

Diseño de un sistema de adquisición de datos ambientales generados en la producción de composta

A. Hernández Machuca^{1*}, M. A. Arenas Mendez², A. N. Aradillas Ponce³

^{1*}Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, Prol. Av. Art. Tercero Constitucional S/N, Solidaridad, C.P. 93990, Pánuco, Ver., México

²Departamento de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, Prol. Av. Art. Tercero Constitucional S/N, Solidaridad, C.P. 93990, Pánuco, Ver., México

³Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, Prol. Av. Art. Tercero Constitucional S/N, Solidaridad, C.P. 93990, Pánuco, Ver., México

^{1*}armando.hernandez@itspanuco.edu.mx, ²manuel.arenas@itspanuco.edu.mx,

³nelly.aradillas@itspanuco.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El propósito del presente proyecto es diseñar un sistema que permita monitorear las variables físicas que caracterizan el proceso de la elaboración de composta -temperatura, ph, humedad- mediante el uso de sensores y un sistema de adquisición de datos con la finalidad de optimizar el proceso, identificando oportunidades de mejora en razón a los elementos de la composta y las propiedades que resulten, así como las características del producto final.

Palabras clave: Composta, sensores, sistema, monitoreo.

Abstract

The purpose of this project is to design a system that allows monitoring the physical variables that characterize the composting process -temperature, pH, humidity- through the use of sensors and a data acquisition system in order to optimize the process, identifying opportunities for improvement due to the elements of the compost and the properties that result, as well as the characteristics of the final product.

Keywords: Compost, sensors, system, monitoring.

Introducción

Los residuos sólidos municipales representan un grave problema ambiental y social que está estrechamente relacionado con el tamaño de la población de una zona específica. El aprovechamiento de los residuos generados en la elaboración de una composta, que resulta ser un abono orgánico que se genera por degradación microbiana controlada de materiales orgánicos acomodados en capas y llevado a cabo de manera natural.

Existen muchos beneficios conocidos de la composta por ejemplo mejora la sanidad y crecimiento de las plantas, mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, amortigua cambios de pH, aumenta la retención de humedad, y es una importante fuente de nutrientes para las plantas entre otras.

El presente proyecto tiene como propósito el diseño de una herramienta que permita medir, seguir y monitorear los parámetros ambientales de materia orgánica, permitiendo identificar el nivel de madurez de la composta mediante el uso de tecnologías basadas en el Internet de las Cosas.

Metodología

Composta

Al proceso por el cual se elabora composta se ha denominado "compostaje". El uso de tecnologías para el compostaje son diversas y los productos finales son variados en su composición, color, textura, consistencia, etc., en base a los residuos y el proceso que les dio origen. Tiempo atrás se han realizado diversos experimentos que han permitido conocer en gran medida los fundamentos científicos relacionados con el compostaje. Este proceso requiere de oxigenación (aeróbico) y agua en cantidad suficiente, en razón a la temperatura; genera cierta cantidad de calor (proceso exotérmico), bióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua. Los organismos mezclados en el proceso son un conjunto de bacterias, hongos y microfauna. Las cadenas alimenticias son complicadas y dinámicas, y la edad del proceso influye en su composición, por los diferentes y variados elementos. El compostaje se asemeja a una ecológica, en donde primeramente existen ciertos organismos que son paulatinamente remplazados por otros y éstos, a su vez, sucesivamente por otros hasta el agotamiento de todos los nutrientes esenciales. Al finalizar el proceso, la composta es estable, esto es, no se descompone, no crecen en ella animales, hongos o bacterias y puede almacenarse largo tiempo sin perder sus propiedades.

La composta es el material que se obtiene como producto de la acción microbiana controlada sobre residuos orgánicos tales como hojas, rastrojos, zacates, cascaras, basuras orgánicas caseras, subproductos maderables, ramas, estiércol, y residuos industriales de origen orgánico; con estos residuos en forma separada o bien mezclados, se forman las pilas y montones, que por acción de los microorganismos dan origen a un material (materia orgánica) de gran utilidad para los suelos agrícolas ya que mejora la estructura y la fertilidad de estos.

El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas y que con la adecuada humedad y temperatura permite crear materia orgánica de buen aprovechamiento para el suelo.

El compostaje es un conjunto de procesos metabólicos complejos realizados por diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost.

Al descomponerse el C, el N y toda la materia orgánica, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Con base a la temperatura generada durante el proceso, se identifican tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

1. **Fase Mesófila.** El material inicial comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por lo tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).
2. **Fase Termófila o Higienización.** Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina.

Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. A partir de los 60°C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores.

- 3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II.** Agotadas las fuentes de carbono y nitrógeno en el material de compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40°C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.
- 4. Fase de Maduración.** Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

El proceso de compostaje dependerá en gran medida de las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas empleadas, y otros elementos, por lo que algunos parámetros pueden variar. No obstante, éstos deben estar bajo vigilancia constante para que siempre estén siempre dentro de un rango óptimo.

Parámetros Ambientales de la Composta

Ya que el compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, se deben tener en cuenta los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Los parámetros ambientales considerados en el proceso de la composta son los siguientes:

- 1. Temperatura:** La actividad microbiana produce un incremento en la temperatura atribuido a las oxidaciones biológicas exotérmicas; esta fase se llama termofónica y es donde ocurre la descomposición más rápida de la materia orgánica.
- 2. Humedad:** La actividad biológica disminuye cuando el contenido de humedad es menor de 12%; si existe un exceso de humedad, hay descenso en la temperatura y producción de olores desagradables; cuando la circulación de oxígeno es limitada y los contenidos de humedad son del orden del 60%, la actividad microbiana disminuye; la humedad óptima se encuentra en el rango de 50% a 70%.
- 3. Aireación:** En el proceso de composteo, el oxígeno se requiere para el metabolismo aeróbico, ligado a la oxidación de moléculas orgánicas presentes en el material por descomponer. Por lo que generalmente se requiere incrementar la aireación por medio de volteos periódicos de las pilas; con estas acciones, además de suministrarse oxígeno, se disipa el calor producido dentro de la pila.
- 4. Oxígeno:** El consumo de oxígeno es directamente proporcional a la actividad microbiana; por lo que existe una relación directamente proporcional entre el oxígeno consumido y la temperatura. La mayor cantidad de oxígeno se requiere durante la fase inicial de la descomposición, debido al crecimiento de la población microbiana, el incremento en la temperatura y la gran cantidad de actividad bioquímica; durante la fase de estabilización, la demanda de oxígeno decrece.

Internet de las cosas (IoT)

Desde el comienzo de ARPANET en 1969, que interconectaba unos pocos sitios, hoy se predice que Internet interconectará 50 000 millones de objetos para el año 2020.

En la actualidad, Internet proporciona conexiones globales que hacen posible que exista la navegación web, los medios sociales y los dispositivos móviles inteligentes.

En la evolución de Internet se pueden identificar cuatro fases:

1. Conectividad, relacionada con la digitalización del acceso a la información a través del correo electrónico, navegación web y la búsqueda de información a través de la web.
2. Economía interconectada, correspondiente a la digitalización de los procesos empresariales a través del comercio electrónico, cadenas de suministro digitales y herramientas de colaboración.
3. Experiencias cooperativas, relacionada con la digitalización de las interacciones empresariales y sociales.
4. Internet de todo, correspondiente a la digitalización del mundo a través de la conexión de personas, procesos, datos y objetos.

El IoT consiste en la conexión de personas, procesos, datos y objetos. La información que genera la conexión de estos elementos permite tomar decisiones y acciones que crean nuevas capacidades para personas, empresas y países.

Las interacciones que se pueden crear a través del IoT son las siguientes:

- Personas que se comunican con personas (P2P)
- Maquinas que se comunican con personas (M2P)
- Maquinas que se comunican con máquinas (M2M)

La implementación del Internet de las cosas en las organizaciones permite brindar valor en las siguientes áreas: experiencia del cliente, innovación, productividad, utilización de los recursos y abastecimiento.

La construcción de proyectos de IoT se basa en el uso de la computación física y la conectividad de redes de datos para compartir información en tiempo real.

Computación física es la construcción de sistemas interactivos físicos mediante el uso de software y hardware que pueden sentir (sensores) y responder (actuadores) al mundo analógico. Se basa en la construcción de dispositivos que incluyen microcontroladores, sensores y actuadores, que pueden tener capacidades de comunicación con la red u otros dispositivos.

La computación física hace uso de sistemas electrónicos, los cuales están integrados por los siguientes elementos:

- **Entradas:** corresponden a sensores que toman señales analógicas o digitales del mundo físico y las convierte en corriente o voltaje.
- **Procesador:** corresponde a un microcontrolador que manipula, interpreta y transforma las señales.
- **Salidas:** corresponde a los actuadores que convierten la corriente o voltaje en señales físicamente útiles.

Análisis del sistema

Para la recopilación y análisis de los parámetros óptimos de la composta, se realizó una investigación en el área local en busca de lugares donde elaboraran composta, por lo que a través de la SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) se obtuvo información sobre las empresas o particulares dedicadas a crear composta, una vez obtenida la información se optó por entrevistar a los productores.

Una vez analizado el proceso de compostaje por medio de la entrevista realizada, se determinó que los parámetros ambientales necesarios para la correcta elaboración de una composta de calidad era la medición de la temperatura, humedad, acidez y oxigenación.

Posteriormente se establecieron los requerimientos funcionales del sistema con base a las necesidades del personal encargado de seguir y monitorear el proceso de del proceso de compostaje. Los requerimientos principales del sistema son los siguientes:

- Adquirir y almacenar datos del sistema de compostaje por medio de los sensores de temperatura, porcentaje de humedad, porcentaje de oxígeno y grado de acidez, almacenar en la base de datos.
- Visualizar de manera gráfica cada uno de los datos obtenidos a través de los sensores, con propósito de permitir identificar los rangos de cada sensor.
- Identificar y notificar parámetros no deseados a través de semáforo indicadores con base a la configuración de niveles óptimos y críticos, para permitir una toma de decisiones de manera oportuna, y a su vez proporcionar recomendaciones.

Se determinó una primera versión, la que estará integrada por una aplicación de escritorio, un servidor web, y un sistema electrónico de adquisición de datos.

Diseño del sistema

La arquitectura del sistema se encuentra integrada por cuatro elementos: sensores, microcontrolador, servidor web y la aplicación de escritorio. En la Figura 1 se muestra la arquitectura diseñada para el sistema.

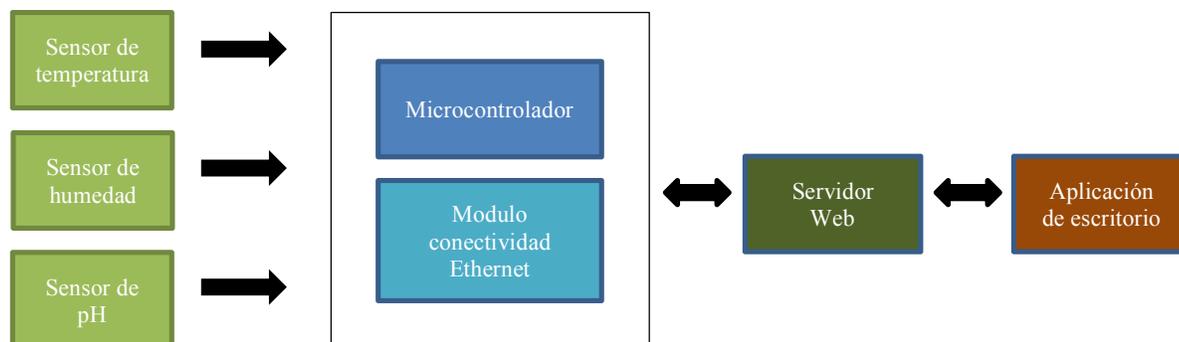


Figura 1. Arquitectura del sistema

Los sensores permitirán adquirir los datos correspondientes a temperatura, humedad y pH; los datos adquiridos a través de los sensores son procesados a través de un microcontrolador y compartidos a través de una red de datos, que para este sistema se propone el uso de la tarjeta Arduino Uno combinado con la tarjeta Ethernet Shield para el envío de la información hacia el servidor web; el servidor web a través de la implementación del protocolo HTTP adquirirá y almacenará la información correspondientes a los parámetros ambientales, para posteriormente procesarla y compartirla con la aplicación de escritorio; la aplicación de escritorio permite visualizar los datos de manera gráfica, y a su vez emitirá notificaciones y recomendaciones con base a los parámetros de temperatura, humedad y pH adquiridos.

Resultados y discusión

En una primera etapa se realizó la construcción del sistema electrónico en base a las especificaciones de cada uno de los sensores, y se realizaron pruebas de envío de datos por medio de la Ethernet Shield corroborando que se estuviera enviando los datos al servidor web creado a través de Apache, PHP y MySQL para la recolección de los datos, ya que en el solo se encuentra la conexión hacia la base de datos que almacena los parámetros ambientales, en la aplicación de escritorio a través de C# se realiza una consulta a la bases de datos para poder visualizar los parámetros ambientales a través de PHP y MySQL de lado del servidor, para la graficación de los parámetros ambientales. Para el intercambio de inforacion entre las aplicaciones se utiliza el método POST.

En la Figura 2 se muestra el prototipo construido para para la realización de pruebas de envío de datos hacia el servidor web.

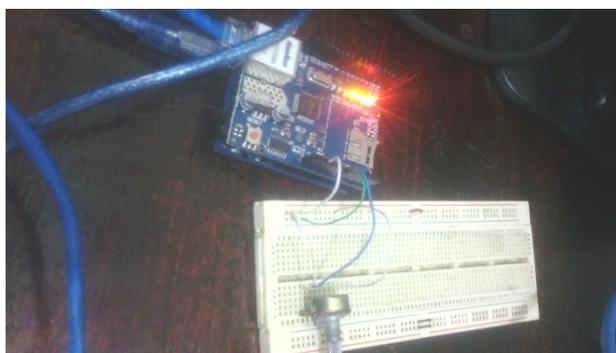


Figura 2. Prototipo de prueba de envío de datos

Una vez realizadas las pruebas de envi de los datos se dio a la tarea de crear una conexión en el servidor HTTP apache, para la recepción de los datos, una vez verificado que los datos se encuentran enviando de manera estable, creamos una conexión para el almacenamiento de los datos en el sistema gestor de bases de datos utilizado, en nuestro caso utilizamos MySQL para el almacenamiento de los datos, en nuestro gestor diseñamos

una base de datos con las tablas necesarias para el correcto almacenamiento de los datos enviados por los sensores, en la Figura 3 se muestra el almacenamiento de los datos enviados por los sensores.

id	valortem	valorhu	valorph	valorox	hora
1	50	40	6	20	2017-05-29 15:49:51
2	50	40	6	20	2017-05-29 15:54:11
3	42	32	6	35	2017-05-29 15:54:33
4	42	32	6	35	2017-05-29 15:54:34
5	50	33	8	36	2017-05-29 15:54:36
6	50	33	8	36	2017-05-29 15:54:38
7	50	33	8	36	2017-05-29 15:54:40
8	50	33	8	36	2017-05-29 15:54:41
9	50	33	8	36	2017-05-29 15:54:43
10	50	33	8	36	2017-05-29 15:54:45
11	60	40	9	40	2017-05-30 16:03:00
12	55	30	6	30	2017-05-31 13:57:59
13	40	45	8	20	2017-06-01 13:59:59
14	45	30	7	15	2017-06-01 02:00:00

Figura 3. Tabla de parámetros ambientales

En la Figura 4 se muestra la interfaz gráfica de la aplicación de escritorio desarrollada, en la que se muestra gráficamente datos adquiridos de los sensores implementados.

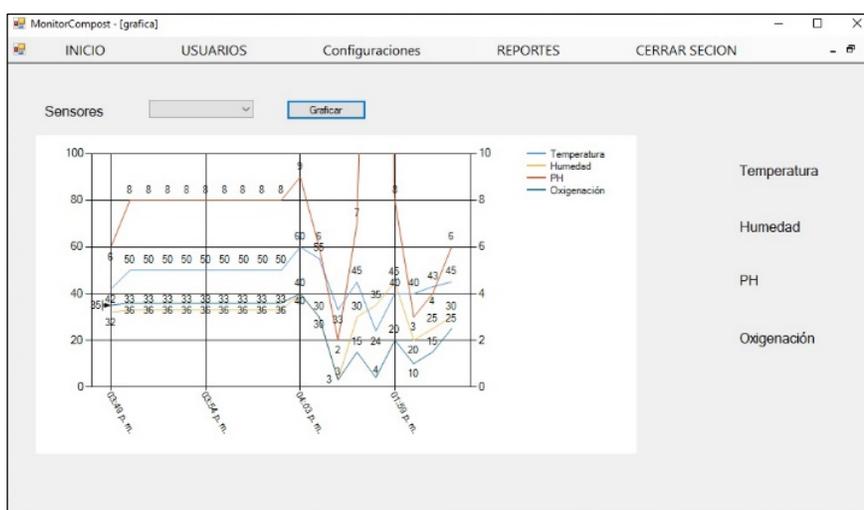


Figura 4. Aplicación de escritorio desarrollada

Trabajo a futuro

El presente trabajo proporcionar información sobre la adquisición de datos correspondientes a sensores de temperatura, humedad y pH, los cuales son procesados a través de la tarjeta Arduino Uno y el Shield Ethernet. El trabajo a futuro del presente proyecto es integrar la tecnología desarrollada a un contenedor de composta con el propósito de realizar un prueba piloto del proyecto, realizar un análisis y retroalimentación de los resultados, para posteriormente definir las especificaciones del sistema, para buscar crear un contenedor automatizado de creación de composta a base de materia orgánica.

Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos en el desarrollo del presente proyecto, se buscar realizar el diseño de un contenedor automatizado para la creación de composta, a través de la utilización de tecnologías móviles, web, sensores, actuadores, microcontroladores, y tecnologías de conectividad, permitiendo generar composta de manera eficiente y sustentable.

Referencias

1. ARDUINO. (20 de 06 de 2017). ARDUINO. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShieldV1>
2. Cedillo, P. L. (2013). Elaboración de composta. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, Subsecretaría de Desarrollo Rural, Mexico, DF. Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx>
3. CONAGUA. (11 de 05 de 2017). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. Obtenido de <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
4. Dimitrov, K. (22 de 11 de 2016). Arduino Project hub. Obtenido de Arduino Thermometer with DS18B20: <https://create.arduino.cc/projecthub/TheGadgetBoy/ds18b20-digital-temperature-sensor-and-arduino-9cc806>
5. Economía, S. d. (17 de 02 de 2017). Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. Obtenido de IPYMETEC: <http://www.pymetec.gob.mx/>
6. Instituto Nacional de Ecología. www.ine.gob.mx
7. Llamas, L. (19 de 01 de 2016). Ingeniería, Informática y Diseño. Obtenido de Tutoriales Arduino: <https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>
8. Llamas, L. (27 de 06 de 2016). Ingeniería, Informática y Diseño. Obtenido de Tutoriales Arduino: <https://www.luisllamas.es/temperatura-liquidos-arduino-ds18b20/>
9. Manager, C. (23 de 02 de 2017). CompostManager. Obtenido de CompostManager: <http://www.compostmanager.com>
10. Román, P., Martínez Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR. Experiencias en América Latina, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile. Recuperado el 17 de Febrero de 2017, de www.fao.org/home/es
11. Rodríguez, M. y Cordova, A. Manual de compostaje municipal (tratamiento de residuos sólidos urbanos), https://books.google.com.mx/books?id=4qzWh_ulfXMC&printsec=frontcover&dq=definicion+composta+a+base+de+materia+organica+mexico. Primera ed. septiembre 2016.
12. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. www.semarnat.gob.mx