 22) hasta su germinación, alcanzada esta etapa, las plantas fueron trasplantadas a tres (3) macetas diferentes de menor tamaño, en donde se colocaron en condiciones específicas cada una de ellas. Estas macetas tienen un diámetro de 15 cm y una capacidad de almacenar 480 gramos de tierra.

Dada la capacidad de las macetas y el porcentaje (20%) de compostaje requerido por maceta y la cantidad de carbón por hectárea de siembra ideal (20 toneladas por hectárea), cada maceta cuenta con la siguiente proporción:

La maceta A cuenta con 95 gr de compostaje, 475 gr de tierra del cultivo y 35 gr de biocarbón, aquí se pretende evidenciar el resultado del fertilizante natural creado luego de surtir los procesos de biodigestión y carbonización.

Figura 21

Compostaje y biocarbón



CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Nota. En la imagen se evidencia el compost y el carbón obtenido al culminar los procesos de biodigestión y carbonización.

En la maceta B y C se hizo uso de una mezcla entre cantidades iguales de tierra de bosque y tierra de cultivo, siendo esta una recomendación dada por cultivadores de huertos caseros de la zona.

En la maceta B se usaron 240 gr de tierra de bosque, 240 gr de tierra del cultivo y una cucharada de fertilizante industrial de marca triple 15 según la especificación del fabricante.

Figura 22

Fertilizante químico



Nota. En la imagen se vislumbra la cantidad de fertilizante industrial utilizado en la maceta B.

Y finalmente, la maceta C contiene 240 gr de tierra de bosque y 240 gr de tierra de cultivo, en esta, no se hizo uso de ningún tipo de fertilizante.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Figura 23

Tierra de bosque y de cultivo

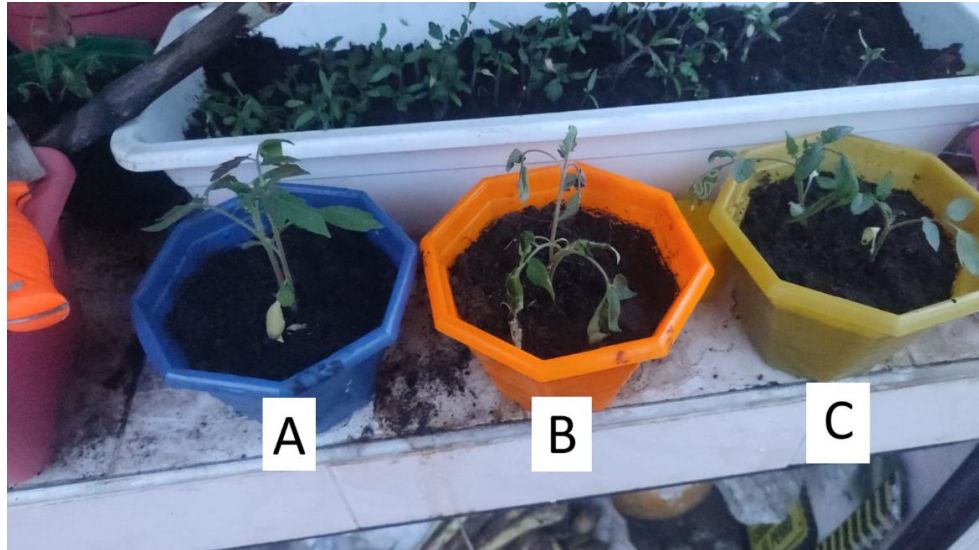


Nota. En la figura se observan las proporciones y cantidades de tierra de bosque y tierra de los cultivos de cebolla de la finca Santa Mónica, usadas en la maceta C.

En la etapa de crecimiento vegetativo se da inicio al desarrollo continuo de la planta en el cual aún no se logra vislumbrar el fruto, pues solo se evidencia la ramificación y el aumento de masa de los tejidos vegetativos. Aquí, es menester precisar que si bien se clasificaron las semillas en 3 macetas diferentes a las cuales se le variaron las condiciones del suelo, las condiciones atmosféricas se mantuvieron constantes para las tres durante el transcurso del proyecto.

Figura 24

Crecimiento vegetativo



Nota. En la imagen se muestran las plantas de tomate, luego de ser trasplantadas en macetas individuales, en la etapa de crecimiento vegetativo.

3.4.3 Floración

En esta etapa las plantas empiezan el proceso de reproducción, siendo esencial para la supervivencia y marcando el inicio de la formación de semillas y la continuación del ciclo de vida. Esta etapa suele llegar al cabo de 5 a 6 semanas desde su siembra, no obstante, esto dependerá de las condiciones particulares de cada cultivo.

Figura 25

Floración



Nota. En la imagen se observa la planta de tomate en la etapa de floración, con una flor creciendo.

Dado las condiciones especiales de cada una de las plantas, esta etapa llegó en diferentes momentos, tal y como se muestra a continuación

Tabla 5

Tiempo de floración

Planta	Tiempo en alcanzar la floración
A	60 días
B	90 días
C	No alcanzó la floración

Nota. En la tabla se observa el desarrollo de las plantas en lo referente a la etapa de floración. Allí se ve el tiempo que le tomo a cada una de ellas alcanzar la floración y que, en el caso de la maceta C, esta no logró culminar satisfactoriamente el proceso.

3.4.4 Fructificación

En esta etapa se produce el desarrollo y la maduración de los frutos. Aquí, se evidencia el crecimiento del tomate de río grande de color verde, y suele efectuarse alrededor de 20 días después de culminada la floración.

Tabla 6

Tiempo de fructificación

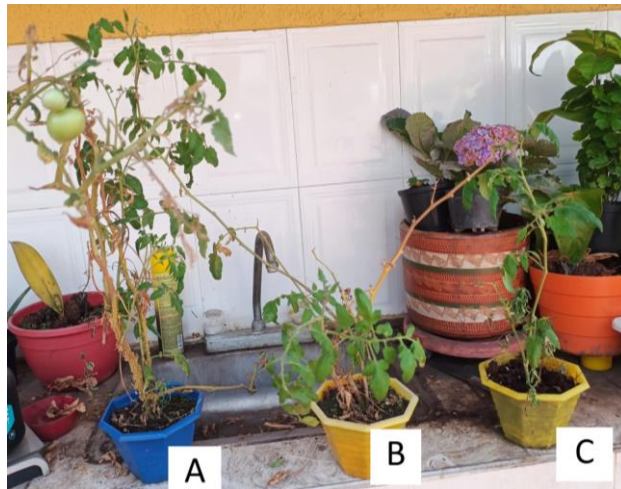
Planta	Tiempo en desarrollar fruto
A	25 días después de la floración
B	No desarrolló fruto
C	No desarrolló fruto

Nota. Aquí se evidencia el tiempo el desarrollo de cada una de las macetas en la etapa de fructificación, lográndose evidenciar que la maceta A, que contenía el fertilizante natural preparado, dio frutos 25 días después de la floración; mientras que las macetas B y C no alcanzaron esta etapa y no dieron frutos.

Al culminar el tiempo estimado de cultivo del tomate de río, se dan por finalizadas las pruebas, evidenciando que la maceta A, en la cual se mezcló la tierra junto con el fertilizante natural creado a base de biocarbón y bioabono, dio frutos al finalizar las pruebas. Contrario a esto, las macetas B y C no produjeron frutos durante el desarrollo de las pruebas.

Figura 26

Reproducción final de las plantas de tomate



Nota. En la imagen se vislumbra la reproducción final de las plantas de tomate de rio grande una vez culminadas las etapas de pruebas. Evidenciándose el crecimiento satisfactorio y la fructificación de la planta que contenía el fertilizante natural en comparación de las otras dos.

3.5 Hallazgos

3.5.1 Hallazgos de la preparación del compost

Una vez realizada la preparación del compost, y culminado este proceso, se evidenció que este proceso duró más tiempo del normal, por lo que, al estudiar las razones por las cuales esto pudo haber ocurrido, se evidenció que, si bien no es necesario, si es de ayuda el triturar la materia orgánica en pequeños trozos para acelerar el proceso de descomposición y mejorar su calidad al permitir mayor producción de microorganismos.

3.5.2 Hallazgos del proceso de biodigestión

Dentro de los objetivos del presente escrito se estableció la obtención del biogás en el proceso de biodigestión; no obstante, luego de efectuado el procedimiento, no fue posible recolectar el biogás. Esto debido a que el sistema seleccionado para la recolección del gas no fue eficiente, aunque este era el que más se acomodaba a nuestras posibilidades

Adicionalmente, debe considerarse que el proceso de biodigestión requiere de temperaturas adecuadas, alrededor de los 35-40°C, para que los microorganismos se proliferen. Sin embargo, este proceso se surtió en la finca Santa Mónica que se encuentra ubicada en el corregimiento de Berlín- Santander, y queda aledaño al paramo de Santurbán, en donde se mantienen temperaturas bajas. Puede concluirse que esto fue uno de los determinantes para que no se produjera una alta cantidad del biogás.

3.5.3 Hallazgos del proceso de carbonización

Para la producción de carbón vegetal mediante la carbonización, se debe considerar en primer lugar la materia prima que se busca carbonizar y con base en esto, determinar el margen en que deben encontrarse las temperaturas para la quema. La temperatura influye en las propiedades del carbón resultante; por lo cual, entre mayor sea la temperatura, mayor será el contenido de carbono obtenido en el producto final y viceversa.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Durante el primer intento de carbonización se estableció una temperatura de 600°C, la cual resultó ser superior a la requerida, llegando a convertir en cenizas los residuos carbonizados. En consecuencia, para las pruebas subsiguientes se estableció una temperatura inferior a un tiempo mayor, permitiendo que en el transcurso de dos (2) horas se asegure la carbonización completa a una temperatura de 400°C; cabe precisar que estos factores fueron resultado de las pruebas realizadas puntualmente para los residuos de cebolla junca, pues la temperatura adecuada puede variar según el tipo de material orgánico que se pretende carbonizar.

3.5.4 Hallazgos de la plantación y fertilización

En el proceso de plantación y fertilización se pusieron a prueba las semillas de tomate de río grande para cultivarlos en las mismas condiciones de temperatura, regado e iluminación. En cambio, las condiciones del suelo fueron modificadas: en la maceta A se puso a prueba el fertilizante natural derivado de los procesos de biodigestión y carbonización, en la maceta B se aplicó el fertilizante industrial, y finalmente en la maceta C se sembraron las semillas sin hacer uso de fertilizantes de ningún tipo.

Culminado la reproducción y desarrollo del tomate, se constató que, sí se obtuvieron los resultados deseados al momento de implementar el fertilizante natural, pues se surtieron todas las etapas (crecimiento vegetativo, floración, fructificación) de forma propicia; mientras que, en las demás macetas, en ocasiones no lograron ni siquiera desarrollarse en la etapa o lo hicieron en un mayor tiempo del esperado.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Esto, deja en evidencia las características del fertilizante natural, pues en el presente caso, este sirvió para aportar los nutrientes necesarios para el crecimiento adecuado de las plantas, así como corregir la deficiencia de los mismos y estimular su crecimiento, mejorando la producción en las etapas de floración y fructificación, manteniendo su resistencia a las enfermedades y optimizando la calidad de los cultivos; además, al ser un fertilizante natural, tiene menor impacto ambiental en comparación con los fertilizantes químicos o industriales, pues con este se contribuye a la prevención de la contaminación del agua y el suelo, y se fomentan estilos de cultivo más sostenibles.

Lo anterior logra constatarse y fundamentarse con base en los estudios realizados por otros académicos en donde se han obtenido resultados favorables y satisfactorios al implementar este tipo de fertilizante natural en diversos cultivos. Un claro ejemplo de este es el análisis realizado en la Universidad de la Salle sobre el Efecto de biocarbono y fertilizantes orgánicos en el desarrollo de plantas de morera (*Morus sp*), en donde se evidenció que el biocarbono junto a fertilizantes orgánicos en la morera y maíz influyó favorablemente en el desarrollo de las plantas, principalmente mejorando las condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo. (Mora, 2016)

Otro ejemplo a tener en cuenta es el análisis realizado en la Universidad de Cordoba sobre el efecto del biocarbono en el crecimiento y producción de un cultivo de trigo en condiciones de campo, en donde se evidencio que el biocarbono por si solo aumento de manera significativa la cantidad de biomasa de casi todas las fracciones de las plantas puestas a prueba. (Olmo, 2015)

4. Diseño del biodigestor y carbonizador

4.1. Biodigestor

Como se indicó en capítulos previos, para el cumplimiento de los objetivos propuestos en el curso del presente proyecto, se fabricó un prototipo de biodigestor, en el cual se insertó el compost y se sometió a condiciones específicas para la obtención de un producto rico en nutrientes para la producción de fertilizante natural y el biogás que puede ser usado como fuente de energía renovable. Sin embargo, durante la puesta a prueba del prototipo, no fue posible la obtención del biogás y, en consecuencia, no se pudo medir ni hacer uso de este, dado que las temperaturas del entorno no permitieron la proliferación de microorganismos y la producción de gas metano.

Sin poder realizar el cálculo del gas generado durante el proceso de biodigestión y debido a que el proyecto se encuentra focalizado a la finca Santa Mónica en Berlín – Santander y que allí el entorno no presenta las temperaturas adecuadas para que dicho proceso se surta de forma satisfactoria, y, aunque el diseño fuese posible, se descartó la realización de este pues no se considera necesario incurrir en gastos de diseño, producción y mantenimiento para este equipo con medidas y materiales específicos.

No obstante, a pesar de no poderse realizar pruebas que permitan el cálculo del gas y la correspondiente puesta a prueba de este como combustible para el horno carbonizador. Se continúa buscando satisfacer los correspondientes requerimientos para una correcta biodigestión para la producción de compost en la finca Santa Mónica.

Considerando la importancia de la producción del compost en el proyecto realizado, se buscó una alternativa, la cual consiste en la adquisición de un biodigestor prefabricado que se encuentre en el mercado, que sea de fácil adquisición y sea apto para el proceso de biodigestión anaeróbica.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Durante la búsqueda de dicho componente, se encontró que en el mercado se encuentra gran variedad de tanques y sus precios oscilan entre 3-5 SMLMV.

Pese a la gran variedad de tanques presentes en el mercado, muy pocos pueden cumplir con los requerimientos del presente proyecto. Uno de estos pocos tanques que, si cumplen con nuestros requerimientos, se encuentra en venta en Homecenter (Ver figura 29). Este tanque cuenta con una capacidad de 1650 litros, la necesaria para satisfacer la necesidad de la finca Santa Mónica. Además, cuenta con un correcto sellado hermético necesario para la correcta digestión anaerobia y es fabricado con polietileno de alta densidad, el cual resultó ser el material ideal para nuestro prototipo realizado con anterioridad.

Figura 27

Sistema séptico integrado



Nota. En la imagen se observa el sistema séptico que sirve como alternativa al biodigestor y que por medio de este se puede preparar el compost para la producción de fertilizante natural. Foto tomada de: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/204588/sistema-septico-integrado-1650-litros-rotoplast/>

4.2 Carbonizador tipo mufla

El carbonizador es clave para el proceso de producción de fertilizante orgánico derivado de los residuos de cebolla junca, pues por medio de este, se descompone la materia orgánica térmicamente, dejando como resultado de este proceso el biocarbón. Para llevar a cabo estos procesos, es necesario contar con condiciones térmicas y un dispositivo en donde se pueda limitar la presencia de oxígeno; por lo cual, si bien suele usarse un carbonizador, en muchas ocasiones este equipo no es el adecuado por sus altos costos y el alto índice de residuos y emisiones causados durante su uso, haciéndolo una alternativa poco amigable con el medio ambiente.

Es por esto que, durante el curso del proyecto, se evidenció que, para las necesidades puntuales de la carbonización de la biomasa, la mufla se adapta mejor a los objetivos planteados. Contrario a un carbonizador, con una mufla se puede realizar un control más preciso de la temperatura, permitiendo que se efectúen ajustes para adaptarlos a las necesidades del proceso y los materiales. Además, en comparación con los carbonizadores, las muflas suelen generar menos residuos y emisiones, obteniendo con eso un menor impacto ambiental y siendo una alternativa sostenible. Por otra parte, al implementar una mufla, se suele simplificar el proceso en comparación con los carbonizadores, lo que genera gran efectividad y se requiere una inversión significativamente menor en comparación con un carbonizador. En consecuencia, se implementó el aplicativo SolidWorks para diseñar a escala el horno carbonizador.

Para realizar el diseño, se inició con los datos de entrada que se conocen, para que la mufla quede según los requerimientos.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

$$T_c = 400^\circ C = 673 K \quad (1)$$

$$T_{ext} = 40^\circ C = 313 K \quad (2)$$

$$T_{amb} = 30^\circ C = 303 K \quad (3)$$

$$k_1 = 0,29 \frac{W}{m \cdot K} \quad (4)$$

$$k_2 = 51,9 \frac{W}{m \cdot K} \quad (5)$$

Donde:

T_c = Temperatura de la cámara de calentamiento

T_{ext} = Temperatura externa del acero que recubre la mufla

T_{amb} = Temperatura ambiente de Bucaramanga

k_1 = Conductividad térmica del ladrillo refractario

k_2 = Conductividad térmica del acero

Para iniciar con los cálculos, se asumió el grosor del ladrillo refractario, tomando un valor aproximado basándonos en los resultados obtenidos por los autores de la tesis “Diseño y construcción de un horno mufla para la realización de tratamientos térmicos en aceros”, de la Universidad Técnica del Norte – Ecuador. Por otro lado, el grosor del acero se obtuvo de los datos entregados por un fabricante.

$$x_1 = 0,06 m \quad (6)$$

$$x_2 = 0,00185 m \quad (7)$$

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Se sabe que cámara de calentamiento debe mantenerse a 400°C, dato que la termocupla detecta, pero las paredes se encuentran a una temperatura mayor, debido que se encuentran en contacto con las resistencias. Las resistencias están conectadas en serie y en total son 19 resistencias: 5 en cada pared lateral y 9 en la pared superior. Para hallar la temperatura a las que se encuentran las resistencias, utilizamos las ecuaciones de transferencia de calor (8) y (9):

$$Q_{resistencias} = \frac{T_{cámara} - T_{amb}}{R_{total}} \quad (8)$$

$$R_T = \frac{e_{ladrillo}}{\lambda_{ladrillo}} + \frac{e_{acero}}{\lambda_{acero}} \quad (9)$$

Para este caso:

$$e_{lad} = x_1$$

$$\lambda_{lad} = k_1$$

$$e_{acero} = x_2$$

$$\lambda_{acero} = k_2$$

Resolviendo las ecuaciones (8) y (9) con los anteriores datos, obtenemos:

$$Q_{resistencias} = 1788 [W] = Potencia \quad (10)$$

La potencia que disipan las resistencias es aproximadamente 1,8 KW. Se tomó 3 KW para la potencia total requerida, siendo también el consumo que tendría cada hora, necesario para los cálculos de los costos del proyecto.

Obteniendo la potencia generada, y utilizando las ecuaciones (11), (12) y (13), se obtuvo la temperatura a la cual deben estar las resistencias para mantener la cámara a la temperatura deseada.

$$P = V * I \quad (11)$$

$$P = I^2 * R \quad (12)$$

$$P = h_{aire} * A * (T_{resistencias} - T_{cámara}) \quad (13)$$

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Donde:

$$h_{aire} = 300 \frac{W}{m^2 \cdot K} \rightarrow \text{Coeficiente de transferencia de calor del aire}$$

$$A = \pi * d * L * 19 \rightarrow \text{Se multiplica por 19 que es el número de resistencias}$$

$$d = 0,003 \text{ m} \rightarrow \text{Diámetro del Nicromo (material de la resistencia)}$$

$$L = 1,6483 \text{ m} \rightarrow \text{Longitud de arco de cada resistencia}$$

Reemplazando las anteriores datos en las ecuaciones (11), (12) y (13), obtenemos:

$$T_{resistencias} = 693,2 \text{ K} = 420,2^\circ \text{C}$$

- **Pérdidas de las paredes**

Las siguientes medidas enumeradas con el subíndice 1 y 2, corresponden a las medidas de las caras internas de las paredes del ladrillo y del acero, respectivamente.

$$alto_1 = 0.25$$

$$ancho_1 = 0.5$$

$$profundo_1 = 0.44$$

$$A_1 = 2 * (alto_1 * ancho_1) + 2 * (profundo_1 * ancho_1) + 2 * (alto_1 * profundo_1)$$

$$alto_2 = 0.25 + (x_1 * 2)$$

$$ancho_2 = 0.5 + (x_1 * 2)$$

$$profundo_2 = 0.44 + (x_1 * 2)$$

$$A_2 = 2 * (alto_2 * ancho_2) + 2 * (profundo_2 * ancho_2) + 2 * (alto_2 * profundo_2)$$

Con el valor de las áreas de las paredes, se procede a calcular la potencia disipada en las paredes del horno.

$$Q = \frac{T_{resistencias} - T_{amb}}{\frac{x_1}{k_1 * A_1} + \frac{x_2}{k_2 * A_2}} \quad (14)$$

$$Q_{paredes} = 1672 \text{ [W]}$$

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Para hallar la temperatura intermedia entre las paredes, tenemos que: $\Delta T_1 = Q * R_1$ y $\Delta T_2 = Q * R_2$, donde ΔT_1 y ΔT_2 es la temperatura de la pared externa de la capa de ladrillo y de acero, respectivamente y $R = \frac{x}{(k*A)}$. Dadas las anteriores ecuaciones, tenemos:

$$\Delta T_1 = 380,2^\circ C$$

$$\Delta T_2 = 0,38^\circ C$$

Por lo tanto:

$T_0 = 420^\circ C \rightarrow$ Temperatura en las caras en contacto con las resistencias

$T_1 = 39,8^\circ C \rightarrow$ Temperatura en las caras exteriores del ladrillo refractario

$T_2 = 39,42^\circ C \rightarrow$ Temperatura en la cara exterior de la mufla (contacto con el exterior)

- **Pérdidas por radiación**

$$Q_{radiación} = \sigma(T_{ext}^4 - T_{amb}^4) \quad (15)$$

$$\sigma = 5,67 * 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right] \rightarrow \text{Constante Stefan-Boltzmann}$$

$$Q_{pr} = 53,03 [W]$$

- **Pérdidas por entrada y salida (orificios)**

$$Q_{flujo} = \dot{m} * C_p * \Delta T_{flujo} * 1000 \quad (16)$$

$$C_{p \text{ aire}} = 1,005 \frac{kJ}{kg * K}$$

Para calcular el flujo másico, necesitamos:

$$\dot{m} = \rho * A_{orificio} * V_{el} \quad (17)$$

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

$$\rho = 1,2754 \frac{kg}{m^3}$$
$$A_{orificio} = \pi * 0,015^2$$
$$V_{el} = 3,5 \frac{m}{s}$$

$$\dot{m} = 0,003155 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Tenemos:

$$Q_{flujo} = 1173 [W]$$

Figura 28

Anemómetro térmico WK026



Nota. En la imagen se encuentra el anemómetro del laboratorio utilizado para medir la velocidad del aire a la entrada y salida del horno.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

- **Pérdidas por factor de forma**

Para calcular estas pérdidas, tenemos bordes iguales que se dividen de la siguiente manera: 4 bordes en las secciones laterales (que van desde la parte frontal hacia la parte posterior), 4 bordes en las secciones frontal y trasera (que van de izquierda a derecha) y 4 bordes en las secciones frontal y trasera (que van de la zona superior a la inferior). Además, tenemos 4 esquinas iguales.

Para bordes de dos paredes adyacentes de igual espesor, tenemos: $S_n = 0,54 * w$, donde w es la longitud de la cara menos el dos veces el grosor de la pared. Las distancias de cada uno de los bordes son: $w_1 = 0,44 \text{ m}$, $w_2 = 0,54 \text{ m}$, $w_3 = 0,27 \text{ m}$.

Para esquinas de tres paredes de igual espesor: $S = 0,15 * L$, donde L es el grosor de la pared. Para este caso, el $L = 0,06 \text{ m}$.

Teniendo estas ecuaciones, resolvemos y tenemos que:

$$S_{total} = S_1 + S_2 + S_3 + S_{esq} \quad (18)$$

$$S_{total} = 0,684$$

Ahora, se reemplaza S_{total} en la siguiente ecuación, donde se determina las pérdidas por favor de forma:

$$Q = k_1 * S_{total} (T_{resistencias} - T_{amb}) \quad (19)$$

$$Q_{ff} = 77,4 \text{ [W]}$$

- **Calor total perdido**

$$Q_{total \text{ pérdidas}} = Q_{paredes} + Q_{radiación} + Q_{flujo} + Q_{ff}$$

$$Q_{total} = 2976 \text{ [W]}$$

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

- **Tiempo de calentamiento**

$$t_{cal} = \frac{(masa_{lad} * C_p * (T_{resistencias} - T_{amb}))}{\frac{Q_{total} - Q_{resistencias}}{1000}}$$

Donde: $masa_{lad} = 11,06 \text{ kg}$. Se divide en 1000 para convertir de W a kJ/s.

$$t_{cal} = 3558 \text{ s} = 59,29 \text{ min}$$

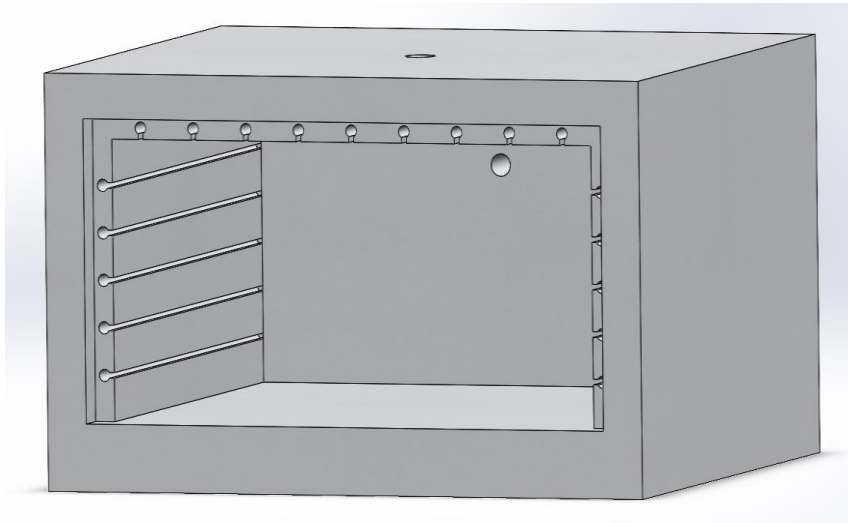
CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Teniendo en cuenta el tiempo que tarda en llegar a la temperatura deseada, tenemos que la mufla aumenta de 30°C a 400°C en aproximadamente 60min, es decir, la mufla calienta en un promedio de 6,25°C/min.

En el diseño, se hizo uso del software SolidWorks para realizar el modelado 3D. Al interior de la estructura, se encuentra la cámara de calentamiento, que está diseñada con ladrillo refractario aislante grado 26, que funciona como aislante térmico y tiene baja conductividad térmica. Asimismo, cuenta con mayor resistencia a los cambios bruscos de temperatura sin presentar daño o deterioro en su estructura. En la cámara se colocan los crisoles, que contienen la biomasa que se pretende procesar para convertir en biocarbón.

Figura 29

Cámara de calentamiento



Nota. La imagen representa el diseño a detalle de la cámara de calentamiento de la mufla con una capacidad de 60 litros.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Para que la cámara de calentamiento pueda cumplir su función, en ella se incorporará un elemento calefactor. En la mufla se hará uso de resistencias eléctricas en espiral de la marca Kanthal, las cuales se encuentran compuestas por una aleación ferrítica de hierro-cromo-aluminio (FeCrAl), que se caracteriza por su alta resistividad y buena resistencia a la oxidación, pudiéndose usar en temperaturas de hasta 1400°C. Al interior de la mufla se instalarán 19 resistencias, ubicando 5 resistencias en cada cara lateral y 9 resistencias en la cara superior.

Considerando que, para llevar a cabo satisfactoriamente el proceso de carbonización de los residuos de cebolla junta, se requiere una temperatura constante de alrededor de 400°C, se implementó un controlador PID, el cual recibe señales del termopar sobre la temperatura al interior de la mufla. En consecuencia, el horno será programado automáticamente para calentar a 400°C con una tolerancia del 2,5%. En ese caso, cuando el horno sobrepase la tolerancia establecida, este se apagará automáticamente y cuando la temperatura disminuya de los valores preestablecidos, el horno se volverá a encender para mantener una temperatura constante.

Para el proceso de automatización del controlador, se hizo uso de un Arduino Uno, programado con un código en lenguaje C++ (ver apéndice A), para mantener la temperatura entre 390°C y 410°C (encendiendo y apagando el horno respectivamente) y para apagar completamente la mufla transcurridos los 150 minutos del proceso. Para reiniciar el ciclo, es necesario situar el switch en modo OFF y luego nuevamente en modo ON.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

La mufla cuenta con un termopar, encargado de monitorear la temperatura al interior del horno. Para lo cual, se implementó una termocupla tipo K, compuesta principalmente por cromo y aluminio, metales que sirven como conductores; ubicada en el medio de la cara trasera de la cámara de combustión, pues la termocupla tipo K permite medir temperaturas de -200°C a 1372°C .

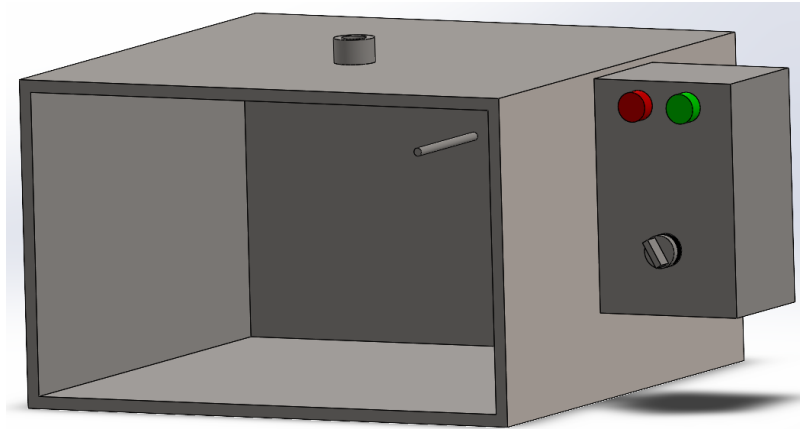
La estructura exterior o carcasa de la mufla, se planteó para que su principal componente sea el acero AISI 1020 Cold Role (CR). En un lateral, se ubicó el panel de control, que está contenido interiormente por el cableado, un Arduino, un amplificador de instrumentación MAX31855, un relé de estado sólido SSR-25DA y la fuente de alimentación. En la cara exterior, se encuentran: un switch ON/OFF y dos leds, verde y rojo, que indican si la mufla se encuentra en funcionamiento o se encuentra apagada, respectivamente.

El Arduino se encuentra conectado, por un lado, al amplificador MAX31855, el cual, a su vez, está conectado a la termocupla. La función del amplificador es la entrega de lecturas más precisas de temperatura al Arduino. Por otra parte, el Arduino se conecta al relé, el cual enciende y apaga la fuente de poder que energiza las resistencias, manteniendo la temperatura requerida al interior.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Figura 30

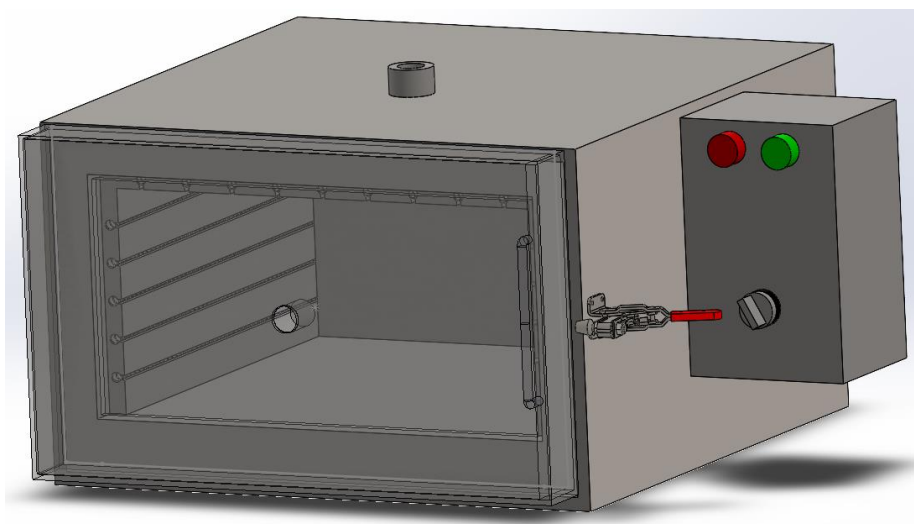
Carcasa Externa



Nota. La termocupla tipo K se ubica en una posición central en la cara trasera de la estructura, empotrada en la carcasa metálica.

Figura 31

Diseño final de la mufla



CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Nota. En la imagen se observa el diseño final de la mufla, con una capacidad de 60 litros, con 19 resistencias ubicadas de forma estratégica para que la temperatura irradie de forma uniforme y un sistema eléctrico para el encendido y apagado de la mufla.

Se realizaron planos de cada componente con sus medidas para facilitar la construcción del horno (ver apéndice B).

5. Viabilidad del proyecto y análisis económico

5.1 Costos de la mufla

Para determinar la viabilidad de la fabricación del proyecto, es necesario establecer los costos de fabricación de la mufla, para lo cual se relacionarán los ítems subsiguientes. Es menester precisar que estos valores son aproximados y para su estipulación se toman como base los valores del mercado al momento de la elaboración del proyecto.

5.1.1 Elementos de fabricación

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Tabla 7

Materia prima e insumos

HORNO MUFLA			
ELEMENTOS DE FABRICACIÓN			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Lámina de acero CR 1,25x2,44 m	2	\$268.800	\$537.600
Ladrillo refractario 24x12x6 cm	70	\$2.900	\$203.000
Mortero refractario	1	\$58.000	\$58.000
Termocupla tipo K	1	\$13.000	\$13.000
LED	2	\$6.000	\$12.000
Switch ON/OFF	1	\$8.000	\$8.000
Arduino UNO	1	\$47.600	\$47.600
Amplificador MAX31855	1	\$30.000	\$30.000
Cableado electrónico	2	\$10.000	\$20.000
Cableado 110V	1	\$65.000	\$65.000
Manija	1	\$25.000	\$25.000
Abrazadera de sujeción	1	\$27.700	\$27.700
Alambre de resistencia	1	\$124.000	\$124.000
Fuente de alimentación	1	\$95.700	\$95.700
Pintura electrostatica (galón)	¼	\$65.000	\$65.000
Bisagra	2	\$12.000	\$24.000
TOTAL			\$1.355.600

5.1.2 Licencias

Para el desarrollo del proyecto se hizo uso de aplicativos y recursos electrónicos, los cuales requieren de una licencia para poder hacer uso de estos. El diseño a detalle de la mufla, requirió el uso de la licencia de SolidWorks, que permite el diseño de partes y estructuras conforme las necesidades y parámetros específicos de cada componente.

Tabla 8

Costo de licencias

LICENCIAS			
DESCRIPCIÓN	MESES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
SolidWorks	6	\$300.000	\$1.800.000
Office	6	\$200.000	\$1.200.000
TOTAL			\$3.000.000

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

5.1.3 Mano de obra

Una vez efectuado el diseño en el aplicativo SolidWorks y teniendo conocimiento de los elementos de fabricación de la mufla, es necesario considerar la construcción del horno y los diversos factores y personal que tuvieron incidencia en la misma. Para esto, se tuvo en cuenta los costos aproximados de la mano de obra de las diferentes etapas del ensamblaje.

Tabla 9

Costos de mano de obra de la mufla

MANO DE OBRA - HORNO MUFLA			
DESCRIPCION	HORAS	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Soldadura	2	\$10.000	\$20.000
Montaje completo	8	\$8.000	\$64.000
Eléctrica y electrónica	8	\$12.000	\$96.000
Asesoría carbonización	4	\$20.000	\$80.000
Diseño	16	\$15.000	\$240.000
TOTAL			\$500.000

5.1.4 Elementos adicionales

Además de los gastos anteriormente descritos, es necesario considerar que, para el uso adecuado y seguro de la mufla, se debe contar con elementos de bioseguridad como los que se relacionan a continuación.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Tabla 10

Gastos adicionales

HORNO MUFLA			
ELEMENTOS ADICIONALES			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Guantes	1	\$124.600	\$124.600
Crisol	16	\$22.500	\$360.000
Pinza para crisol	1	\$48.600	\$48.600
TOTAL			\$533.200

5.2 Consumo energético

Además de los costos de la máquina en relación con su diseño, fabricación, uso y mano de obra, se relacionará a continuación el consumo energético que representa el uso de la mufla para la finca Santa Mónica en el corregimiento de Berlín, teniendo en cuenta que los valores del kWh son los establecidos para la zona rural de dicho territorio y el cálculo del consumo se realizó de forma trimestral.

Tabla 11

Consumo energético de la mufla

CONSUMO ELECTRICIDAD (TRIMESTRAL) - HORNO MUFLA					
CONSUMO	VALOR HORA	HORAS DIARIAS	VALOR TOTAL DIARIO	DIAS	TOTAL (TRIMESTRAL)
3 [kWh]	\$430,88	5	\$6.463,20	65	\$420.108

La cantidad de días de trabajo están determinados por la cantidad de biocarbón a utilizar por hectárea, esta cantidad estará dada tomando de base las 3,5 toneladas por hectárea de biocarbón utilizadas en el cultivo de uchuvas y el área total del cultivo de cebolla a trabajar (480 metros cuadrados).

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

5.3 Costos totales

Finalmente, considerando todos los gastos descritos durante el desarrollo del presente capítulo, se plantea en la siguiente tabla los costos totales de la fabricación de fertilizante natural. Es necesario aclarar que aquí, se relacionan los gastos del proceso de carbonización, incluyendo la fabricación de la mufla que sirve para carbonizar los residuos de cebolla junca; asimismo, para el proceso de biodigestión se observó que por las condiciones ambientales resulta difícil la creación de un biodigestor para obtener biogás y compost; por lo cual, se relaciona el valor de un tanque séptico que se recomienda implementar para la mezcla y preparación del compost, pues cuenta con la capacidad de almacenamiento requerida y además, tiene un cerrado hermético para obstruir o limitar el paso de oxígeno y mantener condiciones anaeróbicas.

Tabla 12

Costos totales

PRECIO TOTAL	
HORNO Y BIODIGESTOR	
DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL
Elementos de fabricación	\$1.355.600
Elementos adicionales	\$533.200
Licencias	\$3.000.000
Mano de obra	\$500.000
Tanque séptico	\$3.653.900
TOTAL	\$9.042.700

5.5 Viabilidad del proyecto

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Para determinar la viabilidad del proyecto se debe realizar un estudio costo-beneficio; para esto, se realizará un análisis comparativo de los gastos de fertilización por el método tradicional (industrial) y se comparará con los gastos totales de la producción de fertilizante natural mediante procesos de carbonización y biodigestión.

5.5.1 Gastos de la fertilización industrial

En la siguiente tabla se describe la cantidad de abono, fertilizante industrial y los costos de transporte en que se incurre para el cultivo de cebolla junca en la finca Santa Mónica; dichos valores son los utilizados para un fragmento de 80 x 6 metros o de 480 m² en un lapso de tres meses.

Tabla 13

Costos de la fertilización industrial

GASTOS FERTILIZACIÓN TRADICIONAL			
ITEM	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Gallinaza (Bulto)	40	\$10.000	\$400.000
Flete (Bulto)	40	\$6.000	\$240.000
Fertilizante industrial	3	\$60.000	\$180.000
TOTAL POR COSECHA			\$820.000

Considerando los valores establecidos en la tabla 9, en donde se describen los costos totales de la producción de fertilizante natural a partir de procesos de biodigestión y carbonización, y los costos de la fertilización industrial tradicional (Tabla 10); se realizó una proyección a largo plazo en donde se colocaron algunas variables que se describirán a continuación

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

En la columna del proyecto (fertilizante natural) se establece una inversión inicial de \$9.042.700 con la cual se adquieren todos los equipos necesarios para llevar a cabo los procesos de producción del fertilizante como la mufla, el tanque séptico, los implementos de seguridad, entre otros. En este punto, es importante precisar que con este método no es necesario realizar compras adicionales, pues al tratarse de un proceso orgánico, la materia prima del fertilizante consta de excremento de ganado bovino y caprino, residuos de cebolla junca, tierra y agua; los cuales se encuentran en la finca Santa Mónica y no generan gasto alguno.

Sin embargo, para efectuar la carbonización es necesario hacer uso de la mufla, lo que conlleva un consumo energético como se describe en la tabla 8, este consumo se encuentra calculado de forma trimestral, por lo cual, en un año se consumen alrededor de \$1.680.432 por concepto de energía. El consumo energético sería el único gasto en que se incurriría año tras año en el proceso de producción de fertilizante natural.

En relación con el fertilizante industrial, este tiene un costo trimestral de \$820.000, y anual de \$3.280.000, por lo que, cada año se debe realizar un gasto de alrededor de tres millones de pesos para hacer uso de fertilizantes químicos en el cultivo de la finca Santa Mónica.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Tabla 14

Comparación del fertilizante natural e industrial

PROYECCIÓN A LARGO PLAZO			
AÑO	PROYECTO	TRADICIONAL	GANANCIA
	INVERSIÓN		
0	\$9.042.700	\$0	-\$9.042.700
1	\$10.723.132	\$3.280.000	-\$7.443.132
2	\$12.403.564	\$6.560.000	-\$5.843.564
3	\$14.083.996	\$9.840.000	-\$4.243.996
4	\$15.764.428	\$13.120.000	-\$2.644.428
5	\$17.444.860	\$16.400.000	-\$1.044.860
6	\$19.125.292	\$19.680.000	\$554.708
7	\$20.805.724	\$22.960.000	\$2.154.276
8	\$22.486.156	\$26.240.000	\$3.753.844

En conclusión, los gastos en que se incurre para fertilizar la tierra de manera natural, si bien requieren de una inversión considerable, a largo plazo, termina siendo más rentable pues la materia prima se encuentra a la mano y no es necesario pagar por ella. Además de que es una alternativa sostenible, que permite el aprovechamiento de los residuos y disminuye el riesgo de contaminación en el agua y en los suelos, generando menor impacto ambiental.

6. Conclusiones

- El prototipo de biodigestor construido evidenció resultados tanto positivos como negativos, obteniendo un compost en buenas condiciones, pero en un tiempo mayor al esperado, debido que no alcanzó la temperatura óptima, como consecuencia de que este prototipo no fue cerrado herméticamente en su totalidad de la manera adecuada, siendo esta también la causa de no poderse tomar la medida del gas producido durante el proceso. Con un adecuado cierre hermético y una temperatura adecuada, se obtendrían mejores resultados.

- El proceso de carbonización realizado en uno de los laboratorios de la Universidad Industrial de Santander brindó aprendizaje y conocimientos prácticos a los estudiantes que realizaron este proyecto, conocimientos que fueron aplicados durante el diseño a detalle del carbonizador.

- El uso de la cebolla y la materia fecal de caprinos y bovinos como biocarbón y fertilizante natural, es una excelente y eficaz alternativa, evidenciándose en la comparación con su contraparte, los fertilizantes industriales, los cuales fertilizaron una planta de tomate que floreció mucho más tarde en comparación con la planta fertilizada a partir del biocarbón y fertilizante natural obtenido en el proyecto.

-A pesar de no poder realizar el cálculo exacto del gas metano obtenido por el biodigestor, se buscó una alternativa para la biodigestión a realizar en la finca Santa Mónica. La decisión de recomendar la compra en el mercado del biodigestor y la realización del diseño a detalle del carbonizador de forma independiente, demostró la adaptabilidad y compromiso con el logro de los objetivos por parte de los estudiantes que realizaron este proyecto.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

- La implementación y construcción del carbonizador en la finca Santa Mónica, supondría una inversión que generaría ganancias solo a partir del quinto año de haber sido implementada, haciendo de este un proyecto viable y de grandes beneficios económicos.

7. Referencias bibliográficas

- Aquae Fundación. (2021). Descubre todos los detalles acerca del biodigestor. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/biodigestor/>
- Arellano, M., Nicasio, D., y Ruiz, T. (2017, diciembre). Síntesis fisicoquímica de carbón activado a partir de residuos ácidos. *Jóvenes en la ciencia*. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2039/1532>
- Barrenzuela´-Unda, S., Rizzo-Muñiz, J., Añazco, H. (2022, mayo). Efecto del abono orgánico con biocarbón sobre las características morfológicas de mazorca de Theobroma cacao CCN51. *Ciencia y Agricultura Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC)*, volumen 19 (número 2), p. 1-12. <https://www.redalyc.org/journal/5600/560073487001/html/>
- Castillo, A. Y., Monteagudo, Y. J. P., Jiménez, B. R., y Patiño V. C. D. (2021). Propuesta de diseño de un biodigestor industrial de cachaza para la generación de energía eléctrica. *Revista Universidad y Sociedad*. Volumen 13 (Número 5), p. 74-80. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2212/2186>
- Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos Económicos de ICE*, 83, 117-140. <https://revistasice.com/index.php/CICE/article/view/6036/6036>
- Compañía General de Aceros. SAE 1020 Y SAE 1045: Aceros ingeniería al carbono. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibarido2013Anexos.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2001). Primer censo del cultivo de cebolla larga. Boyacá: DANE.

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., Etchevers, J. (2016, septiembre). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, volumen 34 (Número 3), p. 367-379.
<https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/issue/view/15/5>
- Fernández J. (2007). Energía de la biomasa. Energías renovables para todos.
<https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2007/04/Cuadernos-energias-renovables-para-todos-biomasa-fenercom.pdf>
- González Salcedo, L y Olaya Arboleda, Y. (2012). Fundamentos para el diseño de Biodigestores. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10762/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf?seq>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina. (2021). Biodigestores, los residuos como generadores de energía.
<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/accion/biodigestores>
- Ministerio de Medio Ambiente de Chile. (2021). Biodigestión: el proceso biológico que convierte los residuos orgánicos en energía limpia. Acuerdo de Cooperación Ambiental Canadá – Chile. Publicación: <https://acuerdochilecanada.mma.gob.cl/biodigestion-el-proceso-biologico-que-convierte-los-residuos-organicos-en-energia-limpia/>
- Mora, S. (2016). *Efecto de biocarbón y fertilizantes orgánicos en el desarrollo de las plantas de morera (Morus sp) en fase de vivero bajo condiciones de suelos ácidos*. (Tesis de maestría). Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1006&context=maest_agrociencias

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

- Nates, E. (2014). *Evaluación del efecto de biochar en el suelo y la calidad de los frutos en un cultivo de uchuva (Physalis peruviana L.)*. (Tesis de pregrado), Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/17900/NatesOcampoEvelynM aria2014.pdf?sequence=1>
- Olmo, M. (2015). *Efecto del biocarbón sobre el crecimiento y producción de un cultivo de trigo en condiciones de campo*. (Tesis de maestría). Universidad de Córdoba. Córdoba, España.
<https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/12795/Manuel%20Olmo%20Prieto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2013). Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería. Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. <https://www.fao.org/3/i3437s/i3437s.pdf>
- Pérez, F. (2023), ¿Qué son los ladrillos refractarios y para qué sirven en construcción? Cementos Torices. <https://cementostorices.com/blog/construccion/ladrillos-refractarios/#:~:text=Los%20ladrillos%20refractarios%20son%20un,sin%20deformarse%20o%20descomponerse>.
- Quesada, K. J. (2012). La carbonización de residuos biomásicos: una exploración con perspectivas emocionantes. *Revista Tecnología en Marcha*, volumen 25 (Número 5), p. 14-21.
https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/465/393
- Roca, E. (2005). *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad PEAD*. (Tesis de pregrado). Universidad San Carlos de Guatemala. México.
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0639_Q.pdf

CARBONIZACIÓN DE RECURSOS ORGÁNICOS PARA FERTILIZANTES

Rueda, D. (2021, 28 enero). Residuos Orgánicos. encolombia.com.
<https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/residuos-organicos/>

Saénez, M, y Sarmiento, D. (2016). Producción de biogás a través de un sistema biodigestor utilizando desechos orgánicos recolectados en las plazas de mercado de la ciudad de Tunja. (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás. Tunja, Colombia.
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33268/Trabajo%20principal..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Solano, O. (2018). Estudio del potencial de la producción de biogás a partir de la digestión anaeróbica de estiércol. (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás. Bucaramanga, Colombia.
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13169/2018oscarsolano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vega, C. (2017). Problemas ambientales y de salud derivados del uso de fertilizantes nitrogenados. (Trabajo de Pregrado). Universidad Complutense. Madrid, España.
<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/CRISTINA%20VEGA%20OLIVA.pdf>

Vernero, M. (2011). Manual de biogás. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>