



Sistema de compostaje automatizado para desechos sólidos orgánicos generados en un mercado

Automated composting system for organic solid waste generated in a market

Sistema automatizado de compostagem para resíduos sólidos orgânicos gerados em um mercado

Raúl Arízaga-Gamboa ^I

rarizaga@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-4437-2378>

Jean Vicente Fernández-Florín ^{II}

jeanfernandez2011@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-3702-8772>

Sammy Lizange Vasconez-Sornoza ^{III}

Sammy.vasconez.sornoza@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-1341-9026>

Correspondencia: rarizaga@uagraria.edu.ec

Ciencias Técnica y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de junio de 2023 * **Aceptado:** 12 de julio de 2023 * **Publicado:** 01 de agosto de 2023

- I. Magíster en Administración Ambiental, Biólogo, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- II. Ingeniero Ambiental, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- III. Ingeniero Ambiental, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.

Resumen

Los residuos orgánicos son considerados uno de los problemas ambientales más complejos, el compostaje se presenta como un método alternativo para convertirlos en fertilizantes, evitando así su inadecuada disposición en rellenos sanitarios, garantizando la gestión eficiente de estos materiales en el ambiente, reduciendo el uso de agroquímicos. Se desarrolló un sistema de compostaje automatizado con el fin de optimizar el tiempo de obtención del compost. El proceso de compostaje se llevó a cabo durante un periodo de 94 días utilizando los desechos orgánicos generados en un mercado municipal. Se propuso un sistema de monitorización mediante una placa de desarrollo Arduino nano para la automatización de los procesos, control de la temperatura y humedad. Se obtuvo abono de calidad según la FAO y la Norma Técnica Ecuatoriana para abonos orgánicos. Como resultado se obtuvieron los siguientes parámetros de calidad: pH 6,31, Carbono 9,86 %, Nitrógeno 0,46 %, Fósforo 0,10 %, Potasio 1,01 %, Materia orgánica 21,83 %.

Palabras clave: Abono; Arduino; Automatización; Desechos Orgánicos; Sistema de Compostaje.

Abstract

Organic waste is considered one of the most complex environmental problems, composting is presented as an alternative method to convert it into fertilizers, thus avoiding its inappropriate disposal in landfills, guaranteeing the efficient management of these materials in the environment, reducing the use of agrochemicals. An automated composting system was developed in order to optimize the time to obtain the compost. The composting process was carried out during a period of 94 days using organic waste generated in a municipal market. A monitoring system was proposed using an Arduino nano development board for process automation, temperature and humidity control. Quality fertilizer was obtained according to the FAO and the Ecuadorian Technical Standard for organic fertilizers. As a result, the following quality parameters were obtained: pH 6.31, Carbon 9.86%, Nitrogen 0.46%, Phosphorus 0.10%, Potassium 1.01%, Organic matter 21.83%.

Keywords: Compost; Arduino; Automation; Organic waste; Composting System.

Resumo

Os resíduos orgânicos são considerados um dos problemas ambientais mais complexos, a compostagem se apresenta como um método alternativo para convertê-los em fertilizantes, evitando assim seu descarte inadequado em aterros sanitários, garantindo o gerenciamento eficiente desses materiais no meio ambiente, reduzindo o uso de agrotóxicos. Foi desenvolvido um sistema automatizado de compostagem com o objetivo de otimizar o tempo de obtenção do composto. O processo de compostagem foi realizado durante um período de 94 dias utilizando resíduos orgânicos gerados em um mercado municipal. Foi proposto um sistema de monitoramento utilizando uma placa de desenvolvimento Arduino nano para automação de processos, controle de temperatura e umidade. O fertilizante de qualidade foi obtido de acordo com a FAO e a Norma Técnica Equatoriana para fertilizantes orgânicos. Como resultado, foram obtidos os seguintes parâmetros de qualidade: pH 6,31, Carbono 9,86%, Nitrogênio 0,46%, Fósforo 0,10%, Potássio 1,01%, Matéria orgânica 21,83%.

Palavras-chave: Composto; Arduino; Automação; Desperdício orgânico; Sistema de Compostagem.

Introducción

En los Estados Unidos, se desperdician aproximadamente una libra de alimentos todos los días, arrojando alrededor de 150.000 Ton , lo que equivale a un tercio de las calorías que consumen cada día, es más probable que se desechen las frutas y verduras, seguidas del plástico, madera, cartón, residuos inertes y residuos peligrosos (Milman, 2018).

Según el nuevo documento "What Waste 2.0: Una visión global para la gestión de residuos sólidos para 2050", si no se toman medidas inmediatas, la generación global de residuos para 2050 aumentará en un 70% con respecto a los niveles actuales (Banco Mundial, 2018).

La cantidad de residuos sólidos urbanos generados en los países de América Latina y el Caribe se acerca a los 540.000 Ton diarios, se estima que para el 2050 la cantidad de basura generada en la región ha de llegar a 671.000 Ton diarias. En países de bajos ingresos, el 75 % de la basura proviene de la materia orgánica, mientras que en los países de altos ingresos este indicador es del 36% la fracción restante se compone de residuos secos, como metal, papel, cartón, plástico, vidrio y textiles (Organización de Naciones Unidas, 2017; Pon, 2017).

De acuerdo con la estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, cada habitante ecuatoriano produce en promedio alrededor de 0,58 kg de residuos sólidos en el área urbana (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2018).

Al menos el 37,1 % de los GAD realiza procesos de separación en la fuente, es decir, distinguen entre materiales orgánicos e inorgánicos (cartón, papel, plástico, vidrio, madera, metal, chatarra, textiles, pilas y residuos sanitarios no peligrosos, etc.). Tan solo el 43 % de los GAD dispone los residuos sólidos en rellenos sanitarios, el 36 % lo deposita en botaderos y el 21 % en celdas emergentes (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2018).

La gestión de los desechos sólidos es un problema universal que atañe a todo habitante del planeta, con más del 90 % de los desechos que se vierten o queman a cielo abierto en los países de ingreso bajo, son los pobres y los más vulnerables quienes se ven más afectados (Vásquez, 2020).

El mercado municipal del estudio no cuenta con un sistema de recolección eficiente lo que ocasiona acumulación de residuos, malos olores, proliferación de vectores entre otros aspectos negativos, es por ello necesario proponer un sistema de compostaje automatizado que permita aprovechar los residuos orgánicos que se generan al interior del mercado. El objetivo de la investigación fue: Diseñar un sistema de compostaje mediante la automatización de los procesos para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados un mercado.

Materiales y métodos

Según Abarza (2012) en la investigación aplicada, “el investigador busca solucionar un problema conocido y hallar respuestas a preguntas puntuales”. Esta investigación se considera aplicada porque busca solucionar un problema por el mal manejo de residuos orgánicos. De acuerdo con la clasificación propuesta por Grajales (2000), el nivel de conocimiento en la investigación es de tipo descriptivo, y su propósito es desarrollar su representación a partir de las características del fenómeno investigado.

Metodología

Se establecieron cantidad de residuos sólidos orgánicos (kg), Tipos de residuos sólidos orgánicos, Temperatura (°C), Humedad (%) y para comprobar la calidad del compost obtenido: pH, Carbono, contenido de materia orgánica, Nitrógeno, Fósforo, Potasio.

Recursos

Tanque de polietileno de alta densidad 50 (gal), Tubo de acero galvanizado (1 in x 130 cm), Sensor de humedad capacitivo v1.2, Sensor de temperatura ds18b20, Placa de desarrollo Arduino nano, Bomba sumergible Qmax 240 L / H, Extractor (6 in) 110 v, Sistema de monitoreo (lcd, pulsador, relé, resistencias, transistores, potenciómetro, reloj, cables y fuente 12 v) , Placa PCB impresa en baquelita 11,5 cm x 11.05 cm, Motor de lavadora capacidad (1/2 HP) 110 v, Soporte del chasis 56 cm x 110 cm, Manija, Bisagras, Banda dentada (19 in) , Chumacera (1 in).

Para la caracterización de la muestra se utilizó fichas de control y observación, bolígrafos, calculadora, balanza, teléfono móvil y equipos de protección personal.

Métodos y técnicas

Determinación residuos promedio por local

En este estudio se determinó la generación promedio por local para calcular se aplicó la siguiente fórmula:

$$GPL = \frac{\text{Total kg de peso recolectados}}{\text{dias de muestreo}}$$

GPL = Generación de residuos promedio por local

(kg/local).

Sistema de monitoreo mediante placa de desarrollo Arduino, sensores y actuadores en la cámara de compostaje para la automatización de los procesos

El sistema de monitoreo tiene sensores de temperatura, humedad, ventilación, sistema rotatorio y riego, que fueron monitoreados por un microcontrolador Arduino que analizó la información y ejecutó acciones, esto permitió una descomposición adecuada de los desechos al interior del compostador. Los factores están interconectados para que operen de manera automatizada donde la temperatura máxima permitida durante la primera semana es 60 °C a partir de esa fase la temperatura máxima permitida es 50 °C. La temperatura mínima permitida durante el proceso fue de 35 °C y la temperatura óptima del proceso se mantuvo en 45 °C.

La humedad máxima permitida es 70 %, humedad mínima permitida es 40 % y la humedad óptima del proceso se mantuvo en 55 % hasta la fase de mesófila II.

A partir de la fase de maduración la temperatura y humedad óptima se estabilizó en una nueva programación. El sistema de monitoreo muestra en el display LCD, la palabra “INICIANDO”, fecha y hora y se debe actuar un pulsador para leer los datos de los sensores.

Si la temperatura es \geq a 60 °C se activa el ventilador para disminuir la temperatura hasta 50 °C siendo la temperatura óptima (durante la primera semana). La segunda semana la temperatura óptima del proceso es de 45 °C. Si la temperatura es \leq a 35 °C se detiene el sistema de riego y ventilación en caso de que estén activados para que la temperatura ascienda a 45 °C.

Si la humedad es \geq a 70 % se enciende el ventilador hasta llegar a 55 % de humedad. Si la humedad es \leq a 40 % se activa el sistema de riego hasta llegar a 55 % de humedad siendo este el porcentaje óptimo del proceso. El eje rotatorio se activa tres veces al día: 9:00 am – 15:00 pm – 21:00 pm por 15 segundos.

El sistema está compuesto por varios componentes 1 Arduino nano con microcontrolador ATmega 328, 1 sensor de temperatura sumergible ds18b20, 1 sensor de humedad capacitivo v1.2, 3 relés que sirven como un interruptor mecánico dejando pasar la corriente y opera con voltajes bajos 5 V. Además de 3 transistores 2n2222a que regulan el flujo de corriente, 3 resistencias que se usan para variar los valores de intensidad y voltaje, 1 módulo reloj ds3231 se utiliza para obtener mediciones del tiempo e incluso en condiciones donde no se dispone de energía, 1 bomba de agua sumergible que opera a 12 V con Hmax de 300 cm y Qmax de 240 L / H, 1 LCD display 16x2, 1 pulsador manual para leer los datos de los sensores, 1 potenciómetro de 1 K sirve para ajustar la intensidad de la luz del led, 1 extractor reciclado que opera a 110 V a 1500 RPM, 1 motor reciclado con capacidad de ½ HP a 200 RPM, 1 placa PCB impresa en baquelita y 1 fuente de 12 V a 3 A se usó para alimentar la bomba y el microcontrolador Arduino nano.

Análisis de laboratorio para comprobar la calidad pH, carbono, nitrógeno, fósforo, potasio y contenido de materia orgánica del compost

Examinar pH, carbono, nitrógeno, fósforo, potasio y contenido de materia orgánica permitió conocer la calidad del producto generado, a partir de los requisitos específicos para abono orgánico establecidos en el documento denominado “Manual de compostaje del agricultor” (Román et al., 2013).

Potencial hidrógeno (pH).-El pH del abono orgánico debe ser mayor a 6.5 y menor a 8.5 (determinado según NTE INEN 236:2013).

Carbono.- El carbono total en abono orgánico debe ser mayor a 10 y menor a 20 según el Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola, para determinar la concentración de carbono orgánico en abono orgánico se aplicará el método gravimetría.

Nitrógeno.-El nitrógeno total debe ser mayor a 0,3 % y menor a 1,5 % (NTE INEN 2025:2013).

Fósforo.-El fósforo en abono orgánico debe ser mayor a 0,1 % y menor a 1 % (determinado según NTE INEN 233:2013) para determinar la concentración de fósforo en abono orgánico se aplicó el método PEE.LASA.FQ.09c APHA 4500-P B y E.

Potasio.- El potasio en abono orgánico debe ser mayor a 0,3 % y menor a 1 % (determinado según NTE INEN 235:2013) para determinar la concentración de fósforo en abono orgánico se aplicó el método de Absorción Atómica - Llama EPA 7000 B*. Disolver 1,907 g de cloruro de potasio, KCl, secado a 110 EC, en agua reactiva y diluir hasta 1 L con agua.

Contenido de materia orgánica.- El contenido presente en el abono orgánico debe ser igual o mayor al 20 % (determinado según Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola de la FAO) para determinar la concentración de fósforo en abono orgánico se aplicó el método gravimetría.

Análisis estadístico

Se aplicó análisis estadístico descriptivo, se detalló el manejo y disposición de los residuos sólidos municipales, además de describir las características de producción per cápita, volumen, densidad. Para los parámetros temperatura y humedad se aplicó las herramientas estadísticas como media aritmética, moda, máxima, mínima, varianza y desviación estándar. La media aritmética se obtiene sumando todos los valores y dividiendo para n (Cárdenas González y Segovia Serna, 2011)

Resultados

Se detalla el registro de la generación diaria de residuos sólidos por categoría en el Mercado Municipal de Pascuales, en la Tabla 1.

Figura 1: Generación diaria de residuos sólidos

Categoría	Generación diaria de residuos							
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	
	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	
Frutas y verduras	318	300	293	289	299	304	285	
Viveres y abastos	13	14	13,6	12,7	17,9	14,6	13,4	
Plásticos	2	1,7	1,4	1,7	1,4	1,3	1	□
Total	333	315,7	308	303,4	318,3	319,9	299,4	314

Se detalla los resultados obtenidos en la determinación de la densidad de los residuos recolectados durante los 7 días de muestreo en la Tabla 2.

Figura 2: Resultados de la densidad de los residuos

DÍA DE MUESTREO	DENSIDAD DE LOS RESIDUOS				
	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m3)	W1 PESO DEL RECIPIENTE VACIO (Kg)	W2 PESO DEL RECIPIENTE LLENO (Kg)	W PESO DE LA BASURA (Kg)	PESO DE LA DENSIDAD (Kg/m3)
1	0,229	7	65	58	253,275
2	0,229	7	58	51	222,707
3	0,229	7	57	50	218,341
4	0,229	7	59	52	227,074
5	0,229	7	63	56	244,541
6	0,229	7	61	54	235,808
7	0,229	7	55	48	209,607

Se pudo evidenciar que, en el día uno se registró el valor máximo de densidad de los residuos con un total de 253,275 kg/m³ mientras que el valor más bajo registrado fue en el día siete con un total de 209,607 kg/m³.

Desarrollo de un sistema de compostaje automatizado óptimo para los residuos sólidos orgánicos que se generan en el mercado municipal de Pascuales

Se presenta a continuación la ficha técnica con las funciones, características generales, especificaciones técnicas, recomendaciones de uso y precauciones del sistema de compostaje.

Nombre del Equipo: Máquina de compostaje

Función: Máquina de compostaje automatizada diseñada para facilitar la mezcla, aireación y control de las diversas fases del compostaje.

Características Generales: El diseño de la máquina de compostaje tiene las siguientes características: base fija de madera, cilindro de polietileno de alta densidad con capacidad de 50 gal; el sistema permite la oxigenación, mezcla y volteo del material, la recolección de lixiviados y mantiene las propiedades del compost.

Su peso aproximado es de 12 Kg, las dimensiones, alto 144cm, ancho 56cm, largo 135cm

Especificaciones Técnicas:

Materiales: Tubo de acero galvanizado 1" x 130 cm con cinco aspas de volteo, Tanque de polietileno de alta densidad 87 cm x 58 cm, Soporte de madera de 56 cm x 110 cm.

Capacidad: Motor eléctrico de ½ HP

Velocidad: El motor del sistema gira a una velocidad de 200 RPM

Voltaje de operación: El sistema deberá ser suministrado con 110 v y una fuente de 12 v a 3 A

Recomendaciones de uso: No sobrecargar al sistema a mayores cargas de la especificada, comprobar el seguro de la compuerta después de cargar o descargar, se debe presionar el pulsador para visualizar los datos de temperatura y humedad, para realizar una carga y descarga al sistema se recomienda desconectar de la energía eléctrica.

Precauciones: No exponer la máquina a lluvia, No dejar que la bomba opere sin agua en el reservorio, No manipular el sistema mientras se realiza el volteo del material orgánico.

Se logró desarrollar un sistema de compostaje automatizado que permitió aprovechar los residuos orgánicos, facilitar y mejorar el proceso de compostaje; obteniendo beneficios como: ahorro de tiempo, mano de obra, disminución de riesgos a la salud, control de temperatura y humedad, debido a la automatización de los procesos.

Se especifica el ingreso de 32 Kg de residuos orgánicos al sistema de compostaje, el tiempo de retención del proceso fue de 94 días obteniendo como producto final 8 Kg de abono orgánico y 2,37 L de lixiviados durante todo el proceso.

Sistema de monitoreo mediante placa de desarrollo Arduino, sensores y actuadores en la cámara de compostaje para la automatización de los procesos

El sistema de monitoreo tiene sensores de temperatura, humedad, ventilación, sistema rotatorio y riego, que fueron monitoreados por un microcontrolador Arduino que analizó la información y ejecutó acciones, esto permitió una descomposición adecuada de los residuos al interior del compostador. Los factores están interconectados para que operen de manera automatizada donde la temperatura máxima permitida durante la primera semana es 60 °C a partir de esa fase la temperatura máxima permitida es 50 °C. La temperatura mínima permitida durante el proceso fue de 35 °C y la temperatura óptima del proceso se mantuvo en 45 °C. La humedad máxima permitida es 70 %, humedad mínima permitida es 40 % y la humedad óptima del proceso se mantuvo en 55 % hasta la fase de mesófila II.

A partir de la fase de maduración la temperatura y humedad óptima se estabilizó en una nueva programación.

El sistema de monitoreo muestra en el display LCD, la palabra “INICIANDO”, fecha y hora y se debe actuar un pulsador para leer los datos de los sensores. Si la temperatura es \geq a 60 °C se activa el ventilador para disminuir la temperatura hasta 50 °C siendo la temperatura óptima (durante la primera semana). La segunda semana la temperatura óptima del proceso es de 45 °C. Si la temperatura es \leq a 35 °C se detiene el sistema de riego y ventilación en caso de que estén activados para que la temperatura ascienda a 45 °C.

Si la humedad es \geq a 70 % se enciende el ventilador hasta llegar a 55 % de humedad. Si la humedad es \leq a 40 % se activa el sistema de riego hasta llegar a 55 % de humedad siendo este el porcentaje óptimo del proceso.

El eje rotatorio se activa tres veces al día: 9:00 am – 15:00 pm – 21:00 pm por 15 segundos. El sistema está compuesto por varios componentes 1 Arduino nano con microcontrolador ATmega 328, 1 sensor de temperatura sumergible ds18b20, 1 sensor de humedad capacitivo v1.2, 3 relés que sirven como un interruptor mecánico dejando pasar la corriente y opera con voltajes bajos 5 V. Además de 3 transistores 2n2222a que regulan el flujo de corriente, 3 resistencias que se usan

para variar los valores de intensidad y voltaje, 1 módulo reloj ds3231 se utiliza para obtener mediciones del tiempo e incluso en condiciones donde no se dispone de energía, 1 bomba de agua sumergible que opera a 12 V con Hmax de 300 cm y Qmax de 240 L / H, 1 LCD display 16x2, 1 pulsador manual

para leer los datos de los sensores, 1 potenciómetro de 1 K sirve para ajustar la intensidad de la luz del led, 1 extractor reciclado que opera a 110 V a 1500 RPM, 1 motor reciclado con capacidad de ½ HP a 200 RPM, 1 placa PCB impresa en baquelita y 1 fuente de 12 V a 3 A se usó para alimentar la bomba y el microcontrolador Arduino nano

Datos obtenidos en el sistema de monitoreo a través del sensor de temperatura y Humedad

Se demuestra el funcionamiento del sistema de monitoreo propuesto, a continuación, se detallan los datos obtenidos del sensor de temperatura en la figura 1

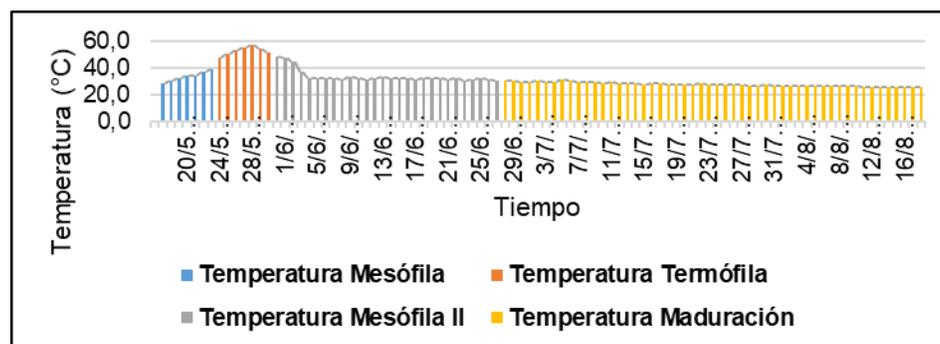


Figura 3: Sistema de Monitoreo a través del Sensor de Temperatura

Los resultados obtenidos en la Figura 1, indica la variación de la temperatura en las diversas fases del proceso de compostaje, la temperatura máxima se registró durante la fase termófila con un valor de 56,7 °C ya que en esta fase se acelera el proceso de descomposición de los residuos orgánicos debido a la actividad microbiana, lo que provoca el aumento de la temperatura. La temperatura mínima se registró durante la fase de maduración con un valor de 25,2 °C, durante esta fase la temperatura se empieza a estabilizar debido al agotamiento de las fuentes de carbono y nitrógeno en el material de compostaje.

En la tabla 3, se detalla los resultados estadísticos de media aritmética, moda, valor máximo, valor mínimo, varianza y desviación estándar de temperatura.

Figura 4: Resultados estadísticos de temperatura

Temperatura (°C)					
□	Moda	Temperatura Max	Temperatura Min	□ ²	□
31,8	32,4	56,7	25,2	53,13	7,29

La tabla 3, permitió conocer las medidas de dispersión obteniendo la temperatura media fue de 31,8 °C, la varianza 53,13 y la desviación estándar 7,29.

Se demuestra el funcionamiento del sistema de monitoreo propuesto, a continuación, se detallan los datos obtenidos del sensor de humedad, en la Figura 2

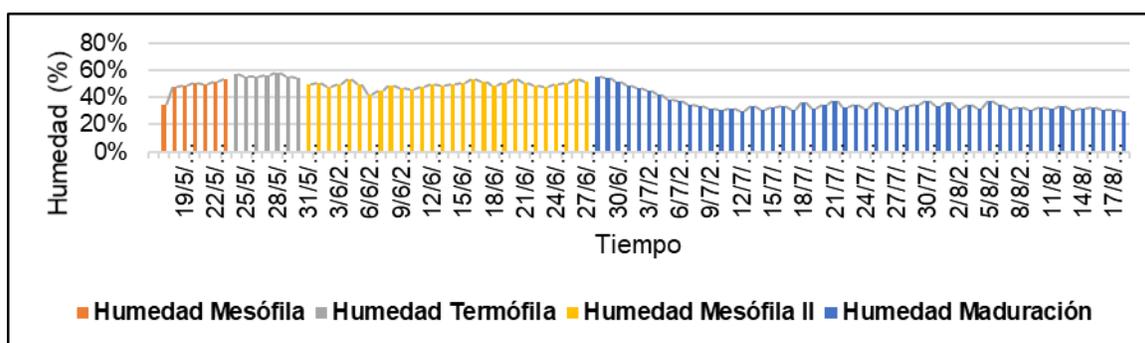


Figura 5: Sistema de Monitoreo a través del Sensor de Humedad

Los resultados obtenidos en la figura 4, indica la variación de la humedad en las diversas fases del proceso de compostaje, la humedad máxima se registró durante la fase termófila con un valor de 58 %, debido a la degradación de los residuos en esta fase la temperatura aumenta y el sistema de riego se enciende para disminuirla, por lo tanto, la humedad asciende. La humedad mínima se registró durante la fase de maduración con un valor de 30%, durante esta fase la humedad empieza estabilizarse debido al tamaño del material de compostaje dando lugar a la maduración del compost.

Análisis de laboratorio para comprobar la calidad pH, carbono, nitrógeno, fósforo, potasio y contenido de materia orgánica del compost

En la Figura 3, se muestran los resultados de los parámetros de calidad del abono orgánico obtenido de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN.

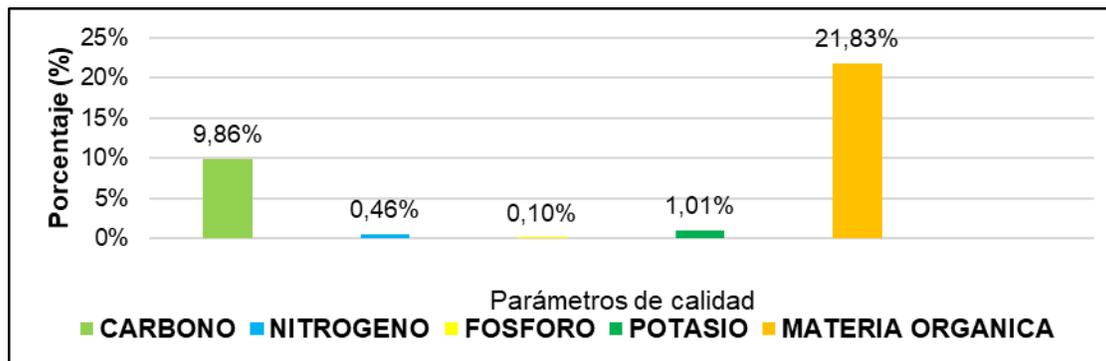


Figura 6: Resultados de Parámetros del Abono Orgánico Obtenido

En la Figura 3, se detallan los resultados de los parámetros de calidad del abono orgánico en una muestra de 1000 g; para Carbono 9,86 %, Nitrógeno 0,46 según la NTE INEN 2025:2013, %, Fósforo 0,10 % según la NTE INEN 233:2013, Potasio 1,01 %, según la NTE INEN 235:2013 y contenido de materia orgánica 21 % según el Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola, para determinar la concentración de carbono orgánico en abono orgánico se aplicará el método gravimetría, mismos que cumplieron con los rangos de calidad permitidos por la Norma Técnica Ecuatoriana a excepción de Carbono con un valor de 9,86 % que está levemente por debajo del límite permitido y Potasio con 1,01 % que está levemente por encima del rango permitido.

Discusión

De acuerdo con Acurio et al., (1997) en su estudio “Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe” la mala gestión de los residuos sólidos en un mercado se debe a que la población no consideran ni miden el impacto negativo que pueden ocasionar, en el presente estudio se presenta una propuesta para disminuir los impactos negativos al ambiente.

En el estudio realizado por López (2009), en el distrito de Las Lomas, el 70% de los residuos generados son principalmente orgánicos (frutas, verduras y residuos de procesamiento de alimentos), el 10% de los residuos generados corresponde a los residuos de vidrio, de acuerdo a los resultados obtenidos en el mercado municipal estudiado el 71,11 % de los residuos corresponden a material orgánico.

Con el desarrollo del sistema de compostaje automatizado se logró aprovechar los residuos orgánicos generados en el mercado, obteniendo beneficios como: ahorro de tiempo, dinero, mano de obra, disminución de riesgos a la salud, control de temperatura y humedad, debido a la automatización de los procesos, tal como lo afirma Wang et al.,(2014) quién construyó un sistema de compostaje pequeño y un dispositivo de volteo que debido a su bajo costo de implementación permitió mejorar la función de mezcla de la materia prima, la temperatura, la permeabilidad y ajustar la humedad.

El sistema de monitoreo propuesto permitió controlar las condiciones necesarias para garantizar la adecuada descomposición de los residuos orgánicos en el interior del compostador, brindando rapidez en la lectura de datos y la facilidad en el manejo, además se admite una reprogramación del control de temperatura y humedad en las diferentes etapas del proceso de compostaje debido al microcontrolador Arduino. Algo similar ocurre con el autor Jaramillo Monge (2017) en su trabajo investigativo titulado “Diseño de un sistema automático de producción de abonos orgánicos sólidos, mediante la técnica de fermentación aeróbica en la Granja Agroecológica de la Fundación Cambugán, Pintag” el mismo que utilizó un sensor FC-28 para medir la humedad y un sensor tipo K para registrar datos de la temperatura.

El estudio de Aguilar (2020)“Aprovechamiento de los desechos orgánicos en la elaboración de compost mediante la implementación de un sistema mecánico amigable con el ambiente” en el evaluó la calidad de un abono orgánico que dio como resultado; pH de 7,58, macroelementos del compost: 1,64 % N, 20,39 % C, 1,21 % K , 1,2 % P y 35,07 % de materia orgánica. El abono obtenido del sistema de compostaje desarrollado en este estudio presenta propiedades aceptables por la FAO (2013), pH 6,31, C 9,86 %, N 0,46 %, P 0,10 %, K 1,01 % y materia orgánica 21,83 %.

Conclusiones

El manejo actual de residuos sólidos en el mercado es ineficiente, debido a que carece de un sistema de separación, falta de contenedores existe presencia de vectores en el interior y exterior del mercado. Se caracterizaron los residuos sólidos orgánicos generados en el mercado donde se evidenció que la mayor parte de los residuos generados son residuos orgánicos.

Se consiguió desarrollar un sistema de compostaje automatizado que permitió el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en el mercado.

El sistema de monitoreo propuesto determinó que la temperatura máxima durante el sistema de compostaje fue de 56,7 °C y la mínima de 25,2 °C, mientras que la humedad máxima del proceso fue del 58 % y la mínima de 30 %, estos valores están dentro de los límites permitidos de acuerdo con el Manual de Compostaje del Agricultor propuesto por la FAO.

Con el análisis de los parámetros de calidad se pudo determinar que el abono obtenido cumple con la mayoría de los rangos permitidos por la Norma Técnica Ecuatoriana.

Recomendaciones

Desarrollar alternativas con el fin de mejorar el manejo de los residuos sólidos orgánicos, como implementar puntos de separación en la fuente a través de capacitaciones al personal en el interior del mercado

Utilizar una cadena de transmisión en el sistema de compostaje, con la finalidad de que el motor tenga mayor fuerza para el volteo de todo el material al interior del compostador, el sistema debería ser completamente impermeable.

Aplicar un aditivo al sistema de compostaje, con el propósito de acelerar el proceso de obtención de abono orgánico y que este cumpla los estándares establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana.

Referencias

1. Abarza, F. (2012). Investigación aplicada vs investigación pura (básica). Recuperado 5 de febrero de 2021, de Abarzawordpress website:

- <https://abarza.wordpress.com/2012/07/01/investigacion-aplicada-vs-investigacion-pura-basica/>
2. Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P., & Zepeda, F. (1997). *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe* | Publications. Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Diagn%C3%B3stico-de-la-situaci%C3%B3n-del-manejo-de-residuos-s%C3%B3lidos-municipales-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>
 3. Aguilar, M. (2020). *Aprovechamiento de los desechos orgánicos en la elaboración de compost mediante la implementación de un sistema mecánico*. (Tesis de Pregrado). Universidad Agraria del Ecuador,Guayaquil. Recuperado de https://cia.uagraria.edu.ec/cia_inv_view.php?id=30177&option=view
 4. Arduino. (2013,septiembre 11). ¿Qué es Arduino? | Arduino.cl. Recuperado 2 de marzo de 2021, de Aprende a usar Arduino website: <https://www.arduino.cc/>
 5. *Arduino* (Tesis de Pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Texcoco. Recuperado de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/62545>
 6. Banco Mundial. (2018,septiembre 20). *Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes*. p. 38. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>

7. Cárdenas González, I. N., & Segovia Serna, L. D. (2011). *Media aritmética: Dificultades en alumnos del grado décimo* (Tesis de Pregrado, Universidad del Tolima). Universidad del Tolima, Ibagué. Recuperado de <http://repository.ut.edu.co/handle/001/1028>
8. Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2018, mayo 3). Según la última estadística de información ambiental: Cada ecuatoriano produce 0,58 kilogramos de residuos sólidos al día. Recuperado 21 de diciembre de 2020, de INEC website: <https://n9.cl/7mncb>
9. Grajales, T. (2000). Tipos de investigación [Educativa]. Recuperado de Tgrajales.net website: <http://tgrajales.net/investipos.pdf>
10. Instituto Nacional de Estadística y Censos, & Asociación de Municipalidades Ecuatorianas. (2018). Ecuador—Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2016. Recuperado 19 de enero de 2021, de <https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/640/overview>
11. Jaramillo Monge, D. (2017). Diseño de un sistema automático de producción de abonos orgánicos sólidos, mediante la técnica de fermentación aeróbica en la granja agroecológica de la Fundación Cambugán, Pintag (Tesis de Pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito. Recuperado de <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/14696>
12. López, J. L. F. (2009). Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos. *Municipalidad Distrital de Las Lomas, 1*, 12-36. Recuperado de http://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/elibros_internet/55777.pdf
13. Milman, O. (2018, abril 18). Americans waste 150,000 tons of food each day – equal to a pound per person. *The Guardian Edition*. Recuperado de <http://www.theguardian.com/environment/2018/apr/18/americans-waste-food-fruit-v> NTE

- NTE INEN. INEN 233:2013 Fertilizantes o abonos. Determinación cuantitativa del fósforo., AG 03.02-312 § (2013).
14. NTE INEN. NTE INEN 235:2013 Fertilizantes o abonos. Determinación del potasio soluble en agua., AG 03.02-314 § (2013).
15. NTE INEN. NTE INEN 236:2013 Fertilizantes o abonos. Determinación de la acidez libre., 23AG 03.02-315 § (2013).
16. NTE INEN. NTE INEN 2025:2013 Fertilizantes o abonos. Determinación del nitrógeno total conteniendo nitratos. , AG 03.02-317 § (2013).egetables-study
17. Organización de Naciones Unidas. (2017). Aumenta la generación de residuos en América Latina y el Caribe mientras 145.000 toneladas aún se disponen de forma inadecuada cada día—ONU. Recuperado de <http://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/aumenta-la-generacion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe>
18. Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor—Experiencias en América Latina. 1*, 21-65. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
19. Vásquez, E. I. (2020). *Los desechos: Un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos* [Informativo]. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>
20. Wang, T., Xin, H. B., Xue, Z. Y., Li, Q. L., Cui, D. Q., Liu, L., & Xin, Y. F. (2014). The Design of a Small Composting System and Turning Device—III Central European Conference on Logistics. *Applied Mechanics and Materials*, 2, 496-500. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.496-500.869>

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).