

Automation of a composting plant

Automatización de una planta de compostaje

Álvaro A Patiño-Forero^{1*} , Francy Méndez² , Daniela Zuluaga³ 

Citación: Patiño, A. ; Méndez, F.; Zuluaga, D. Automation of a composting plant. I + T + C Investigación, Tecnología y Ciencia. Vol 1. Num. 17. 2023.

¹Automation Engineering Program, Faculty of Engineering, Universidad de La Salle, Bogotá D.C., Colombia; alapatino@unisalle.edu.co

² Automation Engineering Program, Faculty of Engineering, Universidad de La Salle, Bogotá D.C., Colombia; fmendez@unisalle.edu.co

³ Automation Engineering Program, Faculty of Engineering, Universidad de La Salle, Bogotá D.C., Colombia; dzuluaga95@unisalle.edu.co

*correspondencia: alapatino@unisalle.edu.co

Nota del editor: Sello editorial Unicomfacauca se mantiene neutral con respecto a los reclamos derivados de los resultados de este trabajo.



Derechos de autor: © 2023 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY NC SA) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es_ES)

Abstract: Forced aeration composting systems can be implemented in open or closed configurations, with the former being the more prevalent choice. The key parameters influencing aerobic composting include the C/N ratio, pH, temperature, humidity, and oxygen concentration (aeration). With today's technological advancements, systems incorporating automated processes and Industry 4.0 technologies, such as the Internet of Things, have been deployed to enhance efficiency in the composting process. This article aims to delineate the most pertinent aspects of aerobic composting for poultry manure, utilizing experimental tests for monitoring and remotely controlling critical parameters through automated equipment connected to a composting plant at the San Miguel Research and Training Center of De La Salle University. The conducted monitoring allows us to conclude that forced aeration expedites the degradative biological process, with added sawdust serving as a humidity regulator and nutritional source, thereby enhancing the macrobiotic performance of fresh poultry manure. Furthermore, experimental tests demonstrate that the automated system represents a sustainable alternative with a significant environmental impact, contributing to a circular economy model suitable for locations with mountainous temperatures and altitudes exceeding 2700 meters above sea level.

Keywords: automated systems, composting, forced aeration, environmental sustainability

Resumen: Los sistemas de compostaje por aireación forzada se pueden efectuar en sistemas abiertos o cerrados, siendo los primeros los más utilizados. Los principales parámetros que afectan el compostaje aerobio son la relación C/N, pH, temperatura, humedad y concentración de oxígeno (aireación). Con el avance tecnológico actual se han implementado sistemas que integran procesos automatizados y tecnologías 4.0 como el Internet de las Cosas para optimizar el proceso. El objetivo del presente artículo es precisar los aspectos más relevantes en el compostaje aerobio del estiércol avícola, a través de pruebas experimentales de monitoreo y control remoto de los parámetros más importantes mediante el uso de equipos automatizados conectados a una planta de compostaje en el Centro de Investigaciones y Capacitaciones San Miguel de La Universidad De La Salle. Los monitoreos realizados permiten establecer que la aireación forzada acelera el proceso biológico degradativo donde el aserrín agregado actúa como regulador de la humedad y es fuente nutricional para el mejor desempeño macrobiótico de la gallinaza fresca. Así mismo, las pruebas experimentales demuestran que el sistema automatizado es una alternativa sostenible y con un impacto medio ambiental alto, contribuyendo a un modelo de economía circular para sitios con temperaturas de montaña y altitudes por encima de los 2700 msnm.

Palabras clave: sistemas automatizados, compostaje, aireación forzada, sostenibilidad ambiental

1. Introducción

La avicultura es considerada una de las prácticas pecuarias más importantes a nivel mundial por su significativa contribución en la alimentación y nutrición de los seres humanos [1]. La fuerte demanda de proteína animal ha favorecido el continuo crecimiento del sector avícola durante las últimas décadas [2], lo que genera una gran cantidad de subproductos no aprovechables, por tal razón, hay una alta demanda por el desarrollo de procesos industriales que permitan favorecer alternativas de sostenibilidad ambiental. Una solución es el compostaje en combinación con un sistema con aireación forzada, siendo un método más seguro para el suministro de oxígeno y eliminación de patógenos por medio del calor, siempre y cuando los parámetros del proceso estén en condiciones óptimas. El objetivo del presente artículo es precisar los aspectos más relevantes en el compostaje aerobio del estiércol avícola a través de una prueba experimental monitoreando los parámetros más importantes mediante equipos automatizados conectados a una planta de compostaje instalado en el Centro de Investigaciones y Capacitaciones San Miguel.

La automatización en las fincas viene en ascenso en varios países desarrollando proyectos de investigación tecnológica, donde utilizan el Internet de las cosas (IoT), para el control y monitoreo de las variables físicas que interviene en el proceso de compostaje [3, 4, 5]. Para el compostaje de residuos verdes a gran escala, para mayo del año 2020 en Francia, cerca de Estrasburgo, la empresa LINGENHELD construyó una planta con capacidad de 11.000 toneladas al año utilizando la tecnología de la empresa UMWELT-ELEKTRONIK, en Eslovaquia, se construyeron tres plantas para el tratamiento de residuos en conjunto con HANTSCH SAS y Umwelt-Elektronik, cada planta permite el tratamiento hasta 4.700 toneladas al año [7]. Por otro lado, la empresa Umwelt Electronik viene desarrollando tecnología e implementaciones en proceso de aireación forzada y pila estática, con equipos propios ofreciendo sociedades para la creación de centros de compostaje, en varios países del mundo. El objetivo del presente artículo es precisar los aspectos más relevantes en el compostaje aerobio del estiércol avícola a través de una prueba experimental monitoreando los parámetros más importantes mediante equipos automatizados conectados a una planta de compostaje instalado en el Centro de Investigaciones y Capacitaciones San Miguel.

2. Materiales y métodos

2.1 Diagnóstico inicial

El diseño del proceso de tratamiento para la producción de compostaje de gallinaza utilizando un sistema de aireación forzada comenzó con la determinación de parámetros iniciales de humedad, cantidad de gallinaza producida, materiales aptos para el desarrollo del proceso; estas variables fueron determinadas mediante el levantamiento de información que permitieron establecer una línea base para el diseño del invernadero donde se generó el aprovechamiento de los residuos provenientes de la producción aviar en el CIC para el correcto manejo, disposición, procesamiento y almacenamiento de gallinaza.

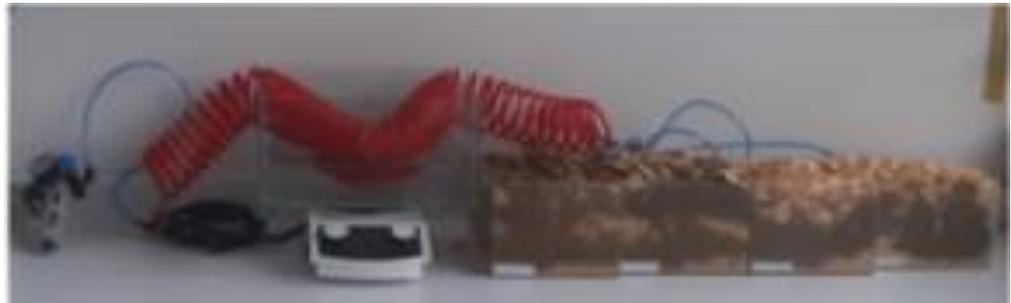
2.2. Montaje a escala de laboratorio

El proceso de producción de compostaje comenzó con una prueba a escala de laboratorio 1:100 que permitió determinar el material más conveniente para la mezcla evaluando relaciones 25:75, 50:50, 75:25 entre viruta de madera y aserrín con un porcentaje del 70% de gallinaza fresca.

Tabla 1. Diseño del montaje experimental

Montaje	(0,5 kg)		(0,25 kg)
	Gallinaza	Viruta (0,126 kg)	Aserrín (0,126 kg)
Experimento 1	70	0	100
Experimento 2	70	25	75
Experimento 3	70	50	50
Experimento 4	70	75	25

La adición de viruta de madera y aserrín obedece a la necesidad de reducir la humedad de la gallinaza fresca y a aportar nutrientes como carbono y nitrógeno necesarios para el proceso de degradación de la gallinaza. El sistema consistió en un montaje con compresor de aire, manguera neumática para la difusión, recipiente de vidrio, difusor de aire y plancha de calentamiento a 44°C. Se aireó en intervalos de 12 horas durante 10 días determinando el porcentaje de mezcla más adecuado para el escalado del sistema.

**Figura 1.** Montaje de las mezclas evaluadas en el laboratorio

2. 3. Construcción del sistema de compostaje en el CIC San Miguel

Mediante la medición de los parámetros iniciales del proceso y resultados obtenidos de la biopila piloto y los valores obtenidos de la fase inicial del proyecto, se procedió a diseñar y construir el ambiente necesario para el aprovechamiento de los residuos provenientes de la producción aviar en el CIC para el correcto manejo, disposición, procesamiento y almacenamiento de gallinaza así como el establecimiento de un sistema de monitoreo remoto a través del uso de "Internet of Things" para la automatización del proceso.

**Figura 2.** Invernadero y cubículos experimental

2.4. Montaje experimental

Con los resultados de la prueba de laboratorio se realizó el montaje en dos cubículos colocando un volumen de mezcla de 1 m³ en cada uno; se realizó el monitoreo de variables como: humedad, relación Carbono/Nitrógeno, recuento de mesófilos,

Temperatura a la salida del sistema de aireación y a la entrada de las biopilas mediante el uso de sensores remotos que permitieron monitorear en tiempo real el funcionamiento.

2. 5. Arquitectura de control y comunicación de la planta de compostaje construida

La Arquitectura del funcionamiento tecnológico: Se presenta en la figura, en cual se describe los elementos que conforman el sistema, se compone de una estación de ingeniería que se conecta a una tarjeta de control que permite la configuración y programación del sistema de manera local y remota. La tarjeta de control se programa con Node Red, la cual permite realizar el control remoto del sistema y la comunicación del sistema vía 4G -, por medio de un prestador de servicio de datos de telefonía celular. El sistema tiene la opción de elegir dos técnicas de control regulatorio de oxígeno y de temperatura, por medio del uso de una válvula dámper o por medio de un variador de velocidad.

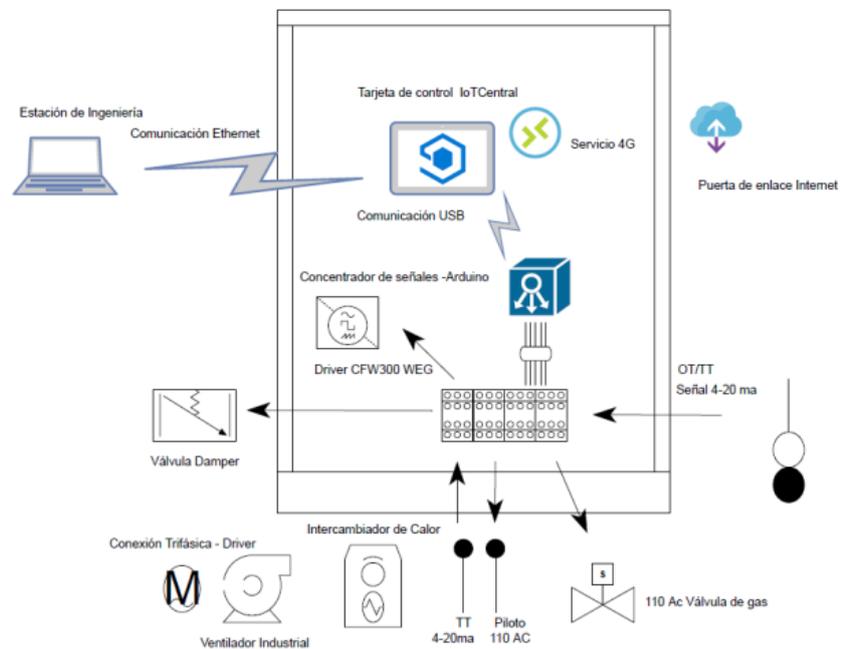


Figura 3. Arquitectura de control y comunicación de la planta de compostaje

3. Resultados

3.1. Pruebas experimentales Laboratorio

La tabla 2 se presenta los resultados obtenidos antes y después de la aireación según cierta cantidad de ciclos en los cuales se inyectó el aire a una temperatura constante de 25.5 °C esta temperatura se alcanzó debido a que la manguera neumática se encontraba sumergida en agua a temperatura constante de 44.2°C. Se realizó la medición de cada uno de los montajes (M-1; M-2; M-3; M-4) durante un periodo de tiempo de 10 días.

Tabla 2. Resultados antes y después de la aireación

Muestra	Parámetro	Semana 1						Semana 2			
		Día 1	Día 1	Día 2	Día 2	Día 3	Día 3	Día 4	Día 4	Día 5	Día 5
		AA	DA	AA	DA	AA	DA	AA	DA	AA	DA
M-1 100-0	pH	9,12	9,38	9,18	9,48	9,32	9,51	8,86	9,24	8,72	9,17
	Temperatura	19,2	23	22,3	22,2	20,2	19,3	21,6	19,7	20,6	20,3
M-2 75-25	pH	8,47	9,13	8,61	9,28	9,1	9,57	8,47	9,08	8,63	8,97
	Temperatura	17,4	24,3	23,5	22,2	20,4	18,9	21,4	19,4	20	19,8
M-3 50-50	pH	9,12	9,21	9,19	9,22	9,05	9,46	8,82	9,07	8,26	9,04
	Temperatura	19,6	22,3	22,8	23	20,9	18,9	21,6	19,3	20,6	19,3
M-4 25-75	pH	9,41	9,03	9,27	9,24	9,23	9,29	8,93	8,97	8,07	9,03
	Temperatura	19,5	20,9	23,1	23,2	21	18,8	21,9	19	20,4	19,7

3.2. Pruebas Iniciales del sistema de la planta tratamiento de estiércol

Se implementó la planta de tratamiento de compostaje derivado del estiércol de gallina, utilizando la técnica de aireación forzada. Se construyeron cuatro cubículos para el almacenamiento y procesamiento de la gallinaza.



Figura 4. Figura 4. Planta de tratamiento de compostaje. (a) Sistema de control y cama de compostaje 1. (b) Cama de compostaje con adición de cal. (c) Cama de compostaje con producto termino Bioabono. (d) Pantalla en sitio curva del comportamiento de oxígeno y la temperatura de la biomasa

3.3. Los resultados obtenidos de los primeros lotes de producción son los siguientes:

Temperatura día	18°C
Temperatura noche	14°C
Humedad	81,1 % - 100 %
Temperatura Calentador	34,3°C
Eficiencia	40% - 50%
Coliformes totales	Negativo
E-coli	Negativo
Relación C/N	9,8/17,02
pH	5,6

Tabla 2. Parámetros de compostaje

En la tabla 2 se presenta la temperatura promedio de las condiciones del terreno en el día y en la noche dentro del invernadero con la planta apagada. La humedad del estiércol recolectada se encuentre entre el 80 y 100%. El estiércol proviene de un galpón de gallinas de jaula (2000 gallinas). La temperatura del sistema de calefacción es de 34.3 grados Celsius, la cual solo opera en la noche. La eficiencia del sistema se encuentra entre el 40% y 50% de acuerdo con los insumos usados y a la venta de bultos de compostaje.

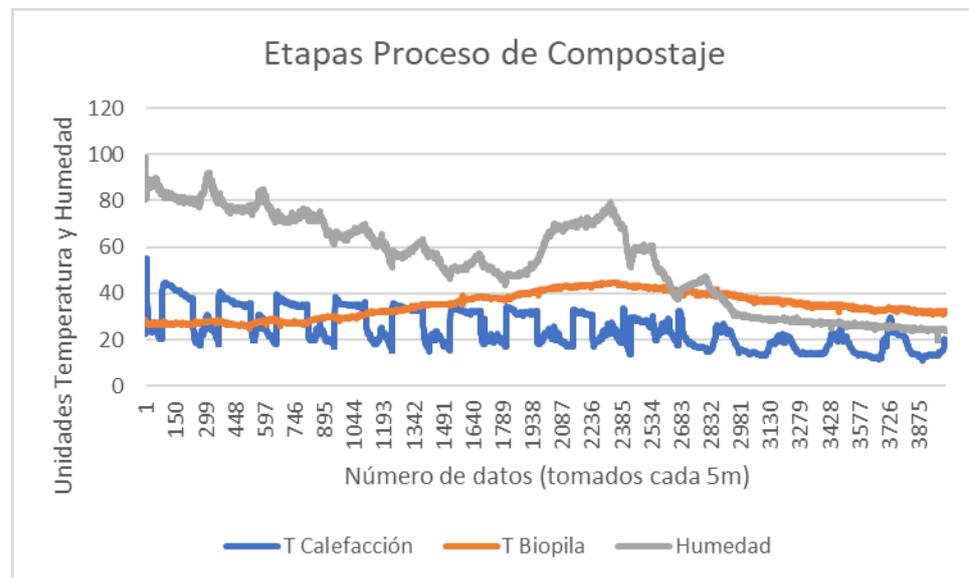


Figura 5. Comportamiento de las variables de la planta

En la figura 5 se presenta un experimento para dos cubículos donde se colocó 64% de estiércol con 36% de aserrín con el fin de controlar la humedad y los lixiviados que se generan con la mezcla. La línea naranja muestra el comportamiento de la temperatura de la biopila, alcanzando su máxima temperatura a los 45 grados Celsius. La línea azul muestra la temperatura del sistema de calefacción, donde se observan los impulsos del encendido nocturno del sistema. La línea gris muestra el comportamiento y control de la humedad en el tiempo.

4. Discusión

El experimento de laboratorio permitió encontrar el porcentaje de mezcla adecuado para el estiércol recolectado, y el tipo de agente de carga para el control de la humedad. Los agentes de carga utilizados y de fácil acceso en el sitio de procesamiento, fueron el aserrín y la viruta de madera, proporcionando mejor resultado el aserrín. La mezcla para la preparación del compostaje que presentó un mejor rendimiento fue de 70% de estiércol con 30% de aserrín.

En la primera fase del proyecto fue el diseño de la planta de compostaje, la cual consistió en el desarrollo de los planos CAD (computer-aided design), la identificación de la variable críticas del proceso, el estudio de las condiciones del terreno para la construcción civil y eléctrica, la conexión a internet, el transporte de la gallinaza, el acceso al invernadero, el remolque y el tractor para su transporte. Así mismo, se realizó una biopila piloto de forma manual con 1.5 m³ de gallinaza, con el fin de determinar las condiciones de humedad y temperatura del procesamiento manual en sitio, lo cual permitió observar que las condiciones eran extremas a la hora de lograr controlar la humedad del estiércol, y permitió identificar la necesidad de incluir dentro del diseño un sistema de calefacción con el objetivo de obtener un secado más eficiente en un menor tiempo.

Los primeros resultados experimentales en la planta de compostaje, permitió realizar los ajustes al sistema de calefacción, encontrar la mejor manera de realizar la mezcla del aserrín con el estiércol antes de ser colocada en el cubículo, la calibración de los sensores a utilizar, la conexión a internet, y poder proponer la forma de desarrollar un control remoto desde la ciudad, sin la necesidad de un operario en sitio.

En la gráfica 5 se puede observar que en un periodo de ocho días la planta logró llegar a una temperatura de 45 grados Celsius, logrando la etapa mesofílica en el proceso de compostaje. Según, [8] al colocar agentes de carga como astillas de corteza, o paja otros residuos triturados, provoca un aumento de la porosidad y permite una disminución y control de la humedad. Pero, al realizar el proceso de compostaje en suelos contaminados no se obtiene el estado termofílico, y por consiguiente no se obtiene temperaturas superiores a los 45 grados Celsius como el experimento realizado. Además, se puede analizar el buen control de la humedad aireando con el sistema de calefacción en las noches, favoreciendo el medio adecuado para que las bacterias se fueran reproduciendo rápidamente, y no provocar un choque térmico con las temperaturas nocturnas, que perjudicaría el crecimiento de la población de bacterias.

Uno de los grandes problemas dentro de la economía circular es encontrar eficiencias en el procesamiento de residuos, lo que permitió identificar que, con solo la aireación nocturna de aire caliente, fue suficiente para forzar el procesamiento del compostaje. Los resultados de laboratorio de las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas mostraron ausencia de patógenos, y los resultados de la relación Carbono y Nitrógenos presentaron resultados dentro del rango normales para ser utilizados en suelos.

5. Conclusiones

De acuerdo con la discusión de resultados del proyecto se tienen las siguientes conclusiones:

- Se logró reducir el tiempo de producción de compostaje pasando de 16 a 3 semanas.

- La relación carbono/nitrógeno y la ausencia de coliformes permiten concluir que el compostaje es una alternativa viable como enmienda orgánica para suelos agrícolas.
- A pensar que el estiércol sale con una humedad del 100% se logra controlar con aserrín en una proporción aproximada 70% de estiércol con 30 % de aserrín.
- Se estableció un control remoto para el encendido y apagado del sistema en horas de la noche, lo cual ha permitido una mejor eficiencia de la planta, reduciendo la necesidad de un operario local.

Fondos: Esta investigación fue financiada por la Universidad De La Salle.

Agradecimientos: Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de la Salle por el apoyo financiera para el desarrollo del proyecto.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- [1] G. Gržinić et al., «Intensive poultry farming: A review of the impact on the environment and human health», *Science of The Total Environment*, vol. 858, p. 160014, feb. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.160014.
- [2] Benjamin Lacas a b, «Meta-analysis of chemotherapy in head and neck cancer (MACH-NC): An update on 107 randomized trials and 19,805 patients, on behalf of MACH-NC Group» *Radiotherapy and Oncology*, pp. 281-293, 2021.
- [3] G. Oscar Casas, «Wireless sensor network for smart composting monitoring» *Measurement*, p. 13, 2013.
- [4] D. Vrettos G., «Smart Compost Monitoring System using Open Source» *International Conference on Environmental Science and Technology*, p. 6, 2017.
- [5] P. Yannis Nikoloudakis, «Composting as a Service: A Real-World» *Future Internet*, p. 15, 2018.
- [6] T. Riady Siswoyo Jo, «Design and Implementation of IoT-enabled Compost» *IEEE 9th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)*, p. 6, 2019.
- [7] U. Elektronik, «Umwelt Elektronik» 7 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.umwelt-elektronik.com/en/about-us/latest-news>.
- [8] J Reid, «Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants» *Environmental Pollutions*, pp. 269-283, 2001.