



*Características físicas de residuos sólidos y proceso energéticos para la elaboración de biochar de cultivo de granadilla (*passiflora ligularis*) para la sostenibilidad ambiental*

*Physical characteristics of solid waste and energy process for the production of biochar from passion fruit (*Passiflora ligularis*) cultivation for environmental sustainability*

*Características físicas dos resíduos sólidos e processo energético para a produção de biochar a partir da cultura do maracujazeiro (*Passiflora ligularis*) visando a sustentabilidade ambiental*

Paul Marcelo Tacle Humanante ^I
ptacle@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7850-6146>

Alfonso Leonel Suarez Tapia ^{II}
alfonso.suarez@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4342-9953>

Cristian Santiago Tapia Ramírez ^{III}
cristians.tapia@epoch.edu.ec
<http://orcid.org/0000-0003-2104-5972>

Jean Carlos Ruiz Hernández ^{IV}
jean.ruiz@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7801-5566>

Correspondencia: ptacle@epoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 25 de abril de 2025 * **Aceptado:** 19 de mayo de 2025 * **Publicado:** 12 de junio de 2025

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Espoch), Facultad de Recursos Naturales, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Espoch), Facultad de Recursos Naturales, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Espoch), Facultad de Recursos Naturales, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Espoch), Facultad de Recursos Naturales, Ecuador.

Resumen

El objetivo de este trabajo de investigación es cuantificar y analizar los residuos sólidos orgánicos para la elaboración de biochar. La metodología siguió la norma NTE INEN 220 para la obtención de muestras, formando una pila de compostaje con los residuos. Los resultados mostraron que los residuos de granadilla tienen características físicas y poder calórico adecuados para su uso como biomasa para la producción de biochar. Se desarrolló un plan de manejo de RSO que incluye gestión, aprovechamiento y capacitación ambiental. Este trabajo coadyuva al proyecto de investigación un modelo de ecología industrial en la estación experimental Tunshi para la valorización de residuos agrícolas en la producción de hongos comestibles.

Palabras clave: biomasa; sustentabilidad; poder calórico.

Abstract

The objective of this research project is to quantify and analyze organic solid waste for biochar production. The methodology followed the NTE INEN 220 standard for sample collection, and the waste was composted. The results showed that the passion fruit waste has adequate physical characteristics and calorific value for use as biomass for biochar production. A solid waste management plan was developed that includes management, utilization, and environmental training. This work contributes to the research project of an industrial ecology model at the Tunshi Experimental Station for the valorization of agricultural waste in edible mushroom production.

Keywords: biomass; sustainability; calorific value.

Resumo

O objetivo deste projeto de investigação é quantificar e analisar os resíduos sólidos orgânicos para a produção de biochar. A metodologia seguiu a norma NTE INEN 220 para a recolha de amostras, e os resíduos foram compostados. Os resultados demonstraram que os resíduos de maracujá apresentam características físicas e poder calórico adequados para utilização como biomassa para a produção de biochar. Foi desenvolvido um plano de gestão de resíduos sólidos que inclui a gestão, utilização e formação ambiental. Este trabalho contribui para o projeto de investigação de um modelo de ecologia industrial na Estação Experimental de Tunshi para a valorização de resíduos agrícolas na produção de cogumelos comestíveis.

Palavras-chave: biomassa; sustentabilidade; valor calórico.

Introducción

El biocarbón

El biocarbón es el producto de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirólisis), a temperaturas relativamente bajas (inferiores a los 700 °C) y que es destinado a uso agrícola, lo que hace que sea diferente al carbón usado como combustible y al carbón activado. Se define al biocarbón como “un material sólido obtenido de una conversión termoquímica de biomasa en un ambiente limitado de oxígeno”.

Residuos sólidos

Los residuos sólidos pueden ser definidos como cualquier material, sustancia, objeto o cosa que ha sido desechado y que no tiene valor económico para su propietario original, estos son un importante problema ambiental debido a su volumen y contenido de sustancias tóxicas, que pueden contaminar suelo, agua y aire (Archundia et al., 2017)

La gestión de residuos sólidos también puede incluir el reciclaje y la recuperación de materiales, lo que contribuye a la conservación de recursos naturales y la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero. La gestión adecuada de los residuos sólidos es fundamental para minimizar su impacto ambiental, esto implica la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos, con el objetivo de reducir su volumen y minimizar su impacto en el medio ambiente (Shagui Miranda, 2022)

Manejo integral de los residuos sólidos

El manejo integral de los residuos sólidos es un enfoque que busca soluciones sostenibles y eficientes para la gestión de los residuos sólidos en su totalidad, desde su generación hasta su disposición final. (Andrés et al., 2018) A continuación, se presenta algunos conceptos:

El manejo integral de los residuos sólidos implica una visión holística de los residuos sólidos, que abarca desde la prevención de la generación de residuos hasta su gestión y disposición final (Aliaga, et al., 2017, p. 27), (Coacalla-Castillo et al., 2020)

El manejo integral de los residuos sólidos es un proceso que implica la implementación de políticas, estrategias y prácticas que permitan reducir la cantidad de residuos generados, recuperar y valorizar los materiales reciclables, y tratar de manera adecuada los residuos no reciclables (Ruiz Morales, 2017)

De esta manera el objetivo de esta investigación es evaluar las características físicas y energéticas de la biomasa para elaborar biochar.

Aplicación y Beneficios en la Agricultura

La aplicación del biochar en los suelos agrícolas puede realizarse de forma directa o previa activación con nutrientes y microorganismos beneficiosos. Su uso ha sido asociado con:

- Mejora en la estructura y retención de agua en suelos arenosos.
- Aumento en la actividad microbiana y disponibilidad de nutrientes.
- Reducción de la lixiviación de fertilizantes, optimizando su eficiencia.
- Mayor tolerancia de los cultivos a condiciones de sequía y estrés ambiental.
- Incremento en la producción agrícola, especialmente en suelos empobrecidos.

Además, estudios recientes han demostrado que el biochar puede reducir la salinidad del suelo y mejorar la eficiencia del uso del agua en cultivos con altos requerimientos hídricos, lo que representa una solución viable en regiones áridas y semiáridas.

Beneficios Medioambientales

El biochar contribuye a la mitigación del cambio climático debido a su capacidad de secuestrar carbono de manera estable en el suelo. Además, su producción a partir de residuos agrícolas reduce la generación de desechos orgánicos y minimiza la emisión de metano y óxidos de nitrógeno, gases con alto potencial de calentamiento global. También favorece la restauración de ecosistemas degradados y disminuye la contaminación de cuerpos de agua al retener contaminantes en su estructura porosa. Su capacidad para reducir la erosión del suelo y mejorar la biodiversidad microbiana es fundamental para la regeneración de tierras agrícolas degradadas.

Materiales y métodos

Población y planificación, selección y tamaño de la muestra

Población

La población que se consideró en el proyecto técnico es la cantidad total de los residuos sólidos orgánicos que se producen en la planta dos, secciones A - B y nave exterior del mercado municipal, durante los meses de octubre y noviembre, y residuos de granadilla de la Estación Experimental Thunshi.

En la tabla a continuación se establecen los criterios de selección que se consideró para la recolección de muestras con los residuos de mercado. (Mery Esperanza Ruiz Guajala et al., 2017)

Criterios de selección de muestra	Residuo Solidos Orgánico
Residuo solido	
Son aquellos residuos que se producen específicamente dentro de los espacios urbanos y zonas de influencia (mercados), los residuos sólidos que se producen son de origen orgánico (frutas y verduras en descomposición) e inorgánicos (plástico, vidrio, metal, etc.)	Son biodegradables, se componen naturalmente y tiene la propiedad de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otra materia orgánica.

Muestra

Para la cuantificación de los residuos sólidos orgánicos del mercado se trabajó los fines de semana (sábado y domingo) durante dos meses. La pila de compostaje se formó con los residuos sólidos orgánicos de Hortalizas, verduras y residuos de granadilla.

Para la obtención de las muestras se siguió la norma NTE INEN 220:2013 y se realizó el muestreo estratificado, de tal manera que se seleccionó las muestras, se homogenizo y se aplicó la técnica de cuarteo (triplicado). Posteriormente los cuadrantes seleccionados se guardaron en fundas herméticas para el análisis. (MARCO VINICIO CEPEDA CAGUANO, 2023)

Pasos para realizar el biochar:

- Selección de la Materia Prima: Se utilizaron residuos de poda de árboles frutales y cascarilla de arroz.
- Proceso de Pirólisis: La biomasa se colocó en un reactor hermético y se calentó a temperaturas entre 450-600°C en ausencia de oxígeno.
- Enfriamiento y Almacenamiento: Una vez finalizado el proceso, el biochar se dejó enfriar antes de su almacenamiento en un lugar seco.
- Aplicación en Suelo: Se aplicaron dosis controladas en parcelas de cultivo para evaluar sus efectos en la fertilidad del suelo y en el crecimiento de las plantas.

Resultados y discusión

Los residuos sólidos orgánicos que se generan en el mercado municipal del cantón Pallatanga fueron seleccionados los de origen vegetal, en los cuales existen elementos primarios como:

nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, etc., que influyen dentro del proceso de la descomposición del compost. (Andrés et al., 2018)

En la siguiente tabla se describe los diferentes residuos sólidos orgánicos de origen vegetal, que son generados en el mercado municipal del cantón Pallatanga, los mismos que fueron recolectados para la elaboración del compost.

Tabla: Residuos sólidos orgánicos recolectados en el mercado municipal.

Origen vegetal	Residuos Sólidos Orgánicos
Hortalizas y Verduras	Vainas (Haba, frejol, arveja), cebolla, choclo, lechuga, col, pimiento, tomate de árbol, etc.
Frutas	Granadilla, Mangos, guabas, duraznos, fresas mandarinas, manzanas, bananas, limones, piña, sandía, etc.

En la siguiente tabla se describe la cuantificación total de los residuos sólidos orgánicos de mercado (RSOM), que fueron recolectados cada semana durante dos meses. En el mes de octubre se obtuvo 3161.33 Kg de RSOM, mientras que para el mes de noviembre se obtuvo 2868.26 Kg de RSOM, obteniendo un total de 6029.59Kg de residuos sólido orgánico.

CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS						
Días que los desechos se acumularon: sábado y domingo					Fecha inicio: 9 de octubre 2022	
Realizado por: Marco Cepeda					Fecha final: 27 de noviembre 2022	
Número de Semanas	Residuo Orgánico	Masa (Kg)	Porcentaje (%)	Porcentaje Total (%)	Masa Total (Kg)	Observaciones
Semana 1 9 de octubre 2022	Verduras y hortalizas	571.88	80	100	714.85	No se encontró residuos de plástico, cartón, otros.
	Frutas	142.97	20			
Semana 2 16 de octubre 2022	Verduras y hortalizas	559.64	77	100	726.80	
	Frutas	167.16	23			
Semana 3 23 de octubre 2022	Verduras y hortalizas	640.06	73	100	876.80	
	Frutas	236.74	27			
Semana 4	Verduras y hortalizas	632.16	75	100	842.88	

30 de octubre 2022	Frutas	210.72	25			Se encontró poco residuo de plástico.
Semana 5 6 de noviembre 2022	Verduras y hortalizas	558.43	72	100	775.60	
	Frutas	217.17	28			
Semana 6 13 de noviembre 2022	Verduras y hortalizas	528.67	71	100	744.60	La reducción de residuos es debido a que otras personas recogen los residuos como alimento de los animales por la temporada de verano.
	Frutas	215.93	29			
Semana 7 20 de noviembre 2022	Verduras y hortalizas	522.71	79	100	661.66	
	Frutas	138.95	21			
Semana 8 27 de noviembre 2022	Verduras y hortalizas	528.53	77	100	686.40	
	Frutas	157.87	23			
TOTAL				100	6029.59	

(MARCO VINICIO CEPEDA CAGUANO, 2023)

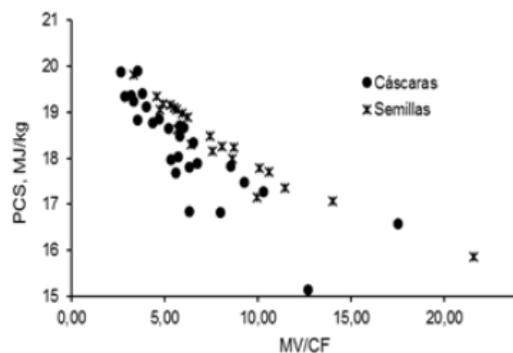
Características Físicas de la Granadilla (*Pasiflora ligularis*)

PESO	102.6 gr
VOLUMEN	170,63 cc.
PESO ESPECIFICO	0.6 g/cc
DIMENSIONES	a = 7.24 cm
	b = 6.85 cm
	c = 6.80 cm
REDONDEZ	0.95
ESFERICIDAD	0.97
AREA SUPERFICIAL	163.6 cm ²

* Valores promedios de una muestra representativa.

(Vázquez-Cuecuecha et al., 2023)

Variación del poder calórico energético superior con el índice de combustibilidad de los residuos de las frutas para pirolisis de biomasa



(Rojas Gonzalez & Flórez Montes, 2019)

Proceso de elaboración del biochar.



Elaboración del biochar en la Estación Experimental Tunshi.

Propiedades del biochar

N°	Contenido - Nutrientes	Unidad	Metodología
1	pH		AOAC 973,04 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 53-54 2012
2	Humedad	(g/100 g)	NTP 311,012 1970
3	Cenizas	(g/100 g)	AOAC 967,04 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 54 2012
4	Carbono total (C)	(g/100 g)	El analizador de COT SHIMADZU L5000
5	Nitrógeno total (N)	(g/100 g)	AOAC 955,04 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 13-14 2012
6	Fósforo total (P)	(mg/kg)	AOAC 958,01 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 5-6 2012
7	Potasio (K)	(mg/kg)	AOAC 983,02 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 24-27 2012
8	Sodio (Na)	(mg/kg)	AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 29-31 2012
9	Calcio (Ca)	(mg/kg)	AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 29. 29-31 2012
10	Magnesio (Mg)	(mg/kg)	AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 29. 29-31 2012
11	Cobre (Cu)	(mg/kg)	AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 29. 29-31 2012
12	Hierro (Fe)	(mg/kg)	AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 29. 29-31 2012
13	Manganeso (Mn)	(mg/kg)	AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 29. 29-31 2012
14	Zinc (Zn)	(mg/kg)	AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 29. 29-31 2012

(Enmer Trujillo & Christian Valencia, 2019)

Análisis de las dimensiones de la sustentabilidad

El índice de sustentabilidad general engloba la variabilidad en las dimensiones económica, ecológica y sociocultural; su valor promedio fue ISG=2,49, cifra superior al umbral Grosso modo los objetivos socioculturales y económicos de las fincas quedaron satisfechos en mayor grado,

según los promedios de $ISC=3,26$ e $IK=2,63$. El índice ecológico promedio estuvo por debajo del umbral, Dos fincas no cumplieron los requisitos para ser consideradas sustentables.

Dimensión ecológica. Dos indicadores que requieren especial atención son Manejo de la biodiversidad y Riesgo de erosión, para los cuales se obtuvieron en promedio valores muy bajos de 0,41 y 0,68, respectivamente en parcelas con monocultivo, sin ningún tipo de técnica de conservación de suelos en áreas con pendientes superiores al 30%, no realizan rotaciones y tienen poca cobertura vegetal durante el año. El indicador Conservación de la vida en el suelo mostró que no es de los factores que los productores perciben como decisivos en los rendimientos. Esta noción concuerda con el Conocimiento y conciencia ecológica de la dimensión sociocultural y la Cobertura vegetal. (Silvia Silva Laya & Simón Pérez Martínez, 2010)

Conclusiones

Se plantea las siguientes conclusiones:

- Se realizó un plan de manejo de residuos sólidos orgánicos para producir biochar a partir de los datos obtenidos que permitirá, mitigar y controlar la contaminación ambiental.
- Las características físicas y el poder calórico hacen factible el uso de los residuos de la granadilla como biomasa.
- Se determinó que la aplicación del biochar es una estrategia efectiva para mejorar la calidad del suelo y reducir el impacto ambiental de los residuos agrícolas.
- Su capacidad para retener agua y nutrientes lo convierte en una herramienta clave para la sostenibilidad agrícola.
- Además, su contribución al secuestro de carbono representa una alternativa viable para mitigar el cambio climático. La regeneración de suelos degradados y la optimización del uso de fertilizantes lo posicionan como un insumo esencial en la agricultura sostenible.
- Los estudios recientes han confirmado que su aplicación a largo plazo mejora la productividad de los cultivos y la resiliencia de los ecosistemas agrícolas.

Referencias

1. Andrés, C., Rojas-González, F., Ciliana Flórez-Montes, I., Diego, I., & López-Rodríguez, F. (2018). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales.

2. Archundia, D.-, Verónica, L., & Otoniel, B.-D. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero en dos sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en México.
3. Coacalla-Castillo, C. E., Cabrera, J. P., Nicanor, A., & Orellana, S. (2020). Indicadores de gestión en el manejo integral de residuos sólidos de la municipalidad de Aymaraes. <http://orcid.org/0000-0002-6076-1800><http://orcid.org/0000-0002-0837-0079><http://orcid.org/0000-0001-7631-3765><http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/554/1617>
4. MARCO VINICIO CEPEDA CAGUANO. (2023). PROPUESTA DE MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DEL MERCADO MUNICIPAL DE PALLATANGA COMO ALTERNATIVA PARA MITIGAR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE COMPOST.
5. Mery Esperanza Ruiz Guajala, Elsy Marcela Álvarez Jimenez, & Hermel David Ortíz Román. (2017). MANEJO INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS EN LOS PRINCIPALES BARRIOS DE UN GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PARROQUIAL.
6. Rojas Gonzalez, A. F., & Flórez Montes, C. (2019). Valorización de residuos de frutas para combustión y pirólisis. *Revista Politécnica*, 15(28), 42–53. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n28a4>
7. Ruiz Morales, M. (2017). Contexto y evolución del plan de manejo integral de residuos sólidos en la universidad iberoamericana ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 337–346. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.14>
8. Shagui Miranda, D. G. (2022). Optimización de rutas de recolección de los residuos sólidos urbanos del centro cantonal Taisha en la Provincia de Morona Santiago.
9. Silvia Silva Laya, & Simón Pérez Martínez. (2010). Sustentabilidad de fincas productoras de durazno en El Jarillo, Estado Miranda, Venezuela.
10. Vázquez-Cuecuecha, O. G., García-Gallego, E., & Chávez-Gómez, J. A. (2023). Physical and chemical characterization of the fruits of three varieties of *Prunus persica* L. Batsch in Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(5), 90–99. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i5.3197>