

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEXCOCO  
INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN



# Prototipo de un compostador de uso doméstico automatizado con Arduino

TESIS

Que para obtener el Título de  
Ingeniero en Computación

Presenta

Ayala Cadena Omar

Director de tesis

M. en I.S.C. Irene Aguilar Juárez

Revisor (es) de tesis

Dr. En C. Alfonso Zarco Hidalgo

Dr. En C. Oziel Lugo Espinosa

Texcoco, Estado de México, a 9 de Diciembre de 2014

# RESUMEN

El presente trabajo tiene la finalidad de mostrar el desarrollo de un innovador prototipo de compostador automatizado para la utilización de los desechos orgánicos que son generados en un hogar, en donde se muestra el diseño, desarrollo e implementación tanto de un prototipo como del sistema que automatizará los procesos necesarios para la elaboración de fertilizante mediante la composta.

Para poder realizar este trabajo fue necesario conocer sobre el tema de composta, sus técnicas y las fases que se presentan en la descomposición de los desechos orgánicos que son generados en el hogar, ayudando a la reutilización de éstos para producir un fertilizante natural en un promedio de 30 días con el uso de un compostador.

De modo que para poder producir este fertilizante es necesario reunir las características necesarias para que se pueda llevar a cabo la descomposición de los desechos por medio de microorganismos que aceleran este proceso. Sin embargo los compostadores que actualmente existen necesitan de la supervisión e intervención de las personas que hagan uso de ellos, por lo cual se puede implementar un sistema que controle las condiciones adecuadas dentro de un compostador para que se pueda llevar a cabo la descomposición de basura orgánica.

En otras palabras hoy en día no se tiene conocimiento de aquellos compostadores en los que se aplica automatización sin embargo estos compostadores son para uso en exteriores y la forma de automatización se puede mejorar al implementar dentro de un compostador un sistema que controle las condiciones adecuadas y necesarias se reduce drásticamente la supervisión e intervención de las personas en el proceso de producción de fertilizante mediante la composta. Para lograr esto es necesario diseñar un modelo de compostador en el que se puedan procesar todos los desechos orgánicos generados en un hogar que aproximadamente son de 4 a 6 kg por semana, además de poder controlar el ambiente adecuado en el interior del compostador para que por medio de sensores (temperatura y humedad) se pueda monitorear y lograr que los microorganismos encargados de la descomposición de los desechos no mueran por no controlar este ambiente.

Además de los sensores que se utilizaran también se hará uso de motores los cuales tendrán la tarea de airear y generar oxígeno dentro del compostador además de descompactar los desechos en el interior del compostador.

Finalmente con este prototipo de compostador se podrán realizar las pruebas necesarias y mejorar los aspectos necesarios para la producción de fertilizante mediante la descomposición de desechos orgánicos generados en los hogares.

# CONTENIDO

<i>Resumen</i> .....	<i>ii</i>
<i>Dedicatoria</i> .....	<i>iii</i>
<i>Agradecimientos</i> .....	<i>iv</i>
<i>Contenido</i> .....	<i>v</i>
<i>Listado de Tablas</i> .....	<i>1</i>
<i>Listado de Figuras</i> .....	<i>2</i>
<i>Planteamiento de la Investigación</i> .....	<i>4</i>
<i>Introducción</i> .....	<i>4</i>
<i>Organización de la Tesis</i> .....	<i>7</i>
<i>Definición del Problema</i> .....	<i>9</i>
<i>Justificación</i> .....	<i>11</i>
<i>Objetivo General</i> .....	<i>14</i>
<i>Hipótesis</i> .....	<i>14</i>
<i>Capítulo 1 Estado del Arte</i> .....	<i>15</i>
<b>1.1 La idea de Reducir, Reusar y Reciclar.</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2 Innovación en la disposición de los Residuos Sólidos Urbanos en México.</b> .....	<b>16</b>
1.2.1 Evolución de los Compostadores .....	17
<i>Capítulo 2 Marco Teórico</i> .....	<i>19</i>
<b>2.1 Composta</b> .....	<b>19</b>
2.1.1 Tipos de Composta .....	20
2.1.2 Selección de Materiales para elaborar Composta .....	21
2.1.3 Fases de la Composta .....	23
2.1.4 Factores para una Composta Ideal .....	24
<b>2.2 Modelos de Compostador</b> .....	<b>27</b>
2.2.1 Compostadores Domésticos .....	28
2.2.2 Compostadores Comerciales .....	31
<i>Capítulo 3 Modelado de Prototipo</i> .....	<i>35</i>
<b>3.1 Modelado de Gestión y Modelado de Datos</b> .....	<b>35</b>
3.1.1 Especificación de Requerimientos .....	36
3.1.2 Casos de Uso .....	40

3.1.3	Diagramas de Actividades .....	46
3.1.4	Diagrama Electrónico .....	47
<b>3.2</b>	<b>Modelado de Proceso.....</b>	<b>48</b>
3.2.1	Selección y descripción de sensores, dispositivos electrónicos y materiales .....	48
3.2.2	Sensores .....	54
<b>Capítulo 4 Desarrollo del Prototipo.....</b>		<b>62</b>
<b>4.1</b>	<b>Generación de Aplicación .....</b>	<b>63</b>
4.1.1	Desarrollo de Software .....	64
4.1.2	Desarrollo de Hardware .....	66
<b>4.2</b>	<b>Pruebas de Entrega .....</b>	<b>68</b>
<b>Capítulo 5 Resultados .....</b>		<b>73</b>
<b>5.1</b>	<b>Análisis de Resultados.....</b>	<b>78</b>
<b>Conclusiones .....</b>		<b>83</b>
<b>Bibliografía.....</b>		<b>85</b>
<b>Anexos .....</b>		<b>87</b>
<b>A.1</b>	<b>Lenguaje Arduino.....</b>	<b>87</b>
A.1.1	Estructura general de un sketch .....	87
A.1.2	Uso de mayúsculas, minúsculas, tabulaciones y puntos y comas en Arduino .....	87
<b>A.2</b>	<b>Programa del Sistema Compostador .....</b>	<b>91</b>
<b>A.3</b>	<b>Funcionamiento del Prototipo de Compostador .....</b>	<b>94</b>

## LISTADO DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i>	<i>Formato de Especificación de Requerimientos de Software.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2.</i>	<i>Caso de Uso Monitorear Temperatura.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 3.</i>	<i>Caso de Uso Monitorear Humedad.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4.</i>	<i>Caso de Uso Activar/Desactivar riego.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 5.</i>	<i>Caso de Uso Activar/Desactivar descompactación.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 6.</i>	<i>Caso de Uso Activar/Desactivar aireación.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 7.</i>	<i>Caso de Uso Colocar desechos en el compostador.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 8.</i>	<i>Caso de Uso Retirar los desechos del compostador.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 9.</i>	<i>Caso de Uso Verificar nivel de agua.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 10.</i>	<i>Cuadro comparativo entre modelos de compostador y el prototipo para minimizar la intervención de las personas.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 11.</i>	<i>Lista de materiales y precios del material del prototipo.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 12.</i>	<i>Lista de materiales de electrónica y precios.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 13.</i>	<i>Alternativas de implementación.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 14.</i>	<i>Lista de electrónica sustituyendo la placa Arduino.....</i>	<i>82</i>

## LISTADO DE FIGURAS

<b>FIGURA 1. TIPOS DE COMPOSTADORES DOMÉSTICOS</b> .....	4
<b>A. MALLA METÁLICA, B. PALOS DE MADERA, C. DE LADRILLOS Y D. DE BIDÓN (TAMBO)</b> .....	4
<b>TOMADO DEL MANUAL DEL BUEN COMPOSTADOR</b> .....	4
<b>FIGURA 2. TIPOS DE COMPOSTADOR COMERCIALES</b> .....	5
<b>A. COMPOSTADOR CONVERTER, B. COMPOSTADOR EARTH MACHINE Y C. TERRAVIVA</b> .....	5
<b>TOMADO DE INTERNET</b> .....	5
<b>FIGURA 3. COMPOSICION DE LOS RSU EN MÉXICO, 2011. TOMADO DEL CAPÍTULO 7 DEL INFORME DE LA SEMARNAT “RESIDUOS”</b> .....	12
<b>FIGURA 4. COMPOSTADOR DE MALLA METÁLICA. TOMADO DEL MANUAL DEL BUEN COMPOSTADOR</b> .....	29
<b>FIGURA 5. COMPOSTADOR DE PALOS DE MADERA. TOMADO DEL MANUAL DEL BUEN COMPOSTADOR</b> .....	29
<b>FIGURA 6. COMPOSTADOR DE LADRILLOS. TOMADO DEL MANUAL DEL BUEN COMPOSTADOR</b> .....	30
<b>FIGURA 7. COMPOSTADOR DE BIDÓN. TOMADO DEL MANUAL DEL BUEN COMPOSTADOR</b> .....	30
<b>FIGURA 8. COMPOSTADOR CONVERTER. TOMADO DE INTERNET (EVENGREENER.COM)</b> .....	32
<b>FIGURA 9. COMPOSTADOR EARTH MACHINE. TOMADO DE INTERNET (EARTHMACHINE.COM)</b> .....	33
<b>FIGURA 10. COMPOSTADOR TERRAVIVA. TOMADO DE DECORACION 2.0 TU BLOG DE DECORACION</b> .....	34
<b>FIGURA 11. DIAGRAMA DE CASO DE USO DEL SISTEMA COMPOSTADOR</b> .....	41
<b>FIGURA 12. DIAGRAMA DE ACTIVIDADES DEL SISTEMA COMPOSTADOR</b> .....	47
<b>FIGURA 13. DIAGRAMA ELECTRÓNICO DEL SISTEMA COMPOSTADOR</b> .....	47
<b>FIGURA 14. SENSOR DE TEMPERATURA LM35DZ. TOMADO DE COSAS DE INGENIERÍA</b> .....	55

<b>FIGURA 15. SENSOR DE HUMEDAD HIH-4030. TOMADO DE COSAS DE INGENIERÍA</b>	<b>57</b>
<b>FIGURA 16. SERVOMOTOR MG996R. TOMADO DE COSAS DE INGENIERÍA</b>	<b>58</b>
<b>FIGURA 17. MICRO MOTORREDUCTOR. TOMADO DE COSAS DE INGENIERÍA</b>	<b>59</b>
<b>FIGURA 18. MOTOR DC. TOMADO DE INTERNET (ALIBABA.COM)</b>	<b>60</b>
<b>FIGURA 19. CONEXIÓN PARA EL SISTEMA COMPOSTADOR 1</b>	<b>68</b>
<b>FIGURA 20. CONEXIÓN PARA EL SISTEMA COMPOSTADOR 2</b>	<b>68</b>
<b>FIGURA 21. PRUEBA 1</b>	<b>70</b>
<b>FIGURA 22. PRUEBA 2</b>	<b>71</b>
<b>FIGURA 23. PRUEBA 3</b>	<b>72</b>
<b>FIGURA 24. MECANISMO DE RIEGO, ASPA Y VENTILACIÓN</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 25. UBICACIÓN DE LA PLACA ARDUINO Y PLACA AUXILIAR</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 26. PROTOTIPO VISTO DESDE ARRIBA</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 27. PARTE TRASERA DEL PROTOTIPO</b>	<b>75</b>

# PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene como objetivo final la implementación de un sistema que automatizará algunos procesos en la elaboración de composta orgánica implementado en un prototipo de compostador innovador para uso doméstico. Estos procesos fueron identificados y seleccionados para que el sistema sustituyera la intervención que tienen las personas que elaboran composta, esto es con la finalidad de minimizar la interacción del usuario con la manipulación en la elaboración de composta y reduciendo de manera significativa este problema, además de esto se podrá reutilizar aquellos desechos orgánicos producidos en el hogar y se podrá obtener un fertilizante natural para que sea aprovechado en los jardines y hortalizas de aquellas personas que hagan uso de este tipo de reciclaje.

El término de composta orgánica se refiere generalmente al producto final de la descomposición de aquellos residuos sólidos que son generados en el hogar y en cualquier otro lugar en el que haga uso de productos orgánicos. Sin embargo para entender claramente que es composta, la SAGARPA la define como: *“La composta es un abono orgánico que se forma por la degradación microbiana de materiales acomodados en capas y sometidos a un proceso de descomposición; los microorganismos que llevan a cabo la descomposición o mineralización de los materiales ocurren de manera natural en el ambiente”* (SAGARPA, 2013).

Existen diferentes modelos de compostador de tipo doméstico como se observa en la Figura 1:

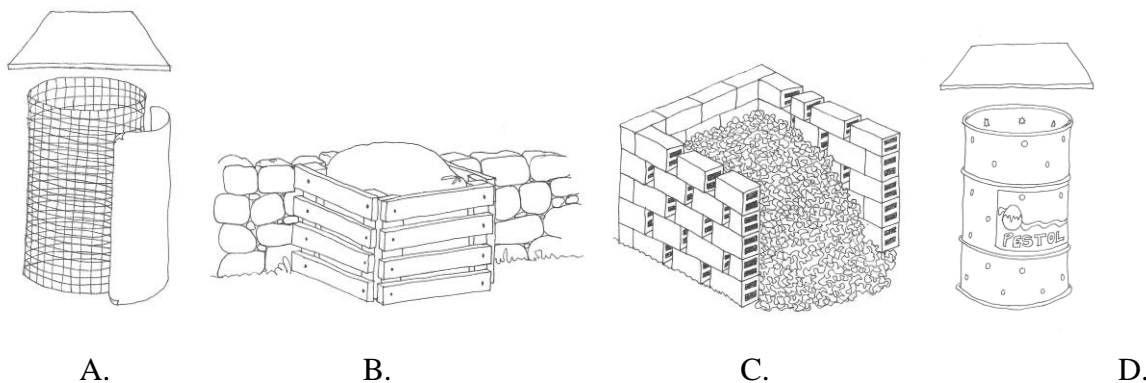


FIGURA 1. TIPOS DE COMPOSTADORES DOMÉSTICOS  
A. MALLA METÁLICA, B. PALOS DE MADERA, C. DE LADRILLOS Y D. DE BIDÓN (TAMBO)  
TOMADO DEL MANUAL DEL BUEN COMPOSTADOR

Incluso existen modelos de compostador comerciales como los que se muestran en la Figura 2:



FIGURA 2. TIPOS DE COMPOSTADOR COMERCIALES  
A. COMPOSTADOR CONVERTER, B. COMPOSTADOR EARTH MACHINE Y C. TERRAVIVA  
TOMADO DE INTERNET

Estos modelos presentados para la generación de composta, nos muestran que en los últimos años la creciente necesidad de procesar los desechos orgánicos domésticos ha ido en aumento, así como la necesidad de procesar estos desechos a manera de obtener un beneficio al producir un fertilizante natural como es la composta, de igual forma se ha tomado conciencia de lo importante que es la separación de basura y el reciclaje.

Cada uno de los ejemplos vistos hasta ahora nos detallan las características mínimas que debe tener un prototipo de compostador, ahora la producción de composta se logra a través de la descomposición de los desechos orgánicos por medio de microorganismos los cuales pueden ser aeróbicos o anaeróbicos (microorganismos que necesitan del aire para vivir o no), éstos son los encargados de descomponer cada uno de los desechos orgánicos que se introduzcan en el compostador pero no son el único factor necesario para la producción de composta.

Además de los microorganismos es necesario tener las condiciones adecuadas para que la descomposición se lleve a cabo, una de estas condiciones es la humedad y la temperatura, las cuales deben de ser adecuadas en cada una de las fases de descomposición de los desechos, estas fases son:

1. Fase de Latencia y crecimiento.
2. Fase de Termófila.
3. Fase de Maduración. (Ambiente G. d., 2005)

Finalmente un factor que también es esencial es la aireación, esto es la oxigenación dentro del compostador, esto se realiza para evitar que los microorganismos mueran por falta de oxígeno, por alta o baja temperatura y/o la falta o exceso de humedad. Esto nos da una idea clara de que para la elaboración de composta no se trata solamente de recolectar los desechos orgánicos en un gran recipiente y dejar que la naturaleza haga lo suyo (descomponer los desechos), sino que es todo un proceso, que puede llegar a ser difícil; ya que se deben de controlar las condiciones necesarias para que la producción de composta sea la correcta y se pueda utilizar en los jardines, macetas o suelos en los que se puede aprovechar este fertilizante natural.

Para poder controlar estas condiciones es posible desarrollar un sistema automatizado y se puede lograr mediante la implementación de nuevas tecnologías que hoy en día existen. Entre estas nuevas tecnologías se encuentra Arduino. *“Arduino es una plataforma de creación de prototipos electrónicos de código abierto basado en flexibilidad, hardware y software fácil de usar”* (Arduino, 2013). Esta herramienta nos permite generar diversas soluciones a los problemas de la vida cotidiana, es decir, es de gran ayuda para la elaboración de nuevos sistemas, proyectos, aplicaciones, prototipos, etc.

Una de sus principales características es que el entorno de desarrollo es mediante software libre, además cuenta con su propio lenguaje de programación para quien lo aplique en el ámbito de sistemas, además tiene la capacidad de poder adaptarse a las necesidades y dispositivos que se requieran para su aplicación, en otras palabras, es capaz de controlar diversos dispositivos como son motores, servomotores, leds, lcd, sensores, etc. En fin una gran variedad de dispositivos electrónicos que puedan ser necesarios para resolver algún problema en específico.

Ahora bien, como se ha mencionado el propósito de esta tesis es el desarrollo de un prototipo en el que se automatice la producción de composta, lo cual se logrará mediante la aplicación de un sistema desarrollado en Arduino y de un modelo de compostador innovador, con la finalidad de automatizar aquellos procesos que pueden ser controlados por un sistema eléctrico-electrónico para mantener y controlar las condiciones óptimas y necesarias dentro del prototipo para la producción de fertilizante.

Así los desechos orgánicos que son producidos en los hogares serán utilizados de una manera correcta y además se tendrá al final de la descomposición de estos, un fertilizante natural que puede ser utilizado en las plantas y jardines que se tengan en el hogar.

Finalmente la producción de composta mediante un compostador ayudará en gran medida a la preservación del medio ambiente y a disminuir los niveles de basura que son generadas y a la utilización de los desechos orgánicos producidos en los hogares.

## ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Para contribuir con el cuidado del medio ambiente y disminuir la contaminación del suelo existen técnicas que permiten reutilizar los desechos orgánicos generados en un hogar. La composta es una de las técnicas que se puede utilizar pero no se tiene información suficiente acerca de este método de reciclaje para poder hacer llevarla a cabo en el hogar.

Por lo que para el primer capítulo se describirán y se hará mención de los trabajos relacionados con este proyecto, la manera en cómo se ha ido tratando la disposición de los residuos que son generados en el hogar, es decir, la forma en que la basura ha ido aumentando y la manera de reducir esta problemática por medio de nuevas técnicas y practicas por parte de la sociedad y de las diferentes acciones que los países preocupados por el cambio climático han ido implementado a lo largo de los años, finalizando este capítulo con la evolución que los compostadores han sufrido y con la descripción de un prototipo que fue creado para reusar la basura orgánica sin embargo sus dimensiones son grandes y solo puede hacer uso de él en espacios considerados grandes, es por esto que se pretende hacer un prototipo de compostador para espacios pequeños.

En el capítulo dos se explican los conceptos necesarios para comprender mejor lo que es composta. Lo cual se lleva a cabo principalmente por medio de la descomposición de aquellos desechos orgánicos que pueden ser procesados por microorganismos ya sean del tipo aeróbico y anaeróbico, en otras palabras, por medio de microorganismos que necesiten o no del aire para subsistir. Generalmente esta descomposición la realiza la naturaleza, pero para nuestro caso este proceso es un tanto lento y sin las condiciones necesarias para poder obtener un fertilizante.

Actualmente existen diversas maneras de llevar a cabo una composta por medio de la utilización de compostadores para llevar esta descomposición de desechos, un ejemplo clásico son aquellos que pueden fabricarse en casa con materiales de bajo costo pero que necesitan de un espacio relativamente grande para que pueda ser utilizado como procesador de desechos orgánicos, por otro lado cuando se hace uso de nuevos materiales se pueden crear compostadores más complejos que puedan controlar en su interior las condiciones básicas para descomponer los residuos orgánicos. Lamentablemente ninguno de estos modelos de compostador (es), tanto los domésticos o caseros como los comerciales tienen automatización por lo que es necesario que aquellas personas que hagan uso de estos compostadores estén al pendiente de su composta, para poder terminar con el proceso de descomposición de los residuos sólidos generados en el hogar.

Viendo la necesidad de automatizar aquellos procesos que pueden ser controlados por medio de mecanismos eléctrico-electrónicos y tener el ambiente adecuado para la descomposición de desechos. Para resolver este problema se propone un sistema que controle las condiciones necesarias dentro del interior de un innovador prototipo de compostador para ser utilizado en aquellos hogares en donde el espacio es insuficiente y hacer uso de compostadores de gran magnitud además de que ocupan un espacio considerable. Para desarrollar el programa que controle estas condiciones se hará uso de una placa llamada Arduino, la cual es una placa de

experimentación que contiene entradas y salidas digitales-analógicas según sea el caso de aplicación, de la misma manera tiene una interfaz para conectarse a una computadora y desde esta realizar el programa que controlara todos los actuadores y sensores conectados a ella.

Por lo que en el tercer capítulo se explica el modelado del prototipo, en esta sección se describirán los requerimientos necesarios para poder hacer el desarrollo del prototipo así como los diferentes diagramas en los que se detallará el funcionamiento de cada uno de los componentes que formarán parte del prototipo de compostador. De la misma manera se describen los diversos sensores, dispositivos electrónicos y los materiales que son utilizados para su implementación, así como la comunicación entre la placa y los dispositivos conectados a ella.

Para el capítulo cuatro se documentará el desarrollo del prototipo en cuanto a la construcción del prototipo, el desarrollo del software y hardware así como las pruebas de los componentes y de las interfaces funcionales que el prototipo tiene para monitorear las condiciones adecuadas para la descomposición de los desechos mediante los microorganismos.

En el quinto capítulo se documentan los resultados arrojados por el funcionamiento del prototipo en uso real y comparando estos resultados con la utilización de un modelo de compostador doméstico de las mismas capacidades con las que el prototipo trabaja. Para evaluar los resultados y verificar que la funcionalidad del prototipo es eficaz y eficiente para la elaboración del fertilizante y la reutilización de los desechos orgánicos generados en el hogar al hacer uso de este prototipo innovador. Además se comprobará que la intervención de las personas se minimiza al hacer uso de un compostador automatiza ya que se creara una autonomía del compostador para realizar tareas repetitivas y en las cuales las personas deben destinar un cierto tiempo y esfuerzo para realizar las mismas acciones.

Finalmente se discuten las conclusiones en las que se hará mención de las ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de compostadores domésticos y comerciales y como mejoraría el funcionamiento de estos al aplicar automatización en los procesos en los que se puede hacer uso de la tecnología actual implementado hardware y software libre, como Arduino en el desarrollo de proyectos.

# DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En una familia promedio de 5 personas se generan aproximadamente de 4 a 6 kilogramos de desechos orgánicos como basura de jardinería, frutas, verduras incluso comida. Sin embargo en el mayor de los casos este tipo de residuos sólidos no son reciclados y generalmente son depositados en los camiones recolectores de basura y estos a su vez llevan estos desperdicios a rellenos sanitarios autorizados, en consecuencia estos desperdicios generan gases invernadero al mezclarse con los demás desechos.

Para minimizar la contaminación ambiental es necesario separar la basura, de tal manera que los residuos sólidos orgánicos puedan ser utilizados para la generación de un fertilizante natural mediante la aplicación de compostadores, sin embargo los compostadores que actualmente existen tanto los domésticos como los comerciales necesitan de la intervención de las personas que hagan uso de estos.

Esta intervención es necesaria para que la descomposición de los desechos orgánicos se lleve a cabo ya que debe de colocar la basura orgánica dentro del compostador y deben de controlar la temperatura y humedad que se genera en la composta además debe de airear (descompactar) la composta para que exista oxígeno suficiente y los microorganismos encargados de descomponer los desechos orgánicos no mueran por falta de oxígeno y/o exceso-falta de humedad y temperatura.

Esto provoca que las familias que hacen uso de estas prácticas deben dedicarle tiempo a su composta; desde la elaboración y diseño del compostador doméstico que usará de acuerdo a sus necesidades y a la cantidad de desechos orgánicos producidos en su hogar, asimismo el almacenamiento debe de ser acorde a la basura generada lo cual depende del diseño del compostador.

Ahora bien al tener almacenados la cantidad de desechos orgánicos en el compostador, debe de existir un ambiente adecuado en él, para que los microorganismos empiecen con el proceso de descomposición de manera tal que algún miembro de la familia debe de mantener una temperatura y disminuirla si es necesario con humedad (agua) para que los microorganismos no mueran de igual manera si existe demasiada humedad se debe de compensar con el aumento de temperatura por lo que se debe de controlar cada una de estas condiciones las veces que sean necesario para que se pueda obtener el fertilizante.

Con el paso del tiempo la composta se irá compactando por la humedad y la temperatura existentes en ella esto ocasionara que el oxígeno dentro de la composta disminuya y para aumentar la cantidad de oxígeno es necesario airear (descompactar) la composta para que de igual manera los microorganismos no mueran y por consecuencia puedan descomponer todos los desechos existentes.

Existen actualmente compostadores comerciales que pueden funcionar como un compostador domestico compacto, sin embargo tienen la misma problemática en general que es la intervención de la gente que haga uso de este tipo de compostadores, de modo que estos tipos de compostadores se detectó nula automatización de procesos, esta situación dificulta el uso masivo de estos aparatos, pues no todas las familias tienen la información necesaria para generar su propia composta.

Por esta razón se pudo identificar que se necesitan automatizar aquellos procesos en los que la intervención del ser humano pueda ser mínima y controlada por un mecanismo o dispositivo electrónico para realizar los procesos en la elaboración de composta mediante la descomposición de desechos.

# JUSTIFICACIÓN

En los últimos años el incremento de la población ha sido un factor importante para que los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados en los hogares incrementen de manera considerable, de modo que la reutilización de los empaques, embalajes y desperdicios que son generados por los productos utilizados en el día a día durante las actividades cotidianas dentro del hogar aún no se realiza completamente, es decir, la mayoría de los empaques y embalajes de productos pueden ser reciclados y utilizados para otros fines con el propósito de reducir la contaminación de suelos al tirarlos a la basura y que estos desechos sean tirados en rellenos sanitarios. Por el contrario los desechos orgánicos como son la basura de jardinería, cáscaras de frutas y verduras así como restos de comida aún son tirados en la basura, por lo que se está perdiendo una oportunidad de reutilizar estos para generar un fertilizante natural por medio de la descomposición.

La generación de este tipo de RSU ha ido en aumento, según el periódico OEM *“Una familia mexicana promedio de 5 integrantes, genera de 4 a 6 kg de residuos orgánicos a la semana, si esa cantidad no se desecha y se recicla por medio del composteo, generarían una gran alternativa medioambiental ya que una sola familia produciría en 6 meses 120 Kg. de residuos de esta naturaleza (composta)”* (Prensa, 2013). Este fertilizante natural ayuda a la composición química de suelos y puede ser utilizado en la siembra de hortalizas o ser un abono natural para jardines y plantas de maceta. Sin embargo al no tener información suficiente acerca de cómo reutilizar estos desechos orgánicos lamentablemente la comunidad sigue generando contaminación, la cual no ha disminuido, por el contrario seguirá aumentando de manera considerable si no se modifica esta situación.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) ubica en el noveno lugar a México en cuanto a la generación de basura, de lo cual puede entenderse que nuestro país no es un gran generador de basura pero si es necesario hacer que la población cree conciencia en cuanto a la composición de RSU generados en el hogar (OCDE, 2014). La Figura 3 muestra una gráfica que representa los diferentes tipos de RSU generados en el país.

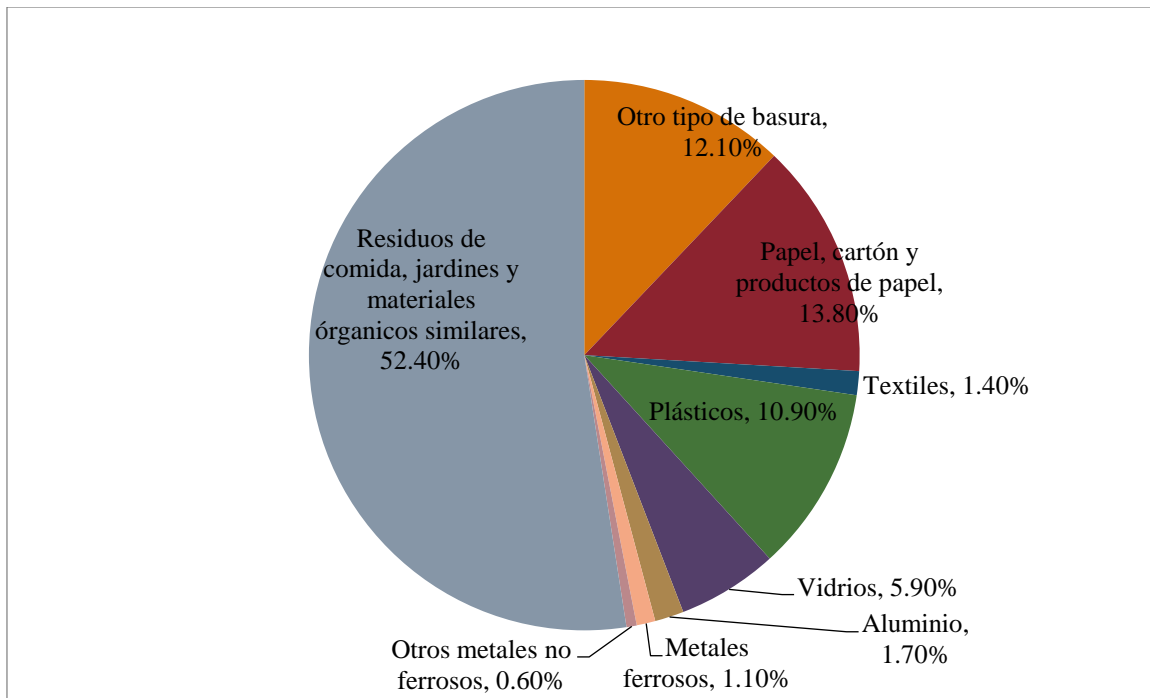


FIGURA 3. COMPOSICION DE LOS RSU EN MÉXICO, 2011. TOMADO DEL CAPÍTULO 7 DEL INFORME DE LA SEMARNAT “RESIDUOS”

Como se puede observar los desechos orgánicos son los RSU que más se generan y estos pueden ser utilizados para la elaboración de composta, lo cual beneficia al medio ambiente al poder reutilizar los desechos orgánicos generados en el hogar y beneficiar a las personas que hacen uso de prácticas como la composta al generar un fertilizante natural.

Por estas razones es necesario efectuar diversas acciones para promover el uso de compostadores, al hacer uso de cualquier tipo de ellos (doméstico o comercial), se puede reutilizar la basura orgánica, esto es un beneficio para las familias, pues mediante ellos se lograría disminuir la basura generada en sus hogares.

Disminuir la generación de RSU mediante un compostador tiene impacto en otros aspectos ambientales pues la contaminación de RSU genera (SEMARNAT, Bases para Legislar la Prevención y Gestión Integral de Residuos, 2006):

- Generación de contaminantes y gases de efecto invernadero: la descomposición de residuos orgánicos produce biogases que resultan desagradables no sólo por los olores que generan, sino que pueden ser peligrosos debido a su toxicidad o por su explosividad. Algunos de ellos son también gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático global. Entre estos gases destacan el bióxido y monóxido de carbono ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$ , respectivamente), metano ( $\text{CH}_4$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y compuestos orgánicos volátiles (COVs, como la acetona, benceno, estireno, tolueno y tricloroetileno).

- Adelgazamiento de la capa de ozono: las sustancias agotadoras del ozono (SAO) que se emplean en la fabricación de envases de unicel, como propulsores de aerosoles para el cabello, en algunas pinturas y desodorantes, plaguicidas, así como en refrigeradores y climas artificiales contribuyen, al ser liberadas a la atmósfera, al adelgazamiento de la capa de ozono. Cuando los envases de estos productos son desechados de manera inadecuada se convierten en fuentes de emisión de SAO.
- Contaminación de los suelos y cuerpos de agua: la descomposición de los residuos y su contacto con el agua puede generar lixiviados (es decir, líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales) que contienen, en forma disuelta o en suspensión, sustancias que se infiltran en los suelos o escurren fuera de los sitios de depósito. Los lixiviados pueden contaminar los suelos y los cuerpos de agua, provocando su deterioro y representando un riesgo para la salud humana y de los demás organismos.
- Proliferación de fauna nociva y transmisión de enfermedades: los residuos orgánicos que se disponen atraen a un numeroso grupo de especies de insectos, aves y mamíferos que pueden transformarse en vectores de enfermedades peligrosas como la peste bubónica, tifus murino, salmonelosis, cólera, leishmaniasis, dengue y fiebre amarilla, entre otras. (SEMARNAT, Bases para Legislar la Prevención y Gestión Integral de Residuos, 2006) (SEMARNAT, Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México 2005, 2006)

Por otro lado al hacer uso de compostas con los métodos conocidos actualmente, es necesario la intervención de las personas durante su elaboración y procesos, ya que se debe de controlar la temperatura y humedad existente para que los microorganismos que llevan a cabo el proceso de descomposición no mueran así como descompactar la composta cuando sea necesario. Es por esta razón que al desarrollar un prototipo que implemente un sistema de automatización de procesos como los mencionados anteriormente (controlar humedad y temperatura) y también llevar a cabo la descompactación (aireación) de la composta por medio de mecanismos eléctrico-electrónico con la finalidad de disminuir la intervención de las personas para elaborar composta.

Por lo que la automatización de los procesos de producción de la composta orgánica como es la aireación, el control de humedad y la temperatura para la obtención de fertilizante como producto final facilitarán que las familias aprovechen sus desperdicios orgánicos y disminuyan la producción de basura en su hogar y por ende en su localidad.

# OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de un compostador automatizado con Arduino para procesar los desechos orgánicos de uso doméstico.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Definir las características del proceso de la composta para desechos orgánicos domésticos.
- ✓ Evaluar y seleccionar dispositivos electrónicos necesarios para el desarrollo del prototipo.
- ✓ Desarrollar el software de automatización del proceso de composta.

# HIPÓTESIS

Desarrollar el prototipo de compostador de uso doméstico con tecnología hardware y software libre permite disminuir los costos de producción respecto al desarrollo usando software y hardware comerciales, lo cual facilita la implementación real del prototipo.

# Capítulo 1

## ESTADO DEL ARTE

El presente estado revisa algunos ejemplos relevantes de aquellos trabajos que han tocado el tema de innovación en cuanto a la disposición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) además de concentrarme en el diseño y construcción de un prototipo automático para preparar composta realizado por el Ing. Julio Torres Sandoval que se tocara en la tercera parte de este estado, cada uno de estos aportes y estudios serán descritos detalladamente.

### 1.1 La idea de Reducir, Reusar y Reciclar.

Con la idea de poder reducir, reusar y reciclar los RSU se genera un nuevo paradigma a nivel mundial al crear conciencia en cuanto a la adquisición de los diversos productos que utilizamos en el transcurso del día y de nuestras vidas y de la forma en cómo nos deshacemos de las envolturas, empaques, embalajes, etc. con los que están fabricados dichos productos; que finalmente generan basura y son un factor importante en el descuido del medio ambiente, ya que los desechos son tirados en su mayoría y existen algunos países en los que se aplica este nuevo paradigma.

Una tendencia para enfrentar las montañas de basura en el mundo se basó en el cambio de paradigma en torno a los desechos en cuanto a su definición y en cómo se dispone de ellos; es muy diferente llamar basura a algo que “desechos reciclables” lo que significó un gran cambio en Estados Unidos y este cambio modificó la idea de los desechos ya que ahora se vigila en este país el ciclo del material con el que están hechos los productos que utilizan día a día y si es posible reusarlo o reciclarlo.

La Unión Europea, por su parte, sigue hablando del manejo de los desechos, pero se centra en tres principios ((CESOP), 2012):

- a) Prevención de los desechos. Pretende incidir en el diseño y la manufacturación de los bienes más contaminantes y, en general, en los procesos que derivan en un mayor porcentaje de desechos.
- b) Reuso o reciclado. Esta estrategia se centra en facilitar el reciclado y promover que los bienes puedan ser reusados.
- c) Disposición adecuada. Esta última estrategia se dirige a identificar y procesar adecuadamente los desechos en su destino final.

Pero quizá la tendencia más radical es la iniciativa de Cero desechos seguida por Nueva Zelanda y Australia, la cual se centra en reducir al máximo la generación de desechos desde la

producción dándole seguimiento cercano a los materiales para lograr mejor uso en el ciclo y eliminar los desechos finales de los productos que son adquiridos por las personas para su consumo o uso dentro de sus hogares.

Dado que la idea es disminuir o en su caso darle una nueva utilidad a los RSU que son generados en una comunidad inclusive en un país, es necesario que la población entienda las consecuencias que repercuten en el medio ambiente al generar una cantidad considerable de basura en sus hogares y de la mala disposición que se hace de los RSU al no tratar de reusarlos, reciclarlos o reducir el consumo de productos que nos necesarios.

Es decir, en para poder llevar a cabo la idea expuesta anteriormente es necesario que la población cuente con información necesaria para que de esta manera se tenga conciencia que los desechos pueden ser aprovechados, para un fin, por ejemplo en los hogares se produce una gran cantidad de desechos orgánicos que pueden ser utilizados para la fabricación de composta, al hacer uso de la composta se puede reducir gran parte de los desechos generados en el hogar y también se tiene un beneficio al poder contar con un abono natural que se produce con la composta. De esta manera las personas que hagan uso de estas opciones estarán ayudando al cuidado del medio ambiente.

## 1.2 Innovación en la disposición de los Residuos Sólidos Urbanos en México.

Según Francisco J. Sales Heredia (2012) existe una tendencia en cuanto a la relación de RSU y el daño que provocan al medio ambiente, que es causado por el desarrollo que ha seguido la humanidad. De manera que el manejo de los residuos se centra en la reducción progresiva de ellos, el reciclaje de los materiales desechados y una mejor disposición final que se adecue a la salvaguarda del medio ambiente y no a la que actualmente existe en México que es la de disponerlos en rellenos sanitarios autorizados y no autorizados.

De modo que para finales de 2003 se promulgó una Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, y a partir de dicha ley la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) ha producido un diagnóstico y un programa nacional para la prevención y gestión integral de los residuos ((CESOP), 2012).

Sin embargo en el país se cuenta con dos tipos de sitios de disposición final:

- Los rellenos sanitarios
- Los rellenos de tierra controlados

Por lo que el principal problema de los residuos es su disposición, durante años simplemente se enterraban o se amontonaban en un lugar a cielo abierto (como los mencionados anteriormente), sin embargo tanto el crecimiento de la población como el consumo de productos manufacturados han hecho impráctico e irresponsable este tipo de prácticas. Por lo que desde hace 20 años se inició un proceso de disposición más ordenada y en sitios controlados pero persiste la quema o entierro de basura en sitios no controlados.

Para darnos una idea de la contabilización de RSU y de lo que significan los sitios no controlados. En 2010, en las localidades con menos de 2,500 habitantes se contaban 6 millones 282 mil viviendas, al 39% de ellas le recogían la basura a domicilio, el 5% tiraba la basura en contenedores o basureros públicos, 53% la quemaba y el 2% la tiraba en terrenos baldíos o barrancas incluso ríos o el mar. Si se hace una aproximación a nivel nacional cerca de 260 mil toneladas de basura se tiran y 5 millones 800 mil toneladas se queman.

En contraste, en el país solo se recicla 1 millón 695 mil toneladas de residuos al año, cuando se puede reciclar más de la mitad de los RSU generados ((CESOP), 2012).

En otras palabras aquello que podía ser fácilmente reciclado para el año 2010 era el 77% de los residuos generados, dejando fuera los residuos que son más complicados de tratar; entonces es necesario implementar incentivos adecuados para poder reducir los desechos y propiciar el reciclado de los mismos.

### 1.2.1 Evolución de los Compostadores.

Los compostadores son herramientas para realizar el proceso de composta, estos pueden hacerse en una simple pila en donde se depositan los desechos orgánicos, sin embargo debe de tener una serie de requisitos como son:

- Sistema de ventilación para permitir la entrada del oxígeno.
- Sistema de cierre lateral para mantener las condiciones de temperatura.
- Sistema de cierre superior, para evitar la inundación por lluvia.
- Facilidad de apertura y manejo.

Al tener esto cuenta se pueden fabricar diversos compostadores del tipo doméstico como son: los de malla metálica, palos de madera, de ladrillos o de bidón (tambo). Cada uno de estos compostadores puede ser elaborado con materiales que son adquiridos fácilmente, sin embargo ocupan un espacio considerable y deben de ser colocados en lugares en los que se tenga un espacio y un lugar adecuado para él.

Por lo regular estos compostadores son ubicados en jardines para que las personas que hacen uso de estos puedan tenerlos vigilados y seguir con el proceso de la composta, es decir, deben de cuidar la temperatura, la humedad y el oxígeno existente dentro del compostador para la elaboración del fertilizante. Estas condiciones que son indispensables para que se lleve el proceso deben de ser las adecuadas para que no se interrumpa el proceso y se obtenga un fertilizante para ser utilizado en diversas aplicaciones dentro de la jardinería incluso en la agricultura en cuanto a la siembra de hortalizas.

Sin embargo con el paso del tiempo y con la llegada de nuevos materiales y la creación de nuevas tecnologías actualmente existen en el mercado diversos compostadores, los cuales ocupan el lugar de los compostadores domésticos de manera tal que ya no es necesario construir el compostador con malla o ladrillos; por otro lado algunos de estos nuevos compostadores tienen la idea original del compostador domestico de bidón (tambo), es decir, son hechos de un tambo

de plástico el cual funciona igual que un compostador de bidón, se tiene que airear, depositar los desechos y humedecer la composta.

Existen otras alternativas como son un tambo de metal en el que de igual manera se depositan los desechos y periódicamente se tiene que revisar la compactación de la composta, la cual se lleva a cabo mediante una especie de perilla que al darle vueltas el tambo comienza a girar para que la composta sea oxigenada y se descompacte, pero el problema de la humedad y la temperatura aún sigue resultando difícil de eliminar.

Relativamente el funcionamiento de un compostador sigue siendo el mismo ya sea casero o comercial en cuanto al proceso de la elaboración de la composta. Siendo de esto un proceso que puede ser automatizado mediante mecanismos que ayuden a reducir la intervención de la gente que haga uso de compostadores.

Es por eso que en el año 2010 el Ingeniero Julio Torres Sandoval diseño y construyó un prototipo automático para preparar composta, este prototipo es capaz de procesar un máximo de 3 Kg de RSU orgánicos al día de manera continua y realizar el compostaje por un tiempo aproximado de 30 días (Sandoval, 2010).

En cuanto a los criterios que considero en el diseño de su prototipo fueron:

1. La capacidad mínima de procesamiento del compostador de 3 Kg de RSU por día.
2. Tiempo de permanencia dentro del compostador de 30 días.
3. Consideró el tamaño de los residuos y de la mezcla de RSU introducidos en el compostador.
4. Además de las dimensiones del prototipo para que fuese fácil de ubicar y trasladar.
5. Utiliza aireación forzada por succión para mejorar el control de proceso de emisión de olores y aumentar la temperatura.
6. El prototipo está orientado a compostar materiales de origen vegetal. (Sandoval, 2010)

De acuerdo a estos criterios nos podemos dar cuenta que los compostadores comerciales y caseros, que actualmente existen y conocemos no cuentan con estas especificaciones para poder procesar la composta de manera automática, al aplicar estos criterios el Ingeniero Julio Torres Sandoval (2010) en su prototipo ideó una forma diferente de procesar los RSU sin que haya una intervención exagerada por parte de las familias que hacen uso de estos.

De manera tal que se revolucionó la idea del compostador al aplicar tecnología y automatización en ciertas partes del mismo. Con lo que la intervención de las personas que hagan uso de estas técnicas de reciclaje y reúso de los RSU disminuyó considerablemente respecto a los modelos convencionales de compostadores domésticos y comerciales.

# Capítulo 2

## MARCO TEÓRICO

La composta tiene sus orígenes con “*el inglés Albert Howard quien combino en la India sus conocimientos científicos con los tradicionales de los campesinos, lo que dio lugar al método, llamado Indore*” (CONSUMER, 2014), el cual se basaba en fermentar una mezcla de desechos vegetales y excrementos de animales, y humedecerla periódicamente.

Sin embargo el método de compostaje existe desde hace miles de años en donde los agricultores imitaban a la naturaleza al reunir los desperdicios orgánicos y por medio de la fermentación transformarlos en un abono para sus tierras teniendo un beneficio para sus tierras al hacerlas más fértiles y con una composición química adecuada para que sus cosechas fueran beneficiadas por este abono natural.

Para entender un poco más sobre la composta en este capítulo se detallará este tema a profundidad, de manera tal que se explique cada uno de los conceptos que serán utilizados a lo largo de la presente tesis. En este capítulo se detallarán temas sobre composta, sus definiciones, tipos de composta, material orgánico utilizado para producirla, así como también se explicarán algunos modelos que actualmente existen en el mercado y aquellos modelos que pueden ser contruidos en casa.

Finalmente en este capítulo se tocará el tema de las nuevas tecnologías que se pueden implementar a los modelos de compostadores existentes o crear nuevos modelos, al implementar tecnología Arduino a un prototipo de modelo de compostador se podrá reducir la intervención de las personas en la producción de composta y la elaboración del fertilizante como resultado final de la descomposición de los desechos orgánicos producidos en el hogar.

La tecnología utilizada será Arduino, será descrita y se mencionara el por qué la elección de esta tecnología y de sus beneficios que otorga para desarrollar proyectos como el de la presente tesis.

### 2.1 Composta

La composta es el proceso en el cual se recolectan diversos tipos de residuos orgánicos que son apilados para que se descompongan naturalmente y produzca un abono natural el cual servirá para darle nutrientes al suelo de jardines, macetas y hortalizas que se tengan en la casa.

Para que se lleve a cabo la composta necesita de ciertas características para que la descomposición de los desechos se realice, es decir, se debe de cuidar el proceso de composta para que los microorganismos encargados de descomponer los desechos orgánicos que son puestos en esta no mueran y sigan con el proceso de descomposición. De manera tal que para que

se lleve a cabo esto es necesario cuidar la humedad y el oxígeno existente dentro del compostador, sea del tipo que este sea.

En otras palabras si existe un exceso o falta de humedad a la composta y falta de oxígeno se podrían morir los microorganismos encargados de llevar a cabo el proceso de descomposición y por tanto no se finalizará el proceso de composta y producción del fertilizante natural.

Para que nos quede más claro que es la composta o el compostaje se mencionaran algunas definiciones, la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) menciona: *“La composta es un abono orgánico que se forma por la degradación microbiana de materiales acomodados en capas y sometidos a un proceso de descomposición; los microorganismos que llevan a cabo la descomposición o mineralización de los materiales ocurre de manera natural en el ambiente”*.

Mientras que el grupo de albarataldea (albarataldea, 2013) define a la composta como *“una técnica que imita a la naturaleza para transformar de forma más acelerada todo tipo de restos orgánicos, que se basa en un proceso biológico que se realiza en condiciones de fermentación aeróbica, con suficiente humedad”*.

De esta manera podemos concluir que la composta es el proceso por el cual los desechos se descomponen con la ayuda de microorganismos para lograr un fertilizante natural si el proceso se termina adecuadamente, y nos queda claro que la composta ha existido de forma natural y nos sirve para elaborar un producto que beneficia a los suelos donde es aplicado el abono.

### **2.1.1 Tipos de Composta**

La composta se divide prácticamente en dos variantes de acuerdo a los microorganismos que ayudan a la descomposición de los desechos orgánicos y de ellos depende que se logre una producción de fertilizante mediante la composta, se puede clasificar como (Daniel Sztern, 2013):

#### ***2.1.1.1 Composta aeróbica.***

Este tipo de composta se caracteriza principalmente por que los agentes (microorganismos) que se encargan de la descomposición de los desechos orgánicos necesitan del oxígeno para que lleven a cabo este proceso, de manera que, si en el interior de la composta existe una cantidad por debajo del límite de oxígeno estos morirán y no se terminara el proceso de putrefacción de los residuos. Generalmente este tipo de composta necesita de la supervisión de las personas que hagan uso de ellas ya que con el paso del tiempo la composta se compacta disminuyendo la cantidad de oxígeno dentro de la composta o compostador y la porosidad entre los desechos.

Por lo que es necesario revolver o descompactar la pila de desechos para que se oxigene nuevamente el interior de la composta y se siga con el proceso de descomposición, pero si el oxígeno necesario es insuficiente la composta no se terminara y como se había mencionado los microorganismos encargados de la descomposición morirán, sin embargo al descompactar la composta aunque algunos microorganismos mueran no todos se pierden (por ejemplo los hongos) y podría seguirse con el proceso de composta, sin embargo al tener la necesidad de

contar con oxígeno en la composta, en ocasiones las familias que hacen uso de ellas olvidan este aspecto y generalmente se les hace tedioso realizar la misma tarea en diversas ocasiones a lo largo del tiempo en el proceso de composta.

### ***2.1.1.2 Composta anaeróbica.***

Por otro lado la composta anaeróbica es aquella en donde los agentes no necesitan del oxígeno para realizar el proceso de compostaje, sin embargo este tipo de composta no es recomendable ya que produce olores fuertes que pueden llegar a ser desagradables para las personas que hagan uso de este tipo de composta.

Pero no necesariamente se debe a que los microorganismos no necesiten del oxígeno los causantes de los malos olores en una composta, existen diversas variables para que este comportamiento se dé, una de ellas son los materiales que son usados para la composta, otro sin lugar a dudas es la humedad y oxigenación existente en ella y que son parte importante para el proceso de descomposición o no de los desechos orgánicos introducidos en la composta.

Al mencionar los agentes principales que llevan a cabo el proceso de descomposición quienes son los causantes de este proceso en los desechos orgánicos producidos en el hogar y colocados en una composta, es como puede ser clasificada la composta. Principalmente estos desechos son restos de jardinería y productos orgánicos que son utilizados diariamente en los hogares y que en algunas ocasiones son tirados a la basura y no son usados en esta técnica de reciclaje.

Por un lado está la desinformación que existe en cuanto a este tipo de prácticas para reducir la generación de basura por hogar, mientras que por otro lado se encuentra la escasez de espacio para colocar o armar un compostador. De modo que se limita el uso de prácticas como es la composta.

## **2.1.2 Selección de Materiales para elaborar Composta**

Para poder elaborar una composta es necesario conocer los materiales (desechos) que se pueden utilizar para lograr un fertilizante adecuado para nuestros suelos, jardines u hortalizas. Es por eso que a continuación se enlistarán aquellos materiales que son adecuados para aplicar el compostaje.

### ***2.1.2.1 Materiales de rápida descomposición***

Estos materiales se descomponen en un periodo de 3 semanas a 2 meses.

- Hojas frescas.
- Restos de césped.
- Estiércol de animales de corral.
- Malezas jóvenes.

### *2.1.2.2 Materiales de descomposición lenta*

Se descomponen de los 2 meses a 4 meses dependiendo del tamaño de los residuos como los restos de frutas y verduras.

- Pedazos de frutas y verduras.
- Bolsas de infusiones de té y de café.
- Paja y heno viejo.
- Restos de plantas.
- Estiércol de caballos, burros y vacas.
- Flores viejas y plantas de macetas.

### *2.1.2.3 Descomposición muy lenta*

Estos materiales se desintegran en un tiempo de 4 meses a 1 año.

- Hojas de otoño.
- Ramas podadas.
- Aserrín de madera no tratada.
- Cascara de huevo.
- Cascaras de frutos secos.
- Lana e hilos naturales.
- Pelos y plumas.
- Huesos de frutas (aguacate, aceitunas, etc.)

### *2.1.2.4 Otros materiales que pueden ser usados en la composta en cantidades pequeñas*

La cantidad que se puede usar de estos materiales debe ser menos de 10 gramos, por un lado porque el papel puede absorber demasiada humedad y tener malos olores por esta causa, también si el papel usado tiene tintas o la madera es tratada pueden causar toxicidad en la composta.

- Ceniza de madera (espolvoreada).
- Cartón, cartones de huevo, servilletas, bolsas y envases de papel.
- Periódicos (en pequeñas cantidades).

### *2.1.2.5 Evitar*

Se deben evitar los siguientes materiales en la composta para no tener presencia de moscas, hormigas o roedores cerca del compostador inclusive pueden generar olores desagradables.

- Carne y pescado.
- Productos derivados de la leche.
- Productos que contengan levaduras y/o grasas.
- Ceniza de carbón.
- Heces de perros y gatos.

- Pañales desechables.
- Revistas ilustradas.
- Restos de la aspiradora.
- Filtros de cigarros.
- Tejidos sintéticos.

Como observamos la lista que nos proporciona el Manual de Compostaje de Amigos de la Tierra (Tierra, 2014). Se observan aquellos desechos orgánicos que podemos utilizar y los no orgánicos pero en cantidades pequeñas para que el proceso de composta se pueda llevar a cabo.

Esto nos proporciona información valiosa en cuanto a que materiales podemos usar y cuáles no para una composta, aquellos que se descomponen más rápido que otros y finalmente que tipo de materiales no son adecuados para la composta, que por el contrario dependiendo del tipo de material con el que está hecho puede ser perjudicial para la elaboración del fertilizante y por tanto tener malos olores y/o un tiempo de producción mayor al estimado.

Sin embargo también existe una relación diferente en cuanto a los componentes que producen estos materiales en la composta, es decir, para que la composta no tenga efectos indeseables en el proceso de descomposición se debe de tener en cuenta la relación de Carbono/Nitrógeno de los materiales usados así como el potencial de Hidrogeno (pH) que genera, pero más adelante serán explicados para comprender estos términos.

### **2.1.3 Fases de la Composta**

Para que el proceso de la composta se lleve a cabo, es necesario conocer las fases que se presentan durante el transcurso del tiempo dentro del proceso de compostaje, estas fases son las siguientes:

#### **2.1.3.1 Fase de Latencia**

En esta fase se inicia con la aclimatación de los microorganismos a la composta y al inicio de su reproducción y colonización en los desechos. Estos microorganismos inician con la degradación de aquellos materiales que son biodegradables rápidamente como los mencionados anteriormente.

Como resultado de este primer proceso se tiene una actuación de microorganismos del tipo mesófilo (“*bacterias Gram negativas como: proteobacterias, Gram positivas como: bacillus, lactobacillus y actinomicetos así como hongos: ascomycota y zygomycota*” (Casco, 2008)) a temperaturas relativamente bajas consideradas en el proceso de composta que es de aproximadamente a 45°C con lo que se comienza a calentar la composta y se puede observar una emanación de vapor de agua, a consecuencia de la descomposición de los desechos de materia vegetal.

### 2.1.3.2 Fase de Termofilia

De acuerdo al calentamiento de la composta y a la actividad microbiana que se produce en ella, provoca la aparición de microorganismos termófilos (hongos y bacterias) que actúan a temperaturas entre 60 °C y 70 °C produciendo una rápida descomposición de los residuos orgánicos.

Al tener una temperatura alta se garantiza la higienización y eliminación de gérmenes patógenos, larvas de mosca y semillas de maleza, aunque se debe de cuidar que la temperatura en esta fase sea constante y no aumente demasiado, ya que como se ha venido mencionando se puede erradicar con la supervivencia de los agentes encargados de la descomposición. Terminada esta fase se disminuye radicalmente la actividad microbiana y se estabiliza el ambiente dentro de la composta.

### 2.1.3.3 Fase de Maduración

En esta fase del proceso de la composta se caracteriza por la ausencia de actividad microbiana y la temperatura existente en la composta irá disminuyendo gradualmente hasta llegar a temperatura ambiente, en esta etapa se descompondrán aquellos residuos que tardan más tiempo en degradarse, por lo que la etapa de maduración tiende a finalizar con la producción de un abono natural estable y la ausencia de actividad microbiana.

## 2.1.4 Factores para una Composta Ideal

Para el proceso de composta se debe de tomar en cuenta tanto los factores físicos como la aireación (descompactación), humedad, temperatura y los microorganismos como actinomyceles, hongos y bacterias que son los principales encargados de la descomposición de residuos orgánicos. (Craig G. Cogger, 2014).

Como los factores químicos que están presente durante todo el proceso entre ellos esta: el oxígeno, la relación Carbono/Nitrógeno (C/N), y el potencial de Hidrogeno (pH) de la composición de los materiales que son introducidos en la composta.

### 2.1.4.1 Factores Físicos

#### 2.1.4.1.1 Aireación

La aireación permite tener dentro de un compostador el oxígeno necesario para que la actividad microbiana del tipo aeróbico pueda llevar a cabo todo el proceso de descomposición, como se mencionó en el factor químico de oxigenación se necesita entre un 10% y 20% que es muy parecido al de la composición del aire normal.

Además de que la aireación permite que entre la materia orgánica exista porosidad para que los microorganismos descompongan de manera más rápida los desechos, de modo que al airear se descompacta la composta y se le proporciona una oxigenación adecuada sin tener que

interrumpir la actividad microbiana creando las condiciones necesarias para la degradación de la materia.

#### *2.1.4.1.2 Humedad*

La humedad es un factor importante en cuanto a la descomposición de la materia, dependiendo del tipo que esta sea es como la humedad será idónea o no para su procesamiento por los microorganismos, es decir, para aquella materia fibrosa o residuos forestales el grado de humedad idóneo es de 75% a 85% mientras que para los materiales frescos es de 50% a 60%.

Pero se puede tomar un valor óptimo de este 50% y 60%, ya que por debajo de un 40% se reduce la actividad microbiana aunque los hongos son más resistentes, pero por debajo de un 20% de humedad la proliferación de los microorganismos y hongos es restrictiva.

Por otro lado el exceso de humedad produce malos olores y se establece una condición anaerobia en el proceso de la composta y a una descomposición lenta y de pocos nutrientes.

De manera que los niveles óptimos de humedad que deben de existir en el proceso de composta deben de ser mayor a 30% para no inhibir la actividad microbiana y menor a 65% para evitar el exceso de humedad.

#### *2.1.4.1.3 Temperatura*

La temperatura es el factor que nos indica la evolución del proceso de compostaje y los cambios que se producen con este factor dan a conocer la actividad microbiana a lo largo del proceso y poder determinar la estabilidad de la materia orgánica.

En otras palabras para cuando la composta alcanza entre los 40°C y 50°C aquellos materiales que contenían nitrógeno y tenía la humedad adecuada hace que la colonización de los microorganismos se haga de manera rápida en la fase de latencia. Para que con la siguiente fase de la composta que es la termófila debe de mantenerse constante a una temperatura de entre 50°C y 60°C para eliminar los patógenos, larvas de mosca y semillas existentes en los desechos.

Recordando que si se excede la temperatura dentro de un compostador y de la composta a más de 60°C provocaría la muerte de los agentes principales encargados de descomponer el material y reducir la actividad microbiana y en consecuencia disminuir la velocidad de descomposición.

#### *2.1.4.2 Factores Químicos*

Los factores químicos que se presentan en el proceso de composta tienen una funcionalidad específica para que el proceso se lleve a cabo, sin menospreciar uno o del otro. Todos los factores son importantes y para conocer su intervención en la composta se detallara cada uno de estos factores para comprender su importancia en relación al proceso de descomposición de los desechos en el compostaje.

### 2.1.4.2.1 Oxígeno

El oxígeno es esencial para que los microorganismos aeróbicos puedan respirar y por tanto poder descomponer los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) ya que los microorganismos obtienen su energía y nutrientes de la materia orgánica, de modo que si no existe suficiente oxígeno entonces el proceso de composta se convertiría en un proceso anaeróbico el cual produciría olores fuertes e indeseables para las personas que hagan uso de compostadores además de obtener una baja calidad de la composta (Sandoval, 2010).

Para mantener una concentración ideal de oxígeno en la composta y mantener un proceso de compostaje aerobio es necesario mantenerlo entre un 10% y 20% considerando que al llegar a valores menores al 5% se estaría creando una descomposición anaeróbica.

De modo que hay que tener en cuenta los niveles óptimos de oxígeno, que depende a su vez de otros factores tales como el tipo de materia orgánica utilizada, humedad, la frecuencia en que es aireada y la temperatura dentro en la composta.

### 2.1.4.2.2 Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

Estos dos elementos el carbono y nitrógeno son importantes para el proceso de compostaje ya que son elementos básicos de la materia orgánica y ayudan al crecimiento y colonización de los microorganismos.

El carbono representa el 50% de la masa celular y fuente de energía metabólica de los microorganismos mientras que el nitrógeno es un componente mayoritario de ácidos nucleídos, proteínas estructurales, enzimas y coenzimas, necesarias para el crecimiento y desarrollo de las funciones microbianas.

Para que el crecimiento de los microorganismos se logre es necesario que se obtenga el óptimo entre el carbono y nitrógeno consumido por estos, es decir los valores apropiados de la relación C/N debe ser de 25 a 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno consumido. Por lo que al aumentar las porciones de nitrógeno se convertiría en amoníaco y comenzaría a causar olores indeseables por el contrario si las porciones son menores la reproducción de los microorganismos se vería afectado y por tanto la descomposición sería más lenta.

### 2.1.4.2.3 El potencial de Hidrogeno (pH)

Es un factor importante ya que influye directamente en la actividad microbiana ya que las bacterias y los hongos se desarrollan a valores óptimos diferentes de pH.

Por un lado las bacterias tendrán su desarrollo en un pH de entre 6 y 7.5 mientras que los hongos los tendrán entre 5 y 6. Para que nos quede claro la variación del pH en la composta a continuación se detallara por fases de la composta y como varia el pH de acuerdo a la fase.

### 1. Fase de Latencia y el pH

El pH disminuye por la formación de ácidos orgánicos originados por la acción de los microorganismos sobre los RSU fácilmente degradables favoreciendo el crecimiento de hongos y la descomposición de celulosa de los desechos orgánicos.

### 2. Fase de Termofilia y el pH

El pH aumenta hasta valores entre los 8 y 9 puntos por la formación de amoníaco gracias al aumento de pH facilitando la pérdida de nitrógeno en forma amoniacal coincidiendo en la parte máxima de la actividad en la fase de termófila

### 3. Fase de Maduración y el pH

Finalmente en esta fase el pH disminuye hasta niveles de entre 7 y 8 como consecuencia de la formación del abono natural por medio de la descomposición de la materia orgánica puesta en la composta desde un principio.

El pH no es necesario de monitorizar en una composta ya que los valores que se registran están en lo óptimo para que se lleve a cabo todo el proceso de degradación de los materiales orgánicos, de otro modo para regularizar el pH existente, se logra controlando la humedad y aireación es más que suficiente para que el pH se mantenga equilibrado. Además se debe de tomar en cuenta también la mezcla inicial de la composta porque de esta depende también el equilibrio entre todos los factores mencionados.

## 2.2 Modelos de Compostador

Los compostadores sirven para colocar la composta y tener un aceleramiento en cuanto al proceso de descomposición, por lo que al hacer uso de ellos se puede reducir el tiempo de este proceso y mantener las condiciones mínimas en el caso de los compostadores domésticos y monitorizar el proceso con los compostadores comerciales, según el modelo.

Generalmente los compostadores son los medios en los cuales los desechos orgánicos son vertidos para que simplemente las personas que hacen uso de compostadores, se encarguen de tareas más sencillas como son la aireación y control de la humedad dentro de estos. Sin embargo actualmente ambos tipos de modelos de compostadores cuentan con una nula automatización en cuanto al monitoreo de las condiciones necesarias para que el proceso de composta se lleve a cabo.

Por ejemplo en el caso de los compostadores domésticos, es necesario construir y elaborar el compostador siempre y cuando se tenga un espacio considerable para ubicarlo, el tamaño y dimensiones del compostador serán de acuerdo a las necesidades de cada familia y a la cantidad de desechos que sean generados en su hogar.

Por otro lado los compostadores comerciales tienen un diseño más ergonómico por así decirlo en cuanto a sus dimensiones y formas de operar, sin embargo algunos de ellos siguen ocupando un espacio considerable y la forma de transportarlos se ve afectado por sus dimensiones.

Actualmente existen diseños que de acuerdo a sus características pueden almacenar grandes cantidades de desechos orgánicos, aumentando la capacidad de recolección pero disminuyendo la usabilidad de estos, en otras palabras, en los compostadores comerciales aunque van mejorando sus diseños la automatización aún sigue siendo nula, ya que los procesos que se llevan a cabo en la composta y las condiciones necesarias para este, no se monitorizan ni son tomadas en cuenta y se tiene que airear (descompactar) de forma manual por los usuarios así como humedecerla y retirar el fertilizante del compostador.

Para conocer los modelos de compostadores que existen se mencionaran algunos ejemplos tanto del tipo doméstico como comercial, tomando en cuenta que en los compostadores comerciales existen modelos industriales, prototipos que aún no salen al mercado y los que ya existen en el mercado para la venta a consumidores. Como el propósito de esta tesis está dirigido a la generación de desechos de familias, solo se abordaran los ejemplos que pueden ser usados en los hogares de acuerdo a sus dimensiones.

Por lo que el tema de modelos industriales no será descrito en este trabajo, ya que sus propósitos son la descomposición de grandes cantidades de material orgánico llegando a utilizar maquinaria pesada que no puede ser usada en un hogar familiar.

## **2.2.1 Compostadores Domésticos**

Los compostadores domésticos son aquellos que pueden fabricarse con materiales que pueden conseguirse fácilmente y a un precio relativamente bajo, de acuerdo a la generación de desechos orgánicos es como se elaborara el modelo de compostador que más se adecue a las necesidades de las personas que harán uso del compostador.

Al hablar de compostadores domésticos, la intervención de las personas será activa frente del compostador al tener que cuidar la temperatura, humedad y oxigenación en la composta, claro sin dejar de mencionar la recolección y colocación de los residuos en el compostador. De manera que algún (nos) miembro(s) de la familia deberá tener la asignación de una de estas tareas que son esenciales para el proceso de compostaje.

Y que sin lugar a duda tiene que llevarse a cabo para que el fertilizante natural sea producido y retirado del compostador una vez que se haya terminado la degradación del material orgánico y preparar el compostador para una nueva composta repitiendo la asignación de tareas en la elaboración de la composta y su proceso de putrefacción.

Algunos modelos de compostadores domésticos y sus características se mencionaran a continuación.

### ***2.2.1.1 Compostador de Malla Metálica***

Los compostadores de malla son fáciles de elaborar y de trasladar si se pretende cambiar de ubicación, sin embargo sus más grandes deficiencias radican en la aireación y en obtener el abono natural una vez terminado el proceso de compostaje ya que para obtenerlo se debe de desmontar todo el compostador para poder sacarlo.

Este modelo de compostador se arma con una malla metálica formando un cilindro adaptándolo a la cantidad de RSU generados en el hogar, para tener mejores resultados al usar este tipo de compostador es recomendable forrarlo con cartón, plástico o tela para evitar que la composta pierda humedad y se mantenga hidratada.

En la parte superior del compostador deberá de colocarse una tapa en general este modelo de compostador tiene una inversión baja y se elabora fácilmente para la reutilización de los desechos orgánicos. (Ver Figura 4)



FIGURA 4. COMPOSTADOR DE MALLA METÁLICA. TOMADO DEL MANUAL DEL BUEN COMPOSTADOR

### 2.2.1.2 Compostador de Palos de Madera

Este tipo de compostadores se elabora como su nombre lo dice, con palos de madera a modo de construir un cubo, pudiendo utilizar la pared como un cuarto lado y ahorrar madera al construir el compostador fácilmente, los palos de madera pueden ser unidos por medio de clavos, lazos, etc. cubriendo la parte de arriba con una lona, plástico, tabla o algo que impida que la lluvia humedezca en grandes cantidades la composta y haga que el proceso sea lento y genere olores desagradables.

El compostador de palos de madera permite con facilidad introducir y manipular los RSU colocados en el compostador, con una gran capacidad de almacenaje y puede ser construido con material reciclado sin embargo el material usado es pesado y poco duradero. (Ver Figura 5)



FIGURA 5. COMPOSTADOR DE PALOS DE MADERA. TOMADO DEL MANUAL DEL BUEN COMPOSTADOR

### 2.2.1.3 Compostador de Ladrillos

El modelo de ladrillos es similar al de palos de madera, con la diferencia que este se hace con ladrillos y entre cada uno de ellos se debe de dejar un espacio para facilitar la aireación, construyendo una puerta utilizando una malla metálica o una tabla de madera para poder acceder al compostador.

Es resistente y duradero con una gran capacidad de almacenaje de materia orgánica y fácil de manipularla, sin embargo su costo es elevado por los materiales que se necesitan para su elaboración y los materiales con los que se construye no son reciclados, aun así este modelo de compostador dura más que el anterior aunque su capacidad de almacenado es prácticamente similar. (Ver Figura 6)

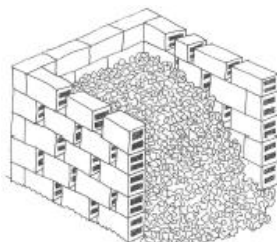


FIGURA 6. COMPOSTADOR DE LADRILLOS. TOMADO DEL MANUAL DEL BUEN COMPOSTADOR

### 2.2.1.4 Compostador de Bidón (Tambo)

Para este modelo de compostador es necesario tener a la mano un tambo al cual se le realizaran varios agujeros alrededor de todo el tambo, para facilitar la aireación tratando de tapar la parte superior para aislar la composta de las condiciones ambientales como la lluvia. Es mucho más fácil de elaborar que los anteriores y más duradero pudiendo reutilizar el material con el que está hecho el compostador.

Las condiciones adversas que tiene este compostador es la dificultad de trabajar la composta en él, ya que para descompactar y sacar el abono para cuando termine el proceso del compostaje se debe de levantar el tambo y para poder retirarlo, además de que se corre el riesgo de sobrecalentamiento en los materiales causando la muerte de los microorganismos a causa de la elevada temperatura. (Ver Figura 7)



FIGURA 7. COMPOSTADOR DE BIDÓN. TOMADO DEL MANUAL DEL BUEN COMPOSTADOR

## 2.2.2 Compostadores Comerciales

Con el paso del tiempo se han ido fabricando y diseñando modelos de compostador para luego venderla a aquellas personas que quieran hacer uso de prácticas como la composta, sin embargo actualmente los modelos de compostador que existen cuentan con deficiencias al igual que los compostadores domésticos, ya que al igual que los domésticos los comerciales necesitan de la intervención de las personas que los usen.

Por ejemplo algunos de los compostadores que serán mencionados necesitan de las personas para llevar a cabo los procesos de aireación (dándole vuelta a la perilla del compostador para que descompacte la composta o usar otro utensilio para realizar esta actividad) y deben de verificar la humedad existente en el compostador así como la temperatura.

Estos modelos de compostador siguen siendo para exteriores en otras palabras su ubicación física debe de ser en el jardín o a las afueras de la casa para que pueda usarse, hay excepciones como Terraviva que es un modelo de compostador para interiores sin embargo el tamaño del compostador reduce en gran medida la cantidad de materia orgánica que puede ser reusada.

Por ello los compostadores comerciales aunque están siendo tomados como una opción para reutilizar los desechos orgánicos, siguen siendo manuales es decir deben de realizarse actividades en frente del compostador, de acuerdo a esta problemática en estos compostadores se puede solucionar los problemas que se han encontrado en estos compostadores.

Uno de las constantes es la aireación (descompactación) de la composta, que debe de realizarla un integrante de la familia con un periodo constante para que el proceso de descomposición se lleve a cabo, otra de las actividades que debe de realizar el usuario es la monitorización de la humedad y llevarla a cabo cuando la composta lo requiera así como la temperatura que existe en el interior del compostador, lo cual lo soluciona al abrir las ventilas de oxigenación de los compostadores o bien aumentando la humedad en él.

De manera que para que el usuario no tenga un tiempo de inversión frente al compostador y realizar una y otra vez la misma actividad, se puede solucionar el problema con la automatización de aquellos procesos identificados para que el usuario no los repita e intervenga constantemente en estos procesos.

Al automatizar un modelo de compostador o diseñando un nuevo modelo se puede minimizar la intervención del usuario para con el compostador, ya que un sistema puede monitorizar las condiciones necesarias para que el compostaje se lleve a cabo, mientras que por otro lado la implementación de motores ayudan a que la aireación se lleve a cabo, evitando que la persona que use el compostador tenga que hacerlo.

Por lo que actualmente los compostadores comerciales no cuentan con ningún tipo de automatización, no cubren en la totalidad las necesidades del comprador, ya que aún se necesita la supervisión de ellos para que el proceso de composta se lleve a cabo y se finalice de manera adecuada y obtener así el fertilizante natural.

Es por esto que al usar tecnología para automatizar procesos en un diseño de compostador se tendría una disminución en cuanto a la intervención de las personas al compostador, lo cual favorece a estas personas ya que la única tarea que deberá de realizar sería la colocación de los residuos dentro del compostador, y de lo demás con la automatización se realizaría sola hasta llegar a la producción del abono que es cuando un integrante de la familia deberá de recoger y retirar el fertilizante. Siendo la intervención del humano lo más mínimo posible para que no tenga la necesidad de realizar actividades repetitivamente en un lapso de tiempo corto.

Por eso a continuación se describirán algunos modelos comerciales de compostadores y sus características para observar la similitud que existe con los modelos domésticos, pero la fabricación de estos compostadores se da en otros países ya que tienen más información y llevan a cabo prácticas como la composta y vermicomposta, pero para este caso no es indispensable detallar estas acciones. Simplemente es para conocer cómo ha ido evolucionando el compostador.

### *2.2.2.1 Compostador Converter*

Este compostador usa un modelo el diseño de compostador tipo bidón en cual hace uso de un tambo de plástico, con la diferencia que no se le hace ningún tipo de agujero alrededor para airear el interior del compostador.

Este compostador está hecho de plástico reciclado resistente a los rayos ultra violeta (UV) para evitar la degradación pronta del material con el que está hecho el compostador. Además proporciona un entorno seguro para la composta manteniendo los niveles de calor y de humedad mientras la protege de los parásitos (evengreener.com, 2013).

Algunas de sus características son que facilita el acceso al fertilizante producido por la composta sin necesidad de desensamblarlo además de tener una capacidad desde 220 a 330 litros de composta (220 a 330 Kg), no requiere de ensamblaje solo se necesita tener un espacio para colocarlo.

Las adversidades de este modelo de compostador es que se deben de comprar las demás herramientas para realizar el compostaje, por ejemplo la pala para airear y descompactar la composta así como de revisar la humedad que existe en el interior del compostador para que no existan malos olores, aunque es un compostador para exteriores y resistente no deja a un lado la intervención de las personas que hagan uso de él, este compostador se fabrica en el Reino Unido y es uno de los compostadores más populares de esa nación. (Ver Figura 8)



FIGURA 8. COMPOSTADOR CONVERTER. TOMADO DE INTERNET (EVENGREENER.COM)

### 2.2.2.2 Compostador Earth Machine

Este compostador al igual que el compostador Converter, está basado en modelo de bidón, sin embargo algunas de sus características principales, es que cuenta con un sistema de aireación parecido al modelo de bidón casero sin embargo los agujeros de Earth Machine son más discretos, está hecho de plástico protegiendo la composta del exterior y del clima del ambiente.

Cuenta con una cubierta amplia para el depósito de desechos orgánicos y en la parte inferior cuenta con una compuerta en donde se puede retirar el abono una vez terminado el proceso de descomposición, sin embargo este modelo vende por separado el dispositivo para airear la composta y un recipiente recolector de desechos para que después sean vertidos en el compostador.

Entre algunas de sus características se pueden mencionar que al hacer uso de este compostador se puede reducir en un 50% la basura generada, no produce olor y no atrae a las moscas o mosquitos, es fácil de usar y está diseñado para exteriores. Este compostador se fabrica en Chile y ha tenido en poco tiempo gran aceptación por los consumidores (THE EARTH MACHINE, 2013). (Ver Figura 9)



FIGURA 9. COMPOSTADOR EARTH MACHINE. TOMADO DE INTERNET (EARTHMACHINE.COM)

### 2.2.2.3 Compostador Terraviva

Es un compostador que puede ser usado en la cocina principalmente, es de dimensiones más pequeñas que los compostadores anteriores ya que este puede ser usado en interiores de la casa y no en exteriores como los antes mencionados. Por su tamaño puede ser colocado en espacios reducidos y de acuerdo a su diseño el olor no es molestia para quienes hagan uso de este compostador.

Sin embargo este modelo debe de ser conectado a la luz eléctrica por algunos minutos al día para que sus mecanismos funcionen (Tu mundo en Casa Decoesfera, 2013). Este modelo de compostador comercial que por sus dimensiones puede ser usado en interiores del hogar como se mencionó sin embargo al no tener mucha información sobre este compostador su uso y comercialización aún no se masifica.

Teniendo en cuenta la cantidad de basura orgánica que se genera en un hogar es indispensable crear soluciones para combatir este problema, es por eso que se pretende realizar un prototipo que se pueda usar en interiores pero que funcione como un compostador para exteriores, en otras palabras se planteara una nueva idea de compostador para que sea usado y reducir la cantidad de basura generada en un hogar. (Ver Figura 10)



FIGURA 10. COMPOSTADOR TERRAVIVA. TOMADO DE DECORACION 2.0 TU BLOG DE DECORACION

# Capítulo 3

## MODELADO DE PROTOTIPO

Para el modelado del prototipo se hará uso del Modelo de Desarrollo Rápido de Aplicaciones (RAD o DRA) este modelo se adaptara a nuestras necesidades para el desarrollo del prototipo en cuanto al diseño y programación de hardware y el proceso de desarrollo software.

Ya que engloba la usabilidad, utilidad y la rapidez de ejecución en la que se puede llevar a cabo el desarrollo de aplicaciones además este modelo es lineal secuencial que se enfatiza en un ciclo de desarrollo corto.

A continuación se describirán a detalle cada una de las fases en las que este modelo se desarrolla y como será adaptado a las necesidades del desarrollo del prototipo de compostador.

### 3.1 Modelado de Gestión y Modelado de Datos

En el modelado de gestión se representa el flujo de información entre las funciones de gestión se modela de tal forma que se responda a la información que se genera y quien la genera además de saber a dónde se dirige la información y quien es el encargado de procesarla.

De modo que se explicará la forma en cómo los sensores obtendrán los datos necesarios para que el sistema del compostador actúe de acuerdo a la información obtenida y mandada por los sensores para que dentro del compostador se lleven a cabo las actividades necesarias para que el proceso de composta se lleve a cabo y manteniendo un ambiente óptimo dentro del mismo por medio de los datos que los sensores capturen en el interior del compostador.

De manera tal que el sistema tendrá que responder a la información al activar o desactivar los mecanismos (actuadores) encargados de realizar tareas específicas programadas en la placa Arduino de modo que los sensores tendrán la tarea de monitorizar y estar obteniendo la información en tiempo real para que el proceso de descomposición de los desechos orgánicos se lleve a cabo y se obtenga el fertilizante como producto final.

Por otro lado el modelado de datos describe el flujo de la información definido como una parte de la fase de modelado de gestión pero se define como un conjunto de objetos y las relaciones de estos objetos. Para lo que el sistema del compostador será necesario identificar el dominio de los valores provenientes de los sensores y la manera en como los actuadores deberán responder de acuerdo a la información enviada y obtenida por estos.

Para conseguir la información y como se hará ese flujo de información se tendrá que realizar la documentación idónea para representar las características que tendrá el sistema del compostador

así como la interacción entre el ser humano y el compostador, a continuación se presenta la documentación necesaria para ejemplificar lo necesario para el que sistema funcione y que los actuadores respondan de acuerdo a la información que obtengan los sensores.

### 3.1.1 Especificación de Requerimientos

La especificación de requerimientos sirven para conocer las necesidades de los clientes y de los usuarios que harán uso del sistema sin embargo también se deben de cumplir los requisitos que el sistema mismo debe de tener para satisfacer las necesidades antes mencionadas.

El SRS (Software Requirements Specification en inglés) o ERS (Especificación de Requerimientos de Software en español) *“son un conjunto de recomendaciones para la especificación de requerimientos o requisitos de software que un cliente necesita para cumplir con sus necesidades”* (LISA, 2014).

Es por esto que para la especificación de requerimientos se debe de tener plenamente identificados y descritos de manera clara y precisa cada característica del sistema, no depende de la metodología de desarrollo de software para obtenerlos además si los requerimientos no resultan ser los correctos en las etapas de desarrollo se podría llegar a fracasar en el proyecto por los inconvenientes que surjan por que la especificación de requerimientos no fue correcta.

En la Tabla 1 se mostrará el formato ERS que se utilizó para documentar los requerimientos necesarios para desarrollar el sistema del compostador.

**Tabla 1. Formato de Especificación de Requerimientos de Software**

<b>SRS</b>		
<b>Nombre de proyecto: Prototipo de un compostador de uso doméstico automatizado con Arduino</b>		
<b>Datos de elaboración:</b>		
<b>Fecha:</b>	Autor: Ayala Cadena Omar	Revisor: M. en I.S.C Irene Aguilar Juárez
<b>Introducción</b>	El presente documento de especificación de requerimientos de software brindará a los lectores una comprensión adecuada de las características más relevantes del “Sistema que Automatizará procesos”, en un compostador utilizando Arduino, el sistema podrá realizar actividades que pueden ser hechas por actuadores sustituyendo la intervención de las personas en el proceso de compostaje.	
<b>Propósito</b>	Este documento tiene como propósito dar a conocer el funcionamiento general del sistema del “Prototipo de un compostador de uso doméstico automatizado con Arduino”. Este documento va dirigido a aquellos que quieran conocer más sobre el tema de automatización de procesos y para quienes estén interesados sobre el desarrollo del sistema y uso del prototipo.	

Definiciones	Acrónimos	Abreviaturas
<p><b>Actuador:</b> dispositivo o mecanismo que será activado/desactivado de acuerdo a la información que los sensores obtenga y manden al sistema para su funcionamiento.</p> <p><b>Aireación:</b> proporcionar oxígeno a la composta en el interior del compostador.</p> <p><b>Descompactación:</b> proceso en que la composta debe ser revuelta (volteada) para que exista porosidad entre los desechos orgánicos.</p>	<p>RSU: Residuos Sólidos Urbanos para nuestro caso desechos orgánicos.</p> <p>ST: Sensor de temperatura.</p> <p>SH: Sensor de Humedad.</p> <p>M: Motor.</p> <p>Servo: Servomotor.</p> <p>SRS: Software Requirements Specifications (Especificación de Requerimientos de Software en español)</p>	<p>M. en I.S.C: Maestra en Ingeniería Sistemas Computacionales</p>
<b>Personal involucrado</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Rol</b>	<b>Contacto</b>
	Usuario final	
<b>Descripción General</b>	<p>El prototipo reducirá el tiempo de intervención de las personas que hacen uso de métodos como el compostaje para reusar y reducir la producción de RSU en sus hogares, para lo cual se han identificado procesos que pueden ser sustituidos por mecanismos electrónicos que pueden llevar a cabo estas actividades entre las cuales se encuentran: la toma de temperatura y humedad existente en la composta así como la aireación y descompactación de la composta cuando los RSU son vertidos en el compostador.</p> <p>La idea de la creación de un prototipo es para reutilizar los RSU generados en el hogar y producir un abono orgánico que pueda ser usado por quienes hagan uso de él y usar el fertilizante en sus jardines y/u hortalizas que tengan en su hogar.</p> <p>Por lo que el sistema tendrá la capacidad de crear dentro del compostador un ambiente óptimo para que el proceso de composta se lleve a cabo reduciendo la intervención de las personas en procesos repetitivos y constantes por tanto el sistema podrá activar los mecanismos adecuados de acuerdo a la información obtenida por los sensores que se utilizaran en el prototipo para que las familias que hagan uso del compostador se preocupen solo en introducir y retirar los RSU.</p>	

<b>Perspectiva del Proyecto</b>	<p>El prototipo está enfocado para que en un futuro pueda ser adquirido por las familias que quieran hacer uso de él, sin embargo también se pueden implementar nuevas características al prototipo para mejorar su capacidad de almacenamiento de materia orgánica, así como la posibilidad de generar su propia fuente de energía externa para que funcione continuamente sin la necesidad de depender de luz eléctrica de igual manera se pretende mejorar la desintegración de los RSU reduciendo su tamaño para acelerar el tiempo de descomposición y aumentar la producción de fertilizante.</p> <p>Inhibir los olores desagradables es otra de las mejoras que pueden ser incluidas en el prototipo para poder crear un producto final completo y robusto con características apropiadas para reusar los RSU generados en el hogar y disminuir la producción de estos y generar un beneficio para las familias que hagan uso de este prototipo.</p>
<b>Funcionalidad</b>	<p>Disminuir la intervención de las personas que hagan uso de compostadores caseros y comerciales.</p> <p>Reutilizar y procesar los RSU generados en un hogar.</p> <p>Generar un fertilizante natural orgánico equilibrado para su uso en los suelos de hortalizas y jardines.</p> <p>Obtener la información necesaria para que el ambiente dentro del compostador sea óptimo y adecuado para el proceso de composta.</p> <p>Activar/Desactivar los diversos actuadores para lograr un fertilizante equilibrado y benéfico para las personas que hagan uso del prototipo.</p>
<b>Características del Usuario</b>	<p>Usuarios normales: Será aquel que haga uso del prototipo, su función será introducir y extraer los RSU del interior de compostador así como del nivel de agua del depósito a manera que no quede vacía (puede ser cualquier integrante de la familia tomando en cuenta que si es menor de 10 años tendrá que ser supervisado por un adulto para el buen funcionamiento del prototipo).</p>
<b>Restricciones</b>	<p>La capacidad de almacenamiento de RSU se ve limitado por el tamaño del prototipo.</p> <p>El depósito de agua no deberá estar vacío.</p> <p>La energía externa no deberá ser interrumpida para que el funcionamiento del prototipo no sea afectado.</p> <p>El prototipo deberá ser conectado a una fuente regulada para que no se dañen los componentes electrónicos del mismo.</p>
<b>Requerimientos</b>	

Requerimientos Funcionales	Requerimientos No funcionales
<p><b>SH</b></p> <p><b>Monitorear continuamente la humedad.</b></p> <p><b>Si la humedad está por debajo del 40%, activar el riego.</b></p> <p><b>Si la humedad está por encima del 65%, se activará el ventilador para disminuir la humedad.</b></p> <p><b>ST</b></p> <p><b>Monitorear continuamente la temperatura.</b></p> <p><b>Si la temperatura excede a los 70 °C, se activará el ventilador.</b></p> <p><b>Si la temperatura es menor a 55 °C y está activo el ventilador, apagarlo.</b></p> <p><b>Descompactación de Composta</b></p> <p><b>Si han pasado tres días desde que se conectó el prototipo a fuente externa de energía, se activaran las aspas.</b></p> <p><b>Usuarios normales</b></p> <p><b>Conectar a una fuente externa de energía el prototipo.</b></p> <p><b>Introducir los RSU dentro del compostador.</b></p> <p><b>Verificar nivel de agua en el depósito.</b></p> <p><b>Retirar el fertilizante cuando termine el proceso de composta.</b></p> <p><b>Revisar el interior del prototipo para verificar que el proceso ha terminado de descomposición ha terminado.</b></p>	<p>Restricción de almacenamiento de RSU.</p> <p>Diseño del prototipo a escala de 1:10.</p> <p>El sistema deberá de estar calibrado con la información correcta para el uso del prototipo.</p> <p>El prototipo debe ser funcional.</p> <p>El sistema debe estar disponible para cuando se quieran obtener los datos que los sensores obtienen.</p> <p>Asegurar la integridad de la información.</p>
<b>Requerimientos Específicos (Interfaces SW o HW)</b>	
<p><b>Para el caso de la Placa Arduino Leonardo</b></p> <p><b>Hardware</b></p> <p><b>Procesador: Intel-Atom (con arquitectura de 32 bits)</b></p> <p><b>Disco Duro: 160 Gb o superior</b></p> <p><b>Memoria: 1 a 4 Gb</b></p> <p><b>Pantalla: Pantalla plana de 11”</b></p>	

**Puerto USB**

**Cable USB a micro USB**

**Software**

**Para Windows: arduino-1.0.6-windows.exe**

**Para MAC: arduino-1.0.6-macosx.zip**

**Para Linux 32 bit: arduino-1.0.6-linux32.tgz**

**Para Linux 64 bit: arduino-1.0.6-linux64.tgz**

**Para el Diseño de la placa auxiliar.**

**Software**

**PCB Wizard portable**

**Para el diseño de los diagramas**

**Software**

**Modelio 3.1**

### **3.1.2 Casos de Uso**

Los diagramas de casos de uso “*describen las relaciones y dependencias entre un grupo de casos de uso y los actores participantes en el proceso*” (Autores, 2013).

Por tanto un diagrama de caso de uso solo describe que es lo que debe de hacer un sistema sin decir el cómo lo debe de hacer, por lo que nos ayudan a determinar las características necesarios que tendrá el sistema.

En la Figura 11 se muestra el diagrama de caso de uso del Sistema Compostador que se utilizó para describir las relaciones y dependencias entre los actores y el sistema para el prototipo de compostador.

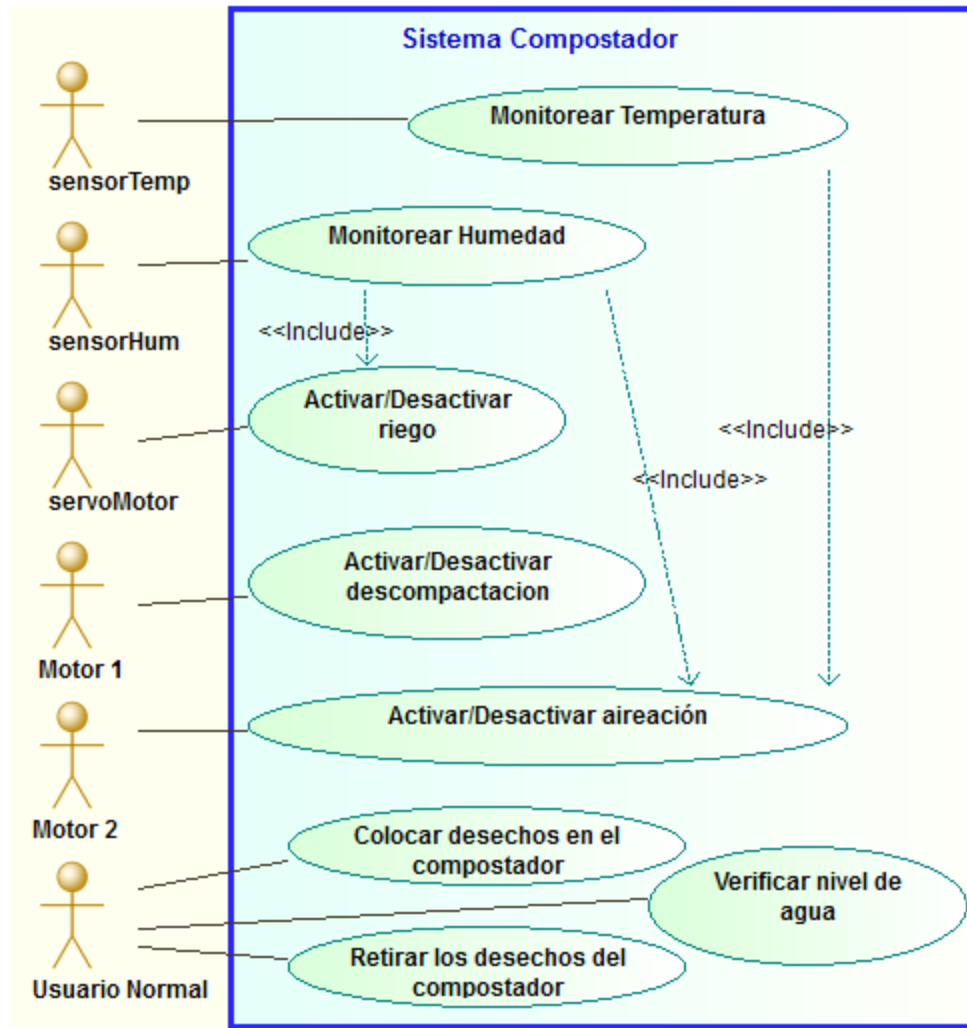


FIGURA 11. DIAGRAMA DE CASO DE USO DEL SISTEMA COMPOSTADOR

De la Tabla 2 a la Tabla 9 se detallara cada uno de los actores y de los casos de uso en los que participa y la manera en como el sistema compostador deberá de reaccionar de acuerdo a las relaciones que tiene el actor y el caso de uso así como los casos de uso que se incluyen en otros casos de uso.

**Tabla 2. Caso de Uso Monitorear Temperatura**

<b>Nombre del caso de uso:</b>	<b>Monitorear Temperatura</b>
<b>Id del caso de uso:</b>	CU1
<b>Fuente:</b>	
<b>Actor Primario:</b>	Sensor de Temperatura

<b>Descripción:</b>	El sensor deberá de monitorear continuamente la temperatura dentro del compostador.	
<b>Precondición:</b>	Ninguna	
<b>Disparador:</b>	Conexión a fuente externa	
<b>Curso Típico de Eventos:</b>	Acciones del Actor	Respuesta del Sistema
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Monitorea temperatura dentro del compostador.</li> <li>2. Mantener el rango óptimo de temperatura.</li> <li>3. Envía la información a la placa.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Activar el ventilador para reducir la temperatura si excede los 70 °C.</li> <li>5. Si la temperatura es menor a 55 °C y el ventilador esta encendido el sistema debe apagarlo.</li> </ol>
<b>Cursos alternos:</b>	Dejar inactivos mecanismos alternos para que no funcionen.	

**Tabla 3. Caso de Uso Monitorear Humedad**

<b>Nombre del caso de uso:</b>	<b>Monitorear Humedad</b>	
<b>Id del caso de uso:</b>	CU2	
<b>Fuente:</b>		
<b>Actor Primario:</b>	Sensor de Humedad	
<b>Descripción:</b>	El sensor deberá de monitorear continuamente la humedad dentro del compostador.	
<b>Precondición:</b>	Ninguna	
<b>Disparador:</b>	Conexión a fuente externa	
<b>Curso Típico de Eventos:</b>	Acciones del Actor	Respuesta del Sistema
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Monitorea humedad dentro del compostador.</li> <li>2. Mantener el rango óptimo de humedad.</li> <li>3. Envía la información a la placa.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Activar el riego para aumentar la humedad si es menor al 40%.</li> <li>5. Activar el ventilador para disminuir la humedad si excede el 65%.</li> </ol>
<b>Cursos alternos:</b>	Dejar inactivos mecanismos alternos para que no funcionen.	

**Tabla 4. Caso de Uso Activar/Desactivar riego**

<b>Nombre del caso de uso:</b>	<b>Activar/Desactivar riego</b>	
<b>Id del caso de uso:</b>	CU3	
<b>Fuente:</b>		
<b>Actor Primario:</b>	servomotor	
<b>Descripción:</b>	El servomotor se abrirá cuando el sensor de humedad obtenga una humedad menor a 40% y se cerrara cuando la humedad sea menor a 55%	
<b>Precondición:</b>	Recibir información del sensor de humedad	
<b>Disparador:</b>	Humedad existente en el interior del compostador	
<b>Curso Típico de Eventos:</b>	<b>Acciones del Actor</b>	<b>Respuesta del Sistema</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Encenderse cuando la humedad sea mínima.</li> <li>2. Apagarse cuando la humedad sea la óptima.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Activar el riego mientras sea menor a 40%.</li> <li>4. Cerrar el riego cuando la humedad supere el 55%.</li> </ol>
<b>Cursos alternos:</b>	Dejar inactivos mecanismos alternos para que no funcionen y mantener la humedad óptima en el interior del compostador.	

**Tabla 5. Caso de Uso Activar/Desactivar descompactación**

<b>Nombre del caso de uso:</b>	<b>Activar/Desactivar descompactación</b>
<b>Id del caso de uso:</b>	CU4
<b>Fuente:</b>	
<b>Actor Primario:</b>	Motor 1
<b>Descripción:</b>	El motor 1 deberá activarse cuando hayan pasado tres días después de haber conectado el prototipo a una fuente externa de energía.
<b>Precondición:</b>	Estar conectado a una fuente externa.
<b>Disparador:</b>	Tiempo transcurrido

<b>Curso Típico de Eventos:</b>	Acciones del Actor	Respuesta del Sistema
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Encenderse cuando haya pasado el tiempo suficiente.</li> <li>2. Mantenerse encendido durante 5 minutos.</li> <li>3. Apagarse cuando este activo más de 5 minutos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Esperar el tiempo necesario para activar el motor.</li> <li>5. Mientras no se interrumpa la energía cada tres días debe activarse el motor.</li> </ol>
<b>Cursos alternos:</b>	Dejar inactivos mecanismos alternos para que no funcionen.	

**Tabla 6. Caso de Uso Activar/Desactivar aireación**

<b>Nombre del caso de uso:</b>	<b>Activar/Desactivar aireación</b>	
<b>Id del caso de uso:</b>	CU5	
<b>Fuente:</b>		
<b>Actor Primario:</b>	Motor 2	
<b>Descripción:</b>	El motor 2 deberá activarse cuando la temperatura sea mayor a 70 °C y la humedad exceda el 65%.	
<b>Precondición:</b>	Recibir información del sensor de temperatura y humedad.	
<b>Disparador:</b>	Temperatura y humedad existente en el interior del compostador.	
<b>Curso Típico de Eventos:</b>	Acciones del Actor	Respuesta del Sistema
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Encenderse si la temperatura es excedente.</li> <li>2. Apagarse si la temperatura es idónea.</li> <li>3. Encenderse cuando la humedad sea excedente.</li> <li>4. Apagarse cuando la temperatura sea el mínimo si esta encendido.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Encenderse la temperatura sea mayor a 70 °C.</li> <li>6. Apagarse si la temperatura sea menor a 65 °C.</li> <li>7. Encenderse cuando la humedad sea mayor a 65%.</li> <li>8. Apagarse cuando la temperatura sea menor a 55 °C y este encendido.</li> </ol>
<b>Cursos alternos:</b>	Dejar inactivos mecanismos alternos para que no funcionen y mantener la temperatura y humedad optima en el interior del compostador.	

**Tabla 7. Caso de Uso Colocar desechos en el compostador**

<b>Nombre del caso de uso:</b>	<b>Colocar desechos en el compostador</b>	
<b>Id del caso de uso:</b>	CU6	
<b>Fuente:</b>		
<b>Actor Primario:</b>	Usuario Normal	
<b>Descripción:</b>	El usuario deberá colocar los desechos orgánicos dentro del compostador para que inicie el proceso de compostaje.	
<b>Precondición:</b>	Recolectar desechos orgánicos producidos en el hogar	
<b>Disparador:</b>	Tener la cantidad suficiente de materia orgánica.	
<b>Curso Típico de Eventos:</b>	<b>Acciones del Actor</b>	<b>Respuesta del Sistema</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recolectar los desechos generados en su hogar.</li> <li>2. Colocarlos dentro del compostador para iniciar el proceso de descomposición.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Debe estar conectado a una fuente externa de energía para iniciar el proceso.</li> </ol>
<b>Cursos alternos:</b>	Esperar a que se recolecte materia orgánica suficiente.	

**Tabla 8. Caso de Uso Retirar los desechos del compostador**

<b>Nombre del caso de uso:</b>	<b>Retirar los desechos del compostador</b>
<b>Id del caso de uso:</b>	CU7
<b>Fuente:</b>	
<b>Actor Primario:</b>	Usuario Normal
<b>Descripción:</b>	El usuario deberá retirar los desechos orgánicos dentro del compostador una vez terminado el proceso de compostaje y verificar durante el proceso.
<b>Precondición:</b>	Colocar desechos orgánicos en el interior del compostador.
<b>Disparador:</b>	Los desechos orgánicos se filtraron a través de la malla.

<b>Curso Típico de Eventos:</b>	Acciones del Actor	Respuesta del Sistema
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Retirar los desechos depositados en el interior del compostador.</li> <li>2. Verificar que se terminó el proceso de descomposición de la materia orgánica.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Debe haber transcurrido el tiempo suficiente para descomponer los desperdicios.</li> </ol>
<b>Cursos alternos:</b>	Esperar a que se complete el ciclo de composta.	

**Tabla 9. Caso de Uso Verificar nivel de agua**

<b>Nombre del caso de uso:</b>	<b>Verificar nivel de agua</b>	
<b>Id del caso de uso:</b>	CU8	
<b>Fuente:</b>		
<b>Actor Primario:</b>	Usuario Normal	
<b>Descripción:</b>	El usuario deberá de corroborar que el nivel de agua del depósito sea el adecuado para que se pueda llevar a cabo el riego.	
<b>Precondición:</b>	Tener la suficiente cantidad de agua en el depósito.	
<b>Disparador:</b>	Ninguno.	
<b>Curso Típico de Eventos:</b>	Acciones del Actor	Respuesta del Sistema
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisar que el nivel de agua sea el adecuado para comenzar el proceso de composta.</li> <li>2. Agregar la cantidad necesaria de agua en caso de que este vacío o se considere que es bajo el nivel del depósito.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Debe tener el mínimo nivel de agua para poder regar la composta.</li> </ol>
<b>Cursos alternos:</b>	Esperar a que se complete el ciclo de composta.	

### 3.1.3 Diagramas de Actividades

Los diagramas de actividad “*describen la secuencia de las actividades en un sistema, contienen únicamente las actividades que se realizaran en el sistema*” (Autores, 2013).

Estos diagramas son similares a los diagramas de flujo con la diferencia que todas las actividades están unidas a objetos siendo estas un paso de un proceso, es decir, un estado del sistema es activado internamente y al menos tiene una transición saliente en el sistema.

En la Figura 12 se muestra el diagrama de actividades que se realizarán en el Sistema Compostador que se implementará en el prototipo y lo que el sistema tendrá que realizar con cada una de las transiciones de las actividades.

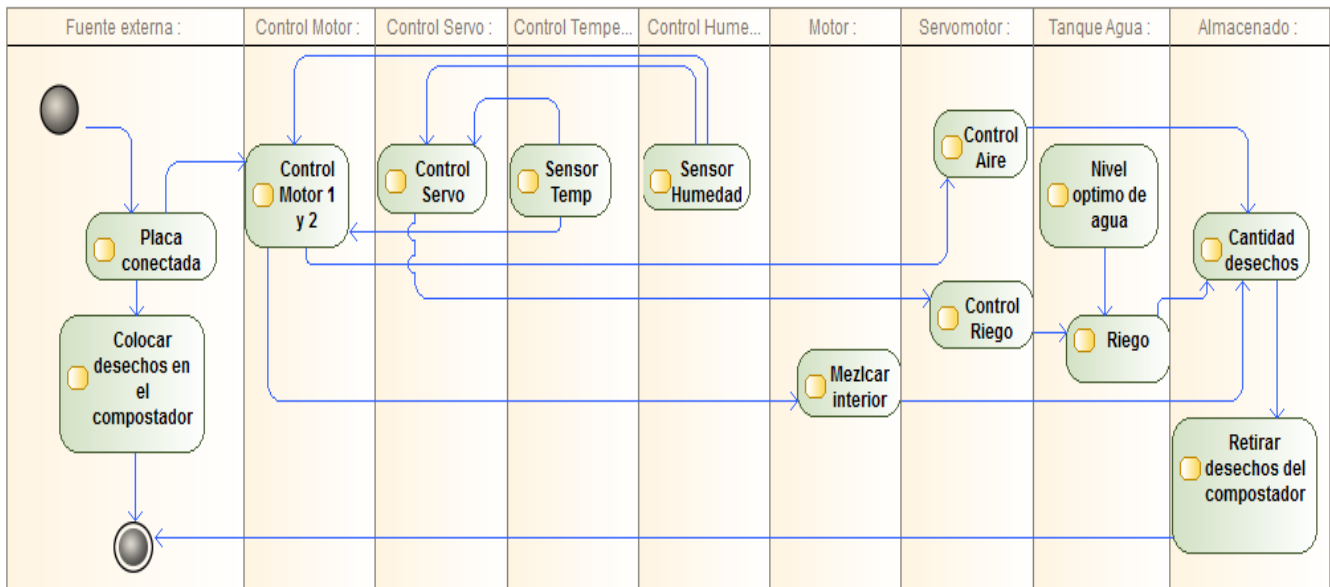


FIGURA 12. DIAGRAMA DE ACTIVIDADES DEL SISTEMA COMPOSTADOR

### 3.1.4 Diagrama Electrónico

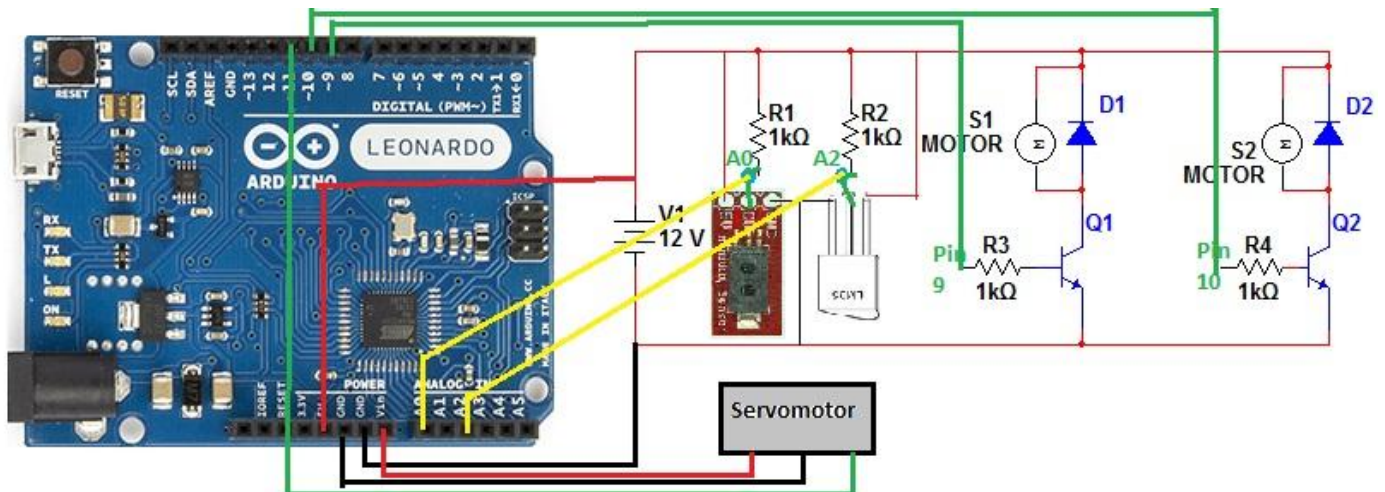


FIGURA 13. DIAGRAMA ELECTRÓNICO DEL SISTEMA COMPOSTADOR

## 3.2 Modelado de Proceso

En la parte del modelado de proceso aplicada al proyecto del prototipo de compostador es para modelar la comunicación entre los sensores, la placa Arduino y los diferentes actuadores que intervendrán para los mecanismos usados dentro de él, describiendo cómo funcionan los sensores, dispositivos electrónicos y mecanismos que se activaran o desactivaran para realizar alguna tarea específica, explicando la manera en como interactuara la información en conjunto.

Para lograr que la información sea la correcta es necesario seleccionar de una gama amplia de sensores que pueden usarse en la placa Arduino se debe de escoger aquellos sensores que nos sean útiles para nuestros fines y que por ende sean compatibles con la placa Arduino para que la información capturada por los sensores sea enviada a la placa y que está a su vez mande las señales necesarias a los actuadores para su intervención en el sistema. (Ver Figura 13)

### 3.2.1 Selección y descripción de sensores, dispositivos electrónicos y materiales

Para la selección de los sensores se debe de tomar en cuenta su diseño, características y compatibilidad con la placa Arduino por lo que a continuación se muestra la lista de los sensores escogidos y de los actuadores que se utilizaran para que interactúen con el sistema. Sin embargo cabe mencionar que en el mundo de la electrónica existen infinidad de sensores y actuadores diversos que pueden ocuparse pero para nuestros fines lo más importante es mencionar cuales fueron los que a nuestro criterio eran los mejores.

Por otro lado para el desarrollo de proyectos con la placa Arduino existen diversos componentes electrónicos que pudiesen usarse para el mismo fin, sin embargo para el tamaño y dimensiones del compostador la electrónica escogida es la idónea para resolver las necesidades del prototipo del compostador.

#### 3.2.1.1 Arduino

*“Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar.”* (Arduino, 2013)

Se pueden explicar en tres cosas de la placa Arduino:

1. Una placa hardware libre que incorpora un microcontrolador y varios pines hembra para conectar en ellos sensores y actuadores. Las placas Arduino son PCB (placas de circuito impreso), estas placas son usadas para conectar eléctricamente, a través de caminos conductores, diferentes componentes electrónicos conectados a ella.
2. Un software gratis, libre y multiplataforma que se debe instalar en una computadora y que nos permitirá escribir, verificar y guardar (cargar) en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino. Una de las ventajas de Arduino es su autonomía ya que al ser programado el microcontrolador no necesita estar conectada a un computador ya que puede funcionar autónomamente si dispone de alguna fuente de alimentación, sin embargo también nos da la opción de que se tenga una

intercomunicación con un computador si el proyecto que se desarrollara tiene ese fin como propósito de desarrollo. Por lo que la placa Arduino permite tener un sinnúmero de posibilidades a la hora de programar su microcontrolador.

3. Un lenguaje de programación libre, en Arduino podemos encontrar elementos parecidos a otros lenguajes de programación como son los bloques condicionales, repetitivos y variables, etc. así como comandos que permiten especificar sin errores y de forma coherente instrucciones exactas que se quieren programar en el microcontrolador (Artero, 2013).

### *3.2.1.2 Origen de Arduino*

Nació en el año 2005 en el Instituto de Diseño Interactivo de Ivrea (Italia), apareció por la necesidad de contar con un dispositivo de bajo costo, que funcionara bajo cualquier sistema operativo y que contara con documentación adaptada, es decir para que las personas que quisieran hacer uso de esta placa tuviera la información necesaria para poder empezar desde cero a utilizarlo para sus necesidades propias y proyectos en los que quisiera usar esta placa de experimentación.

La idea y el diseño de Arduino se realizan gracias a un proyecto llamado “Arduino Team”, formado por Massimo Banzi, David Cuartiles, David Mellis, Tom Igoe y Gianluca Martino.

### *3.2.1.3 Arduino considerado Software y Hardware Libre*

Según la Free Software Foundation (2014) “un software para ser considerado libre ha de ofrecer a cualquier persona u organización cuatro libertades básicas e imprescindibles:

Libertad 0: la libertad de usar el programa con cualquier propósito y cualquier sistema informático.

Libertad 1: la libertad de estudiar cómo funciona internamente el programa, y adaptarlo a las necesidades particulares. El acceso al código fuente es un requisito previo para esto.

Libertad 2: la libertad de distribuir copias.

Libertad 3: la libertad de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras a los demás, de modo que toda la comunidad se beneficie. El acceso al código fuente es requisito previo a esto.” (Foundation, 2014)

Por lo que el software libre es aquel que puede ser ejecutado, copiado y distribuido así como estudiarlo, cambiarlo y mejorarlo.

Mientras que el hardware libre es aquel que permite ser estudiado para entender su funcionamiento, modificado, reutilizado, mejorarlo y poder compartir los cambios realizados.

La placa Arduino es hardware libre porque sus ficheros esquemáticos (archivos de conexión interna y diagramas para PCB) están disponibles para descargar, sin embargo en el ámbito de hardware aún no existen licencias para hardware libre, ya que el concepto es relativamente nuevo.

El objetivo del hardware libre es facilitar y acercar la electrónica, robótica y la tecnología actual a la gente de manera activa.

### *3.2.1.4 IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) y Lenguaje de Programación Arduino*

#### *3.2.1.4.1 IDE (Entorno de Desarrollo Integrado)*

Vienen de Integrated Development Environment (IDE), es decir, Entorno de Desarrollo Integrado. En el caso de Arduino se necesita de un IDE que permita escribir y editar los programas (también llamados “sketch” en el entorno Arduino) que permita comprobar que no se han cometido errores y que permita grabar en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino el programa, para que se convierta en el ejecutor autónomo de dicho programa.

Para desarrollar nuestros propios sketches deberemos instalar en una computadora el IDE que nos proporciona el proyecto Arduino, para Windows solo se debe de descargar el instalador y ejecutarlo para instalar el IDE.

#### *3.2.1.4.2 Descripción de la placa Arduino Leonardo*

Existen muchas otras placas de diferentes fabricantes que, incorporan diferentes modelos de microcontroladores y que ofrecen una funcionalidad más o menos similar a las placas Arduino, sin embargo la plataforma Arduino (hardware y software) ofrece las siguientes ventajas:

- Arduino es libre y extensible: esto es que cualquiera que desee ampliar y mejorar el diseño hardware de las placas como del entorno de desarrollo software y el propio lenguaje de programación, puede hacerlo.
- Arduino tiene una gran comunidad: muchas personas lo utilizan, enriqueciendo la documentación y comparten sus ideas continuamente.
- Su entorno de programación son simples y claros: son fáciles de aprender y utilizar a la vez que son flexibles y completos para que se puedan aprovechar y experimentar todas las posibilidades del hardware. Se tiene documentados ejemplos detalladamente y cuenta con una gran cantidad de proyectos publicados en diferentes formatos.
- Las placas Arduino son baratas: cualquiera de las placas Arduino se pueden conseguir en un precio accesible para todos los bolsillos, inclusive uno mismo puede construir una placa Arduino solo es necesario adquirir los componentes que conforman una placa Arduino.
- Las placas Arduino son reutilizables y versátiles: reutilizables porque una misma placa puede servir para varios proyectos (por su facilidad de desconectarla, reconectarla y reprogramarla) y versátiles por que proporcionan diversas entradas y salidas de datos las cuales permiten el uso de sensores y envío de señales a actuadores.

La placa Arduino Leonardo es una placa que cuenta con un microcontrolador ATMEGA32U4, la cual cuenta con 20 Entradas/Salidas (E/S) digitales (de las cuales 7 se pueden utilizar como salidas PWM y 12 entradas como analógicas), un oscilador (reloj) de 16 MHz, una conexión micro USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reset.

Contiene todo lo necesario para que el microcontrolador de la placa sea usado. Solo basta con ser conectado a una computadora por medio de un cable USB o alimentarle con un adaptador de Corriente Alterna (CA) o Corriente Continua (CC) con un máximo de 12 voltios (V).

El Arduino Leonardo difiere de todas las placas de la familia Arduino al incorporar la comunicación USB tanto para conectar la placa como para cargar a la memoria los programas que ejecutara, eliminando la necesidad de un procesador secundario para este fin. Esto permite que la placa simule dos puertos: uno como USB estándar como cualquier periférico y otro como puerto serie o COM virtual para la comunicación con la computadora.

### *3.2.1.4.3 Características específicas de la placa Arduino Leonardo*

Las principales características específicas de la placa son:

- Microcontrolador ATMEGA32U4.
- Voltaje de funcionamiento de 5 V.
- Voltaje de entrada (recomendado) entre 7 y 12 voltios (V).
- Voltaje de entrada (límite máximo) entre 6 y 20 voltios (V).
- Tiene 20 pines digitales E/S.
- Cuenta con 7 canales PWM.
- Así como 12 canales de entradas analógicas.
- Corriente continua por pin de E/S de 40 miliamperios (mA).
- Corriente continua por pin de 3.3 V y 50 mA.
- Memoria flash de 32 KB de los cuales usa 4 KB para el gestor de arranque.
- Memoria volátil (SRAM) de 2.5 KB.
- Memoria persistente (EEPROM) de 1 KB.
- Velocidad de reloj 16 MHz

El Arduino Leonardo puede funcionar con un suministro externo de 6 V a 20 V, si se le proporciona menos de 7 V, el pin de 5 V puede suministrar poco menos de ese voltaje pero la placa sería inestable. Pero si se utiliza más de 12 V, el regulador de voltaje se puede sobrecalentar y dañarse la placa.

Algunos de los pines de alimentación marcados en la placa son los siguientes:

- Pin VIN sirve para darle suministro a la placa por una fuente externa sin usar conexión USB, se puede usar este pin para hacer uso de la placa sin necesidad de conexión con una computadora.
- Pin de 5 V. Este pin nos da una alimentación regulada para usar el microcontrolador y otros componentes que sean conectados a la placa.
- Pin de 3 V da un suministro de 3.3 voltios generados por el regulador de la placa y tiene un consumo máximo de corriente de 50 mA.
- Pin GND son pines de tierra en la placa Arduino Leonardo.
- Pin IOREF su función es indicar a las placas suplementarias conectadas a la placa el voltaje al que trabajan los pines de E/S de esta, para que se adapten automáticamente al voltaje de trabajo que es de 5V.

#### 3.2.1.4.4 Pines de E/S en la placa

Cada uno de los pines digitales E/S se pueden utilizar para entrada o salida, usando funciones como `pinMode ()`, `digitalWrite ()` y `digitalRead ()` en nuestros sketches, estos pines operan a 5 V. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40mA y tienen una resistencia de pull-up (desconectado por defecto) de 20-50 kilo ohm ( $k\Omega$ ).

Además algunos pines tienen un funcionamiento especializado por ejemplo:

- Para funciones serie los pines 0 (RX) y 1 (TX), se utilizan para recibir (RX) y transmitir datos en serie (TX) sin pasar por la conversión USB-Serie, es decir, estos pines posibilitan la comunicación sin intermediarios de dispositivos externos con el receptor/transmisor serie (de tipo TTL/UART) utilizando la capacidad de serie del microcontrolador para hacer uso de estos pines se debe de utilizar la clase Serial en el sketch.
- TWI en los pines 2 y 3, soportan comunicación TWI utilizando la librería Wire.
- PWM en los pines 3, 5, 6, 9, 10, 11 y 13 los cuales proporcionan 8 bits con la función `analogWrite ()`, para estas entradas digitales que simulan entradas analógicas.
- En pin 13 esta conectado directamente a un LED incrustado en la placa (identificado con la letra L) de forma que si el valor de voltaje recibido por este pin es ALTO el LED se encenderá, si el voltaje es BAJO el LED se apagará.
- Entradas Analógicas: A0-A5, A6-A11 (en los pines 4, 6, 8, 9, 10 y 12) los cuales se pueden utilizar como E/S digitales. Cada entrada analógica proporciona 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes).

Cuenta con otros pines la placa que son:

- AREF ofrece un voltaje de referencia externo para aumentar la precisión de las entradas analógicas y se utiliza con `analogReference()`.
- Reset su función es reiniciar el microcontrolador y se pondrá en marcha el bootloader, para cargar nuevamente el último sketch cargado en la placa.
- SDA y SCL se pueden usar para conectar dispositivos con el que se quiera llevar a cabo comunicaciones mediante el protocolo I<sup>2</sup>C/TWI

### 3.2.1.5 Protocolos de comunicación

#### 3.2.1.5.1 Los protocolos de comunicación I<sup>2</sup>C/TWI Y SPI

Cuando se desea transmitir un conjunto de datos desde un componente electrónico a otro, se puede hacer de múltiples formas. Una de ellas es estableciendo una comunicación “serie” es decir transmitir la información bit a bit por un único canal.

Otra manera de transferir datos es mediante la llamada comunicación “paralela” en la cual se envían varios bits simultáneamente, cada uno por un canal diferente y sincronizado con el resto.

Los estándares de comunicación que puede utilizar la placa Arduino Leonardo son:

**I<sup>2</sup>C** (Inter-Integrated Circuit, también conocido como TWI de “Two-wire”, dos cables en inglés) es utilizado para comunicar circuitos integrados entre sí. Su principal característica es que usa dos líneas para transmitir la información: una línea llamada “SDA” que sirve para la transferencia de datos y otra llamada “SCL” que sirve para mandar la señal de reloj.

**SPI** (Serial Peripheral Interface) es un estándar que permite controlar a cortas distancias casi cualquier dispositivo electrónico digital que acepte un flujo de bits en serie sincronizado. Un dispositivo conectado a SPI puede ser maestro o esclavo como en I<sup>2</sup>C.

La diferencia entre estos dos estándares es que el primero requiere de cuatro líneas en vez de dos.

#### 3.2.1.5.2 Las salidas analógicas (PWM)

Para enviar señales analógicas como la variación de la velocidad de un motor o la intensidad de luz para un LED, etc. No basta con las señales digitales sino que se necesitan de señales que varíen continuamente.

La placa utiliza algunos pines-hembra de salidas digitales para “simular” un comportamiento analógico y son aquellos marcados con la etiqueta “PWM” en la placa.

Las siglas PWM vienen de “Pulse Width Modulation” (Modulación de Ancho de Pulso). Lo que hacen estas señales es emitir una señal cuadrada formada por pulsos de frecuencia constante (aproximadamente de 460 Hz).

### 3.2.1.5.3 *El conector ICSP*

Cuyo significado es “In Circuit Serial Programming” se refiere a la programación directa de microcontroladores AVR, PIC y Parallax Propeller que no cuentan con un bootloader preinstalado.

La función de un bootloader es permitir la carga de programas al microcontrolador mediante una conexión USB estándar, pero si el microcontrolador no cuenta con el bootloader entonces se deben de usar métodos como el ICSP.

Esta función nos sirve para cargar algún programa a un microcontrolador que hayamos adquirido y que no cuente con esta función instalada lo cual nos permite tener más memoria Flash en el microcontrolador al no contar con el bootloader. Otra situación en la podemos usar ICSP es cuando queramos sobrescribir el bootloader existente por otro, ya sea porque el original se haya corrompido.

Para programar un microcontrolador se necesita de un aparato hardware específico, el “programador ISP”, lo cual es un conector USB para conectar a la computadora y la clavija ICSP para encajarla en la placa Arduino y cuyo interior es un determinado microcontrolador especializado en su función de programador. Pero se debe de tener en cuenta que no todos los programadores ISP son compatibles con todos los microcontroladores AVR.

### 3.2.1.5.4 *El reloj*

Para marcar el ritmo de ejecución de instrucciones en el microcontrolador, así como el ritmo de lectura y escritura de los datos en la memoria, la adquisición de datos en los pines de entrada, el envío de datos hacia los pines de salida y en general para controlar la frecuencia de trabajo del microcontrolador, la placa Arduino posee un pequeño reloj que funciona a una frecuencia de 16 MHz como se había mencionado en las características específicas de la placa Arduino Leonardo.

## 3.2.2 **Sensores**

### 3.2.2.1 *Sensor de temperatura LM35DZ*

Para conocer la temperatura que se genera en el interior del compostador es necesario contar con un dispositivo que este capturando continuamente la temperatura existente a modo que conocer las condiciones óptimas para que el proceso de descomposición de los desechos orgánicos se pueda llevar a cabo.

Al conocer las fases que se presentan en la composta se es posible conocer cuál es la temperatura mínima que debe existir para que se lleve a cabo la inicialización de colonización por parte de los microorganismos que se encargan de descomponer la materia orgánica en el prototipo de compostador, seguido se crea un rango óptimo en el cual la composta comienza a aumentar la temperatura, sin embargo como se ha venido mencionado a lo largo de la presente tesis si se excede la temperatura los microorganismos y hongos que se encargan de descomponer los desperdicios pueden llegar a morir si la temperatura no es controlada.



Para entender la humedad relativa es necesario conocer la clasificación de la humedad que se divide en: humedad de absoluta, humedad específica y humedad relativa estas variantes de humedad significan diversas cosas pero se complementan una con la otra, es decir, la clasificación de humedad mencionados generan un concepto final sobre la humedad relativa sin embargo es interesante ver la codependencia de cada uno de las variantes de humedad.

En primera instancia la humedad es la cantidad de vapor de agua presente en el aire, originada por la evaporación del agua que está directamente relacionado con la temperatura ya que a mayor temperatura mayor evaporación de agua y por ende mayor humedad.

Por lo que la humedad puede variar dependiendo del lugar y de la temperatura existente durante el transcurso del día, sin embargo existe una cantidad límite de humedad que puede contener el aire, denominada punto de saturación o humedad de saturación, esto es, el vapor de agua se condensa y se convierte en lluvia, granizo o nieve.

La clasificación de humedad es:

- Humedad Absoluta es la cantidad de vapor de agua por metro cubico que contiene el aire, en otras palabras se puede determinar la cantidad de vapor que contiene el aire al hacer la medición de la humedad absoluta.
- Humedad especifica es la cantidad de vapor de agua que haya contenido en el aire por kilogramo la diferencia es que la anterior se mide en gramo/metro cubico y la humedad especifica en gramo/kilogramo.
- Finalmente la Humedad Relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua contenido en el aire (humedad absoluta) y el que podría llegar a tener si estuviera saturado (humedad de saturación) expresada en porcentajes. Para comprender mejor esta última clasificación esta se puede definir como la cantidad de vapor de agua presente en un metro cubico de aire en una temperatura dada. (Ambiente, 2014)

Una vez comprendido el tema de humedad relativa se tiene la necesidad de conocer la humedad relativa existente en el interior del compostador para que el ambiente idóneo en el que se puede llevar a cabo las fases de la composta sea el adecuado.

Es por esto que el sensor de humedad HIH-4030 es el que cumple con las características necesarias para poder tomar las lecturas de humedad mandarlas a la placa y que esta de aviso al actuador correspondiente para llevar a cabo una actividad en la que debe de aumentarse o disminuirse la cantidad de humedad (Figura 15).

Las características de este sensor son:

- Mide humedad relativa (%RH)
- Rango de humedad 0 – 100% RH
- Precisión  $\pm 3.5\%$  RH
- Temperaturas máximas de operación  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Consume 200 $\mu$ A
- Tiempo corto de respuesta y estable

Puede ser alimentado de 4 – 5.8 V sin embargo se recomienda el uso de 5V para un funcionamiento óptimo

(Ingeniería, COSAS DE INGENIERÍA, 2013)



FIGURA 15. SENSOR DE HUMEDAD HIH-4030. TOMADO DE COSAS DE INGENIERÍA

El sensor con sus características nos garantiza que al depender de la temperatura este sensor es capaz de soportar la temperatura máxima que se generara en el interior del compostador que será de 70 °C, de manera que el sensor podrá soportarla. Por otro lado al tener su propia placa soldada permite que el sensor quede independiente a los posibles cables conectores hacia la placa Arduino.

Es por esto que el sensor de humedad HIH-4030 fue elegido para medir la humedad en el compostador al tener una fiabilidad de entregar la información con un mínimo de error y al ser estable no se tendrán lecturas erróneas en cuanto a la humedad. El dispositivo electrónico es el ideal para mantener la humedad adecuada para que se lleve a cabo la putrefacción de los desechos sin que este factor llegase a ser motivo de acabar con los microorganismos encargados de descomponer la materia orgánica al exceder o al tener las mínimas condiciones de humedad para el desarrollo y crecimiento de estos microorganismos y hongos en los desechos orgánicos.

Como observamos dos de los factores de mayor importancia son la temperatura y humedad para que los microorganismos y hongos que se encargan de reducir el tamaño y convertir los desechos en un abono natural, puedan sobrevivir era necesario controlar tanto la humedad como la temperatura en la que se pueden desarrollar, crecer y morir para cuando termine el proceso. Es por esto que se debe de crear el ambiente idóneo para que esto ocurra de otra forma se puede tener condiciones adversas a las que se desean tener.

Por ejemplo puede existir la posibilidad que el aumento de temperatura llegue a matar a los microorganismos, de igual manera puede ocurrir esto al no tener la humedad necesaria para que estos se desarrollen; por otro lado si la humedad es excedida los desechos se tardaran más tiempo en descomponerse, provocando olores desagradables y algunos de los microorganismos pueden morir.

Por estas razones era necesario que en el compostador se hiciera uso de sensores tanto de humedad como de temperatura para monitorear continuamente estos dos factores que son primordiales para crear el ambiente idóneo tanto para el desarrollo de los microorganismos como para que las fases de la composta se lleven a cabo.

### 3.2.2.3 Servomotor 9.4 Kg-cm (MG996R)

Un servomotor es “*un motor con un eje de rendimiento controlador*” (Murillo, 2014), es decir un servomotor se puede posicionar a un rango que cubra nuestras necesidades siempre y cuando su rango nos lo permita, existen en el mercado diversos tipos de servomotores que van de rangos desde los 180°, 270° e incluso de rotación continua.

Son motores de corriente continua con un sistema de engranes dándoles fuerza al convertir la velocidad en torque y un sistema de control para conocer la ubicación del eje, respondiendo este sistema a una señal que se le puede enviar para establecer la posición del eje.

Para nuestro proyecto es necesario contar con un servomotor en cual nos permitirá posicionar su eje a modo de abrir y cerrar tomando en cuenta que el servomotor elegido tiene las siguientes características (Figura 16):

- Engranajes de metal
- Alto torque en tamaño estándar
- Torque máximo 9.4 Kg-cm
- Voltaje de operación 4.8 – 7.2 V

(Ingeniería, COSAS DE INGENIERÍA, 2013)

Con estas características el servomotor se puede usar para controlar la cantidad de humedad que se requiere para el compostador. Esto lo haremos porque en el prototipo del compostador se hará uso de un sistema de riego que hará posible que exista humedad entre los desechos además de que estos se deshidratan por si solos expulsando la humedad de ellos.

Sin embargo será necesario contar con algún mecanismo que aporte esa humedad faltante para cuando la materia orgánica no tenga más humedad por expulsar a consecuencia del aumento de la temperatura en el compostador, esto se detallara más adelante en el siguiente capítulo.



FIGURA 16. SERVOMOTOR MG996R. TOMADO DE COSAS DE INGENIERÍA

### 3.2.2.4 Micro motorreductor con engrane de metal y motor de alto torque.

También se hará uso de un micro motorreductor, este dispositivo electrónico es parecido al servomotor sin embargo la diferencia que radica entre estos es que este funciona como un motor de corriente directa común y corriente pero aumentando el torque para mover cargas pesadas no se limita a un rango de movimiento.

Esto es que el motorreductor no tiene la capacidad de ser posicionado como un servomotor, simplemente se le aumenta el engranaje para hacer que tenga más torque y por ende más fuerza, este será usado para hacer que la composta se pueda revolver con la ayuda de un mecanismo que facilite esta tarea en el interior del compostador, al igual que el servomotor se explicara más adelante de su funcionamiento y de la actividad que llevara a cabo.

Sus características son (Figura 17):

- Engranaje de relación 150:1
- 320 rpm
- Consumo de 60 mA
- Torque para 40 oz (2.9 Kg-cm)

(Ingeniería, COSAS DE INGENIERÍA, 2014)

El motorreductor aunque tiene un torque más pequeño que el servomotor es suficiente para la tarea que tendrá en el compostador, es indispensable mencionar que este motor fue el sustituto de un motor de corriente directa de 9V el cual no tenía el torque necesario para el funcionamiento del prototipo.

Se decidió cambiar a un motorreductor para que el engranaje que contiene pudiese aumentar la capacidad de carga y aumentar la potencia del motor para que pudiese llevar a cabo las tareas necesarias sin poner en riesgo el rendimiento, fiabilidad y usabilidad del prototipo de compostador, este motor tiene además la característica de ser pequeño pero no por esto se debe dejar a lado las capacidades a las cuales puede operar, las cuales son indispensables y una de las razones por las que se seleccionó este dispositivo electrónico.



FIGURA 17. MICRO MOTORREDUCTOR. TOMADO DE COSAS DE INGENIERÍA

### 3.2.2.5 Motor

Se hará uso de un motor de corriente directa de uso común, el cual tiene entre sus características una alimentación de 9V y es de corriente directa, este motor es sencillo pero cubre por completo las especificaciones para poder hacer su actividad dentro del compostador (Figura 18).



FIGURA 18. MOTOR DC. TOMADO DE INTERNET (ALIBABA.COM)

De esta manera los sensores y dispositivos electrónicos elegidos para formar parte del compostador están descritos y detallados en cuanto a sus características físicas y funcionamiento.

### 3.2.2.6 Materiales necesarios para el prototipo compostador

Enseguida se mencionara el material con él que se construirá el prototipo del compostador, los cuales solo serán enlistados. Estos materiales son necesarios para que se pueda construir y complementar el prototipo de compostador que se pretende realizar, quedando como un producto final sin embargo aún tendrá la característica específica de que en un futuro este prototipo sea la base para mejorar, ya sea en almacenamiento, en mejorar el proceso de composta inclusive produciendo su propia fuente de energía para no depender de la energía eléctrica, estas sería la proyección del proyecto hacia un futuro.

Los materiales que se utilizaran para el prototipo son:

- Caja de plástico de 50 cmx35 cmx36 cm
- Placas de acrílico de 11" por 14"
- Malla de acero
- Malla de plástico
- Palo de madera
- Tornillos 1 ½" y ½" y tuercas
- Kit de suero
- Botella de plástico de 500 ml
- Cable UTP para conectar
- Cinchos

- Plastiloka
- Placa fenólica
- Acido férrico
- Resistencias, transistores y diodos
- Broca 1/8", 1/16", 5/32"
- Broca sierra de carbón 1 1/8"
- Herrería
- Pegamento liquido
- Silicón líquido

Estos materiales son los que se utilizaran para construir el prototipo de compostador, el cual será hecho a la medida tendrá espacio suficiente para poder poner los desechos orgánicos en el interior y retirarlos cuando el tiempo haya pasado y completado el proceso de composta.

# Capítulo 4

## DESARROLLO DEL PROTOTIPO

El desarrollo del prototipo tendrá por objetivo construir un modelo de compostador en el que se pueda introducir sin ninguna complicación los desechos orgánicos que se generan en el hogar, así como retirar el abono cuando finalice el proceso de compostaje.

El modelo de compostador que se usará para el prototipo será hecho a la medida creando un espacio en donde se pueda almacenar la materia orgánica, con un fondo tipo malla en la que se pretende filtrar el fertilizante para cuando empiece a finalizar el proceso de las fases de la composta.

En medio del compartimiento de almacenado ira una especie de aspa giratoria que revolverá la composta a fin de mantener porosidad entre la basura y conseguir una homogeneidad en el interior del compostador, así mismo se pretende hacer uso de un ventilador para mantener las condiciones ideales para la composta.

Otra de las características que tendrá el prototipo será el uso de riego controlador para tener la humedad necesaria para que los microorganismos puedan descomponer los residuos, en el interior del prototipo ira la placa Arduino junto con una placa auxiliar en la que se conectaran los dispositivos electrónicos necesarios para que los motores usados funcionen adecuadamente, estos dispositivos son resistencias, transistores y diodos.

La electrónica será situada a un costado, por debajo de la aspa por otro lado encima de la aspa ira tanto el motor que funcionara como ventilador y el que moverá la aspa por medio de una banda que producirá el movimiento giratorio y también se colocara el servomotor que servirá para abrir y cerrar el paso de agua para el riego de la composta.

En general el prototipo de compostador estará dentro de una caja de plástico con la idea de aumentar el hermetismo entre el exterior con la composta, a fin de evitar la fuga de malos olores si se llegan a presentar y evitar que las moscas se acerquen a los desechos.

Con este prototipo se automatizarán los procesos que han sido identificados que pueden ser reemplazados con dispositivos electrónicos y mecanismos para mejorar los compostadores que se conocen actualmente, para disminuir la intervención de las personas con el uso de este prototipo solo se deberán preocupar por introducir los desechos y extraer el fertilizante para cuando se filtre por la malla y caiga en el recipiente para facilitar su extracción.

A continuación se explicara cómo será el funcionamiento del prototipo en cuanto a su elaboración y obtención de información para poder activar los actuadores (mecanismos) necesarios para que opere con autonomía.

## 4.1 Generación de Aplicación

El prototipo de compostador tiene la funcionalidad de realizar el proceso de compostaje controlando el ambiente adecuado para que se lleve a cabo, capturando la información para que sea procesada y por ende automatizar los procesos en los que se puede ahorrar tiempo y esfuerzo por parte de las personas que hagan uso de técnicas como es el compostaje.

Como se ha mencionado a lo largo de la presente tesis los modelos de compostador que actualmente existen sean del tipo casero o comercial no cuentan con la autonomía necesaria para llevar a cabo procesos que son repetitivos y que deben de realizar las personas que los utilicen.

Es por esto que el compostador que se propone elaborar es para reducir el tiempo que se es invertido por las personas que quieran hacer uso de técnicas como la composta sin tener que preocuparse por tener que dedicarle demasiado tiempo y realizar la misma actividad en repetidas ocasiones.

El prototipo tendrá la capacidad de autonomía al obtener la información necesaria para que el ambiente que se crea dentro del compostador se controlen las condiciones mínimas requeridas para que se lleve a cabo la putrefacción de los desechos controlando las condiciones extremas que se pueden presentar a manera de evitar la muerte de los microorganismos que se encargan de descomponer la materia orgánica

Para esto los sensores que fueron seleccionados tanto el de temperatura como el de humedad tendrán la tarea de capturar los datos que se generan en el interior del compostador y poder usar esa información para activar los mecanismos dedicados a realizar tareas específicas para controlar la composta.

Uno de los mecanismos que se activarán es el motor que funcionara como un ventilador el cual será encendido por la información que mande el sensor de temperatura y el de humedad y apagarlo cuando las condiciones ambientales sean las adecuadas y se mantendrá inactivo por un tiempo indeterminado.

Ahora bien para lograr la homogeneidad entre los desechos y tener la porosidad necesaria, se hará uso de un palo de madera en el que irán colocados brazos de aluminio haciendo una especie de aspa que pueda mover y revolver la basura que sea introducida en el compostador, este mecanismo se moverá al estar conectado con una banda al micro motorreductor para lograr un movimiento giratorio.

De esta manera se cubre la automatización de los procesos de temperatura y humedad por parte de los sensores y también se obtiene un ambiente controlado al regular el aire para oxigenar tanto los desechos como para minimizar la temperatura y humedad cuando se eleven sus valores y se pierda el ambiente optimo en el interior del compostador.

Otra de las funciones que también se pueden controlar y automatizar es la cantidad de humedad que se necesita para evitar un exceso entre los desechos creando malos olores y que estos se descompongan más lentamente o simplemente tener las condiciones mínimas de este factor para que el proceso se lleve a cabo, para lograr esto se hará uso de un control de riego por parte del

servomotor , ya que tiene la capacidad de abrir y cerrar el paso de agua para que esta sea integrada a los desechos directamente y aumentar la humedad si es el caso o si se ha excedido la cantidad se puede hacer uso del ventilador o del movimiento de los RSU para que de esta manera se pierda humedad en ellos.

Finalmente para obtener el fertilizante para cuando los residuos hayan sido descompuestos en su totalidad y con el paso del tiempo necesario para este proceso, se hace uso de un fondo en el prototipo que se ha hecho con una malla tanto metálica como de plástico que hará que se filtre todo el material en descomposición.

Haciendo la extracción del abono natural de una manera sencilla por un lado del prototipo y con la ayuda de una bandeja en la que se recolectara el producto final.

Cabe destacar que el modelo de compostador que se propone estará diseñado para que las personas que hagan uso de él no dediquen demasiado tiempo al estar presente cuando se realicen las actividades por parte del compostador ni estar frente a él. Se está creando la alternativa en la que aquellas personas que quieran empezar a hacer uso de composta lo hagan con la ayuda de un producto en el que solo se estarán preocupando en recolectar los desperdicios orgánicos en su hogar, colocarlos dentro del compostador verificar por lo menos una vez cada que se vuelve a hacer uso del compostador el nivel de agua y en retirar el producto final que se obtiene tras la descomposición de sus residuos.

De esta manera una técnica en la que se utiliza la reutilización de materia orgánica para obtener un abono orgánico natural, se lleva a cabo de una manera más ágil y automatizada en los procesos en los que puede usarse mecanismos que lleven a cabo esa labor, pudiendo mejorar tanto el proceso de composta como la obtención de información necesaria para crear el ambiente idóneo. Reemplazando la presencia del humano por dispositivos electrónicos que pueden realizar la misma tarea sin esfuerzo alguno en actividades en las que es necesaria la intervención de las personas en los compostadores conocidos actualmente.

#### **4.1.1 Desarrollo de Software**

Es por esto que la placa Arduino en conjunto con los sensores y dispositivos electrónicos que se usaran para controlar los mecanismos automatizados en el prototipo deberán de obtener la información necesaria, procesarla y dependiendo de esta información activar o desactivar dichos mecanismos como respuesta de ese procesamiento de información.

Para esto el entorno de desarrollo de Arduino nos permite usar los sensores como capturadores de información real en tiempo real a modo de usar esa información para automatizar los procesos de la composta, es por esto que se ha profundizado en el tema de composta, ya que era necesario conocer los datos mínimos que se necesitan para que se puedan realizar las fases de las composta.

De esta forma al hacer uso de un sensor de temperatura y humedad que estén analizando estos factores que son de suma importancia en el proceso de composta, se puede hacer uso del software en Arduino para que dependiendo de las lecturas que obtengan los sensores, se use la información para activar el ventilador para disminuir la temperatura y/o humedad o el

servomotor para abrir el paso de agua para que comience el riego en los desechos y cerrarlo cuando se llegue al valor óptimo de humedad.

Estas dos formas de controlar el ambiente dependen directamente de la información que se obtiene de los sensores para que se enciendan y apaguen los mecanismos que han sido dedicados para realizar tareas específicas como es el airear y el control de humedad y temperatura. Automatizando esta parte del compostador se minimiza la intervención del ser humano para con una composta doméstica o comercial en la que no exista automatización en ninguno de estos procesos se deben realizar.

Para que se active el ventilador se debe de llegar a un máximo de temperatura de 70 °C o una humedad de más de 65% si se sobrepasan estos valores en el interior del compostador es cuando entra en acción el ventilador para tratar de disminuir esos valores a modo de quedar en un rango aceptable para que el proceso de compostaje no se interrumpa. Mientras no se rebese ese límite de temperatura y humedad el ventilador permanecerá apagado para evitar un gasto innecesario de energía y disminuir el tiempo de ejecución del programa al mantenerlo en esa condición.

Pero tomando en cuenta que el mínimo de temperatura aceptable para el compostaje es de 55 °C el ventilador deberá mantenerse inactivo sin importar la cantidad de humedad que se presente en el compostador, ya que esta condición es para evitar que se pierda temperatura cuando la fase de la composta este en Termófila, en el caso que este activo se deberá apagar el ventilador.

Asimismo el servomotor abrirá el paso de agua para riego cuando la humedad llegue a un mínimo de 40% esperando el tiempo necesario para que cuando la humedad llegue a un 55% y el servomotor cierre el paso de agua para evitar que se tenga un exceso a gran escala. Debido a que se debe de esperar el tiempo de ejecución del programa no se verá afectado ya que para procesar esta condición se ha pensado en que los sensores estén obteniendo la información necesaria en tiempos aceptables para que no se llegue a la condición de esperar demasiado tiempo para cumplir una condición entorpeciendo la activación o desactivación de los mecanismos de respuesta.

En cuestión de la descompactación de los desechos en los modelos domésticos y comerciales expuestos hasta ahora se necesita del esfuerzo de las personas para hacer esta tarea al menos dos veces a la semana, por lo que en el prototipo se hará uso de una aspa giratoria que será activada cuando hayan pasado aproximadamente dos días para que la composta se revuelva y se tenga porosidad entre ellos.

Esta aspa comenzará a girar gracias a la ayuda de un motorreductor que con una banda sujeta a la aspa, se activara cada dos días desde que se haya conectado la placa Arduino a la corriente eléctrica, por lo que se evita que el usuario haga esfuerzo alguno para esta acción que también es importante para que la composta se lleve a cabo. Se mantendrá activa por lo menos por dos minutos para lograr una homogeneidad al revolver los desechos y crear la porosidad necesaria entre ellos, así con la automatización de este proceso se minimiza aún más la intervención humana en la composta.

Para lograr todo lo mencionado anteriormente y que la información se utilice para controlar los mecanismos designados para realizar una tarea específica se hará un programa que pueda realizar esto, este programa se de Arduino para que una vez codificado sea cargado a la placa Arduino Leonardo y quede grabado en su memoria para cuando el prototipo sea conectado a la corriente eléctrica automáticamente empezara la ejecución del programa que se desarrolló para el prototipo de compostador.

Para conocer cómo se interactuará con los mecanismos y la información recibida desde los sensores, en el programa se han especificado cada una de las condiciones en las que dependiendo de la información obtenida por el sensor sea este el de temperatura o humedad se han de activar o desactivar cada uno de los mecanismos que llevaran a cabo una actividad específica, cabe mencionar que cada uno de ellos independiente uno de otro. A manera de evitar la ejecución del programa por tiempos prolongados y hacer que se libere algún proceso para poder seguir con la ejecución de otra instrucción.

De esta manera el programa del Sistema Compostador tendrá la capacidad de tomar decisiones de acuerdo a la información que sea obtenida por los sensores y enviada a la placa Arduino para darle a cada mecanismo su activación por algún tiempo determinado sin interrumpir la ejecución del programa y quedar en un lapso de inactividad. Gracias a las características de Arduino es posible que el programa que le sea cargado se ejecute infinitamente.

#### **4.1.2 Desarrollo de Hardware**

Para el desarrollo del hardware es indispensable conocer bajo qué circunstancias se hará el diseño de cada mecanismo, para el prototipo del compostador se usara un mecanismo que se utilizara para regar los desechos orgánicos que sean introducidos en el compostador, otro mecanismo será el que revolverá los residuos para crear la porosidad necesaria entre ellos y finalmente el mecanismo para ventilar el interior del compostador, es decir, tendrá la función de aumentar el oxígeno en la materia en descomposición y/o estar involucrado en disminuir algún factor que se haya excedido por alguna circunstancia.

Con respecto a cada mecanismo se detallará cada uno de ellos para comprender la función que tendrán en el prototipo, empezando con el mecanismo de riego, este deberá de ser una parte importante y construido a manera de ser controlado para evitar un exceso en el aumento de agua entre los desechos pero que debe poder garantizar el riego en el compostador.

Para este mecanismo se hará uso de un kit de suero el cual será modificado para realizar adecuadamente el riego en el compostador, para ello se tuvo que adecuar este kit a nuestras necesidades para garantizar su buen funcionamiento, sin embargo a parte del kit de suero también se hará uso de una botella de plástico de 500 ml a la que se le hará un pequeño agujero en la parte inferior para que el kit de suero pueda acoplarse a modo que la botella funcione como un depósito de agua.

Una vez conectada la botella al kit de suero, este estará conformado por una manguera pequeña en la que viajará el agua hasta llegar al punto final que son los desechos, para controlar el flujo de agua el kit de suero nos proporciona una pequeña rueda entre la manguera y una pared de

plástico en la que se puede estrangular por completo el flujo de agua, para esto se hará uso del servomotor el cual al activarse podrá abrir ese paso de agua sin tener que dejar un flujo de agua excesivo para cuando se haya alcanzado el rango de humedad adecuada, el mismo servomotor se cerrará para que el flujo de agua quede estrangulado evitando que se derrame agua innecesaria en el compostador.

Mientras se tenga el rango óptimo de humedad el servomotor se encontrará inactivo y por tanto no habrá flujo de agua en la manguera del kit de suero. Ahora bien el más sencillo de los mecanismos es el ventilador que solo se trata de adaptarle a un motor de corriente continua una especie de ventilador para que al tener valores altos tanto de temperatura como de humedad el sistema encenderá este motor para bajar estos valores y mantenerlos en el óptimo y se mantendrá apagado cuando el valor de temperatura o humedad se encuentren por debajo del límite permitido en el interior del compostador.

Pero el mecanismo que revolverá la composta es el más complicado en cierta forma, de manera que se explicará a detalle éste para tener una idea clara de lo que se implementará en el prototipo. Para poder revolver la composta se necesita que esta se voltee o sea girada para que el proceso de descomposición sea homogénea así como la tener una mezcla entre los desechos y generar porosidad entre ellos en otras palabras que exista espacio suficiente entre los desechos y no se compacte demasiado y generar inconvenientes en el proceso de compostaje.

Sin embargo para lograr este cometido es necesario que en el interior del prototipo se deberá de poner en medio una especie de aspa que gire con la ayuda de un motor que sea capaz de revolver los residuos sólidos, esto se logrará por que el diseño del prototipo será cuadrado en el que en medio ira un palo de madera al que se le colocaran aspas de aluminio hechas a la medida para crear las aspas.

Estas aspas se colocarán a lo largo del palo de madera en diversas posiciones para que cuando el palo de madera al girar cree una especie de revoladora compacta que sea capaz de mover los desechos verificando que no lleguen a acumularse demasiados desechos en algún lado del compostador, por lo que las aspas tendrán el diseño adecuado para cumplir la tarea que se les ha asignado, para poder moverse el palo de madera y girar se hará uso del micro motorreductor con la ayuda de una banda de plástico para lograr el movimiento giratorio.

Él cuál se activará cada dos días desde que haya conectado a corriente eléctrica el prototipo de compostador, ya que cada que transcurra ese tiempo es necesario que la composta reciba ese movimiento en el interior.

Con esta descripción a detalle los mecanismos que tendrá el prototipo, se puede asegurar la automatización de los procesos que se han identificado y lograr la disminución en la intervención de las personas para cuando hagan uso de técnicas como el composteo con la ayuda de modelos de compostador automatizados y tener la certeza que el proceso se llevara a cabo por completo y se obtendrá el producto final que es el fertilizante natural.

## 4.2 Pruebas de Entrega

Para las pruebas del prototipo se hará con la ayuda de una tabla de experimentación de circuitos eléctricos en la que se conectarán los sensores y actuadores junto con la placa Arduino Leonardo para verificar que el Sistema Compostador funcionará cuando se implemente en el prototipo real.

De manera que en la Figura 19 y Figura 20 se observan las conexiones en conjunto en seguida con la ayuda de una imagen tomada se podrán ver las conexiones y la forma en cómo esta interrelacionada la placa Arduino, los sensores y los actuadores para su funcionamiento en conjunto.

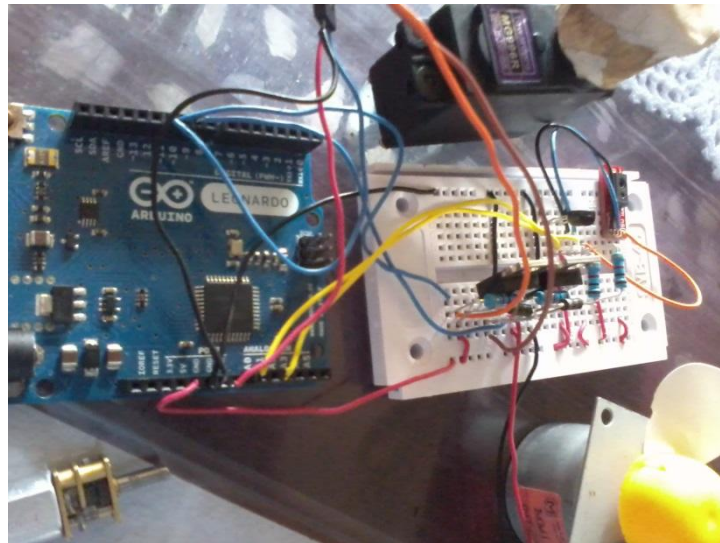


FIGURA 19. CONEXIÓN PARA EL SISTEMA COMPOSTADOR 1

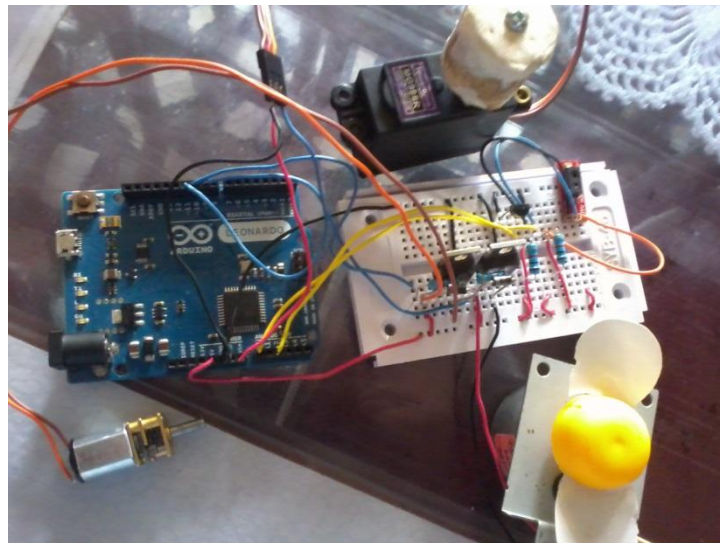


FIGURA 20. CONEXIÓN PARA EL SISTEMA COMPOSTADOR 2

Como se puede observar para obtener los valores de los sensores en la placa Arduino se conectan cables directamente al pin de datos, esto se hace mediante los cables amarillos, estos están conectados para el pin analógico A0 de Arduino y éste llega al sensor de humedad y el pin A2 al sensor de temperatura, por otro lado los cables azules son los que reciben la señal de activar o desactivar la energía a los actuadores (motorreductor, motor y servomotor), es decir, para el caso de los motores aunque solo se tiene dos conexiones en ellos uno para corriente y otro para tierra, con la ayuda del transistor, la resistencia y el diodo, se le puede agregar un pin más que sería el de datos el cual gracias a la ayuda de Arduino se puede mandar una señal en la que se mande corriente a un pin dado a modo de cerrar el flujo de corriente en el circuito.

Para que quede clara la idea el pin que va conectado a la placa Arduino funciona como un interruptor que se activa o desactiva dependiendo de la señal que recibe de los sensores y de esta forma cerrar el circuito para que la corriente fluya entre los dispositivos y poder activar su funcionamiento cosa contraria para cuando se interrumpe el flujo de energía que es cuando se desactiva el funcionamiento de ellos.

Se puede observar que el servomotor está conectado directamente a la placa esto es porque este dispositivo electrónico cuenta con tres cables: uno para corriente, otro para tierra y otro al que se le mandan las señales de datos y poder posicionar el servomotor en la posición que se desea.

Una vez comprobada la conexión entre los sensores, la placa y los actuadores se presentan imágenes en las que se muestra el funcionamiento de la placa conectada una fuente externa de energía, para confirmar que todo funcione adecuadamente, es decir, que los sensores manden los valores correctos y calibrados para cuando se encuentre en situaciones reales y que los actuadores se activen cuando se lleguen a las condiciones que se han colocado en el programa de igual manera en el programa se ha colocado que los sensores obtengan información cada segundo para descartar que el límite de valores tanto de humedad como de temperatura se mantengan por tiempos prolongados causando daños en el proceso de compostaje. De esta manera se controla el tiempo en el que se obtiene la información y poder activar/desactivar los mecanismos inmediatamente después de encontrar un cambio para ello se hicieron pruebas en las que se puede observar claramente este efecto.

En la Figura 21 que es la primera prueba se obtienen valores de humedad (medidos en porcentaje) y temperatura (medida en Grados Centígrados) menores a cero por lo que al único mecanismo que se debe de activar por las condiciones que han sido puestas en el programa y como se ve claramente, es el servomotor ya que para cuando se encuentre en el prototipo mientras la humedad sea menor a un 40% es cuando se abre el flujo de agua para aumentar la humedad, el ventilador se encuentra desactivado por qué no se sobrepasan los límites en los valores obtenidos por los sensores. El mecanismo de aspas se debe de activar después de 20 segundos, por lo que se ha incluido un contador en el que se controla el tiempo transcurrido para activarlo, este contador ira aumentando cada segundo hasta completar un tiempo igual a dos días.

Esto se realizó para simular que han pasado los 2 días para poder activar el motorreductor y por ende la aspa. En la prueba uno no se activa ya que el tiempo transcurrido no se ha superado y se mantiene apagado.

```

Temperatura:          -6
Humedad Relativa:    -17.11
Ventilador Desactivado por condicion de temp<10 o hum<20
Abrir Servo:
Por condicion de hum <0
TiempoTranscurrido   5
Temperatura:          -6
Humedad Relativa:    -17.11
Ventilador Desactivado por condicion de temp<10 o hum<20
Abrir Servo:
Por condicion de hum <0
TiempoTranscurrido   6
Temperatura:          -6
Humedad Relativa:    -17.11
Ventilador Desactivado por condicion de temp<10 o hum<20
Abrir Servo:
Por condicion de hum <0
TiempoTranscurrido   7
Temperatura:          -6
Humedad Relativa:    -17.11
Ventilador Desactivado por condicion de temp<10 o hum<20
Abrir Servo:
Por condicion de hum <0
TiempoTranscurrido   8
Temperatura:          -6
Humedad Relativa:    -17.11
Ventilador Desactivado por condicion de temp<10 o hum<20

```

FIGURA 21. PRUEBA 1

Mientras en la Figura 22 que es la prueba dos se aumentó la temperatura con la ayuda de un encendedor el cual provoco el aumento considerable de la temperatura y la humedad, con este cambio se debe de activar el ventilador ya que se sobrepasa el límite de valores y se puede observar que el servomotor se mantiene desactivado por que se ha superado el mínimo de humedad necesario y por tanto no es necesario tener un flujo de agua esto, se hace para que mientras se tenga un flujo de agua esta se debe cerrar cuando se llega al rango necesario, en otras palabras cuando se abre el flujo de agua cuando se encuentre en lo mínimo de humedad y cuando se llega al rango adecuado se cierra el flujo para no dejar caer más agua en el compostador.

```

Temperatura:          15
Humedad Relativa:    42.78
Ventilador Activo por condicion de temp>10 o hum>20
TiempoTranscurrido   6
Temperatura:          12
Humedad Relativa:    34.22
Ventilador Activo por condicion de temp>10 o hum>20
TiempoTranscurrido   7
Temperatura:          10
Humedad Relativa:    28.52
Ventilador Activo por condicion de temp>10 o hum>20
TiempoTranscurrido   8
Temperatura:          8
Humedad Relativa:    22.81
Ventilador Activo por condicion de temp>10 o hum>20
TiempoTranscurrido   9
Temperatura:          6
Humedad Relativa:    17.11
Ventilador Desactivado por condicion de temp<10 o hum<20
TiempoTranscurrido   10
Temperatura:          7
Humedad Relativa:    19.96
Ventilador Desactivado por condicion de temp<10 o hum<20
TiempoTranscurrido   11
Temperatura:          5
Humedad Relativa:    14.26
Ventilador Desactivado por condicion de temp<10 o hum<20

```

FIGURA 22. PRUEBA 2

La Figura 23 que muestra la última prueba, se comprueba que el tiempo que ha transcurrido se ha superado y que el mecanismo para las aspas se activa y se mantiene así por un periodo de tiempo controlado para obtener la porosidad entre los desechos y que se mantendrá una homogeneidad entre ellos, por lo que se comprueba que todos los mecanismos se activan cuando la información de los sensores es la correcta para activarlos y desactivarlos y que se tiene una lectura constante de información por parte de los sensores de humedad y temperatura.

```

Temperatura:          25
Humedad Relativa:    71.29
Ventilador Activo por condicion de temp>10 o hum>20
ASpas Activas tiempo:
Cerrar Servo:
Por condicion de >10
TiempoTranscurrido   37
Temperatura:         8
Humedad Relativa:    22.81
Ventilador Activo por condicion de temp>10 o hum>20
ASpas Activas tiempo:
Cerrar Servo:
Por condicion de >10
TiempoTranscurrido   38
Temperatura:         3
Humedad Relativa:    8.56
Ventilador Desactivado por condicion de temp<10 o hum<20
ASpas Activas tiempo:
TiempoTranscurrido   39
Temperatura:         2
Humedad Relativa:    5.70
Ventilador Desactivado por condicion de temp<10 o hum<20
ASpas Activas tiempo:
TiempoTranscurrido   40
Temperatura:         2
Humedad Relativa:    7.60
Ventilador Desactivado por condicion de temp<10 o hum<20

```

FIGURA 23. PRUEBA 3

Finalizando la realización de pruebas y verificando que todo funciona adecuadamente para poder ser implementado en el prototipo de compostador y poder hacer uso del Sistema Compostador para automatizar los procesos necesarios y disminuir la intervención de las familias en un modelo de compostador.

# Capítulo 5

## RESULTADOS

Los mecanismos que se usaron en el prototipo del compostador se muestran en el diseño final con la inclusión de todos los materiales que fueron usados para la construcción del prototipo, de modo que el sistema de riego, el de aspas, el ventilador y los actuadores que se probaron con anterioridad se implementaron en un depósito adecuado para tener un producto final de compostador.

Este prototipo se realizó con material que se puede conseguir fácilmente, sin embargo debido a la falta de recursos económicos el diseño es un tanto rústico y sencillo, sin embargo el objetivo de la construcción de este compostador es la automatización de procesos que se pueden realizar por dispositivos electrónicos y lograr un funcionamiento autónomo para estos procesos.

Los procesos de toma de temperatura, humedad, aireación y oxigenación y la descompactación que se deben llevar a cabo cuando se hace una composta, actualmente para otros compostadores, estas tareas las deben realizar un integrante de la familia, pero estas tareas pueden ser sustituidas por sensores y actuadores que las lleven a cabo una y otra vez así las personas no tendrán la necesidad de estar vigilando que las condiciones necesarias para el compostaje se estén dando en el interior de un compostador.

En esta sección se presentan las imágenes en donde el prototipo está construido en su totalidad con la ubicación de todos los mecanismos que realizarán las tareas designadas así como la ubicación de los sensores para obtener la información que se generara en el interior del compostador una vez que se haya cerrado el compostador.

En la Figura 24 se muestra la ubicación de la electrónica del prototipo y los actuadores que se eligieron para el prototipo.

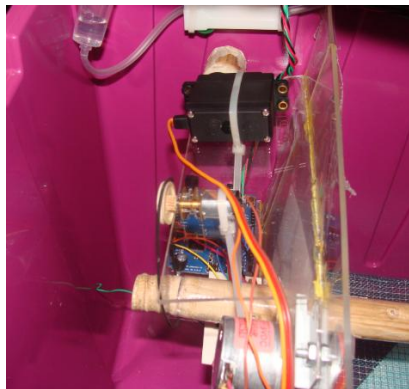


FIGURA 24. MECANISMO DE RIEGO, ASPA Y VENTILACIÓN

En el diseño del prototipo se consideró que la electrónica que se usaría para controlar tanto los sensores como los actuadores, estos debería de colocarse en un extremo de donde se colocar los desechos orgánicos, esto para tener por un lado todos los componentes y tener acceso fácil a ellos para cuando se tengan algunos inconvenientes en cuanto a la desconexión de algún cable o el cambio de piezas si se llega a presentar el caso. Tanto el motorreductor como el servomotor fueron fijados con la ayuda de cinchos (Ver Figura 25) para evitar que estos se movieran de su posición y evitar su mal funcionamiento a la hora de activar el mecanismo correspondiente (el riego por parte del servomotor y el aspa por el motorreductor).

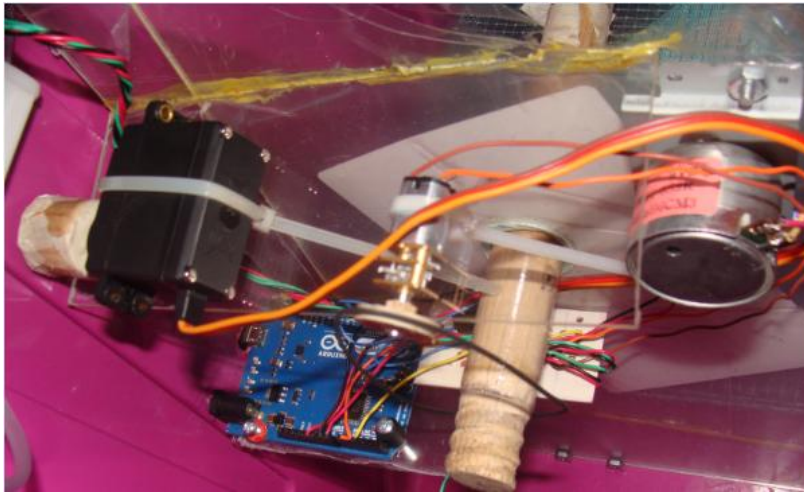


FIGURA 25. UBICACIÓN DE LA PLACA ARDUINO Y PLACA AUXILIAR

En la parte superior se ubicaron los sensores y el sistema de riego lo cual nos permitirá tener la información que se genera en la parte donde se encuentra la materia orgánica (Ver Figura 26), es decir, los residuos se colocarán en la parte del centro a la derecha justo donde se encuentran las aspas para que posteriormente se pueda revolver de acuerdo a la información obtenida por los sensores.

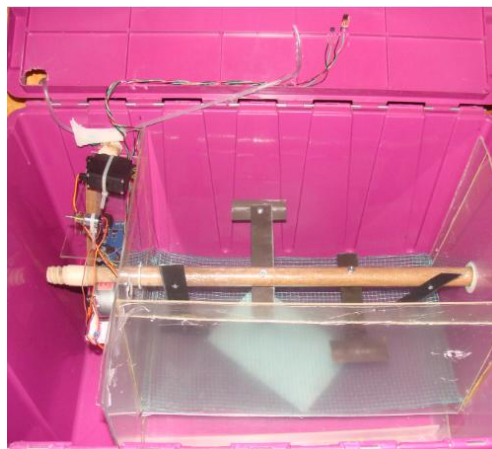


FIGURA 26. PROTOTIPO VISTO DESDE ARRIBA

Se ubicaron los sensores en esa parte del prototipo ya que quedan más o menos a la mitad del compartimiento de almacenamiento de la basura orgánica, lo cual implica que la información que obtengan será directamente la que se genere en la basura.

Finalmente para poder conectar el prototipo a una fuente de energía externa se hicieron las adecuaciones al prototipo para colocar un eliminador con conexión de barril de 2.1 mm de diámetro, esto para que la placa Arduino se conecte y trabaje inmediatamente después de ser conectada así mismo con la ayuda de un cable USB a micro USB que se puede conectar a una computadora y teniendo instalado previamente el software de Arduino y la placa se podrá conocer la información que se captura con los sensores y verificar que los actuadores están funcionando correctamente, al igual de cuando se obtuvieron en las pruebas. (Ver Figura 27)



FIGURA 27. PARTE TRASERA DEL PROTOTIPO

Para conocer la disminución de la intervención de las personas en el uso de este prototipo comparado con los modelos domésticos y comerciales se muestra un cuadro comparativo en el que se describirán todas las actividades relacionadas con un proceso de composta y en los que el ser humano debe intervenir para que se lleve a cabo el proceso y obtener el fertilizante (Ver Tabla 10).

**Tabla 10. Cuadro comparativo entre modelos de compostador y el prototipo para minimizar la intervención de las personas.**

Actividades a realizar	Modelo Domestico de compostador	Modelo comercial de compostador	Prototipo de compostador
Elaboración del compostador	De acuerdo a las necesidades de la familia debe de construir el modelo de compostador que se adecue a la producción	Escoger el que se adecue a las necesidades de la familia de acuerdo a su producción de basura.	El prototipo está diseñado a escala por lo que se reduce la cantidad de basura que puede procesar.

	de basura en su hogar.		
Recolección de basura orgánica y colocación en el compostador	Se deben de recolectar todos los desechos y ponerlos en el compostador que hayan diseñado, sin embargo dependiendo del diseño elegido se puede tener una fácil colocación de desechos o se vuelve un reto hacer esta tarea.	Se separa la basura y toda aquella que sea basura orgánica se deposita directamente en el interior del compostador.	Se colocan en el interior todos los desechos orgánicos que se generan en el hogar.
Toma de temperatura	Una personas debe de ir a tomar las lecturas de temperatura al menos una vez por día para verificar que sea la idónea para el proceso de descomposición, si es menor debe de tapar con un plástico negro para aumentar la temperatura si se ha excedido se debe retirar el plástico y esperar a que disminuya la temperatura para volver a poner el plástico en su lugar.	De igual manera dependiendo del modelo de compostador elegido, se debe de ir a tomar la lectura correspondiente de temperatura, sin embargo el funcionamiento de estos depende solo de las ventilas abiertas y cerradas para conservar el calor en el interior del compostador.	La lectura de temperatura la lleva a cabo un sensor que obtendrá la esta información aproximadamente cada segundo para controlar las condiciones necesarias en el compostador para el proceso de composta así como de activar/desactivar los mecanismos que ayuden a controlar la temperatura.
Toma de humedad	Un integrante de la familia debe verificar la cantidad de agua que existe en su composta y de acuerdo a su criterio regarla si es necesario, este detalle podría que hacer que la descomposición se haga más lenta y producir olores desagradables en la composta.	Un integrante de la familia debe verificar la cantidad de agua que existe en su composta y de acuerdo a su criterio regarla si es necesario, este detalle podría que hacer que la descomposición se haga más lenta sin embargo se controla la fuga de malos olores al tener que cerrar manualmente las ventilas.	La información es obtenida por un sensor de humedad que regulara las mínimas condiciones que necesita la composta, activando/desactivando el mecanismo de riego para tener los niveles óptimos y otros mecanismos para regularizar estos datos en el interior del compostador.
Aireación	Se debe de realizar dependiendo a las condiciones ambientales en donde se encuentre el compostador, la debe realizar una personas con la ayuda de un	La debe hacer una persona que se encargue de abrir y cerrar manualmente los compartimentos de ventilación y dejarlos así hasta que se	Se lleva a cabo cuando las condiciones de temperatura y humedad se sobrepasen y se deba de controlar al aumentar la cantidad de aire y oxígeno para disminuir

	bastón para cuando sea cerrado el modelo y si es abierto por ejemplo el compostador de bidón no necesita que una persona intervenga para hacer la aireación en la composta.	considere que ya existe un aumento de oxígeno en la composta.	estos factores a modo de que la intervención de las personas se es innecesaria.
Descompactación	Para llevar a cabo esta actividad es necesario el uso de la fuerza por parte de quien la realice para esto se tendrá que revolver la composta es decir lo que está abajo voltearlo y ponerlo arriba de la pila, esto se debe de hacer por lo menos tres veces a la semana.	El proceso se lleva manualmente por medio de una manija que se encuentra a un costado del compostador, por lo que se minimiza el esfuerzo de las personas para hacer esta tarea. En otro tipo de compostador se debe de hacer por medio de un bastón que sería muy parecido a un compostador doméstico.	El prototipo realizara esta actividad por medio de un mecanismo tipo aspa con la ayuda de un motor para que se genere un movimiento giratorio y el esfuerzo lo hará el motor y el ser humano no tenga que intervenir para hacer este proceso.
Retiro del abono del compostador	Una vez que se termina con el proceso de la composta se debe de retirar el fertilizante dependiendo de la forma del compostador es la complejidad a la que el ser humano se pueda enfrentar ya que existe el caso en que se debe de desarmar todo el compostador para obtener el abono o por otro lado simplemente recoger el producto final del interior del compostador.	Una vez terminado el proceso de la composta se debe de retirar la parte en la que se almacena el fertilizante.	Se tendrá que retirar el fertilizante por un lado del prototipo de compostador en el que se hará uso de una especie de bandeja en la que se almacenara y poder sacarlo de una manera sencilla y fácil del prototipo.

En resumen el prototipo de compostador que se ha construido mejora los procesos al automatizarlos y garantizar que la intervención del ser humano será mínima en el uso del compostador.

Esto se debe a que el usuario solo tendrá como actividades principales la recolección de los desechos orgánicos que se generen en su hogar y ponerlos en el interior del prototipo para que una vez que se han recolectado la cantidad suficiente de residuos, verificando que la cantidad de agua que existe en el depósito sea la suficiente para llevar a cabo el proceso completo de la

composta, esto lo puede hacer al menos una vez cada que salga el abono de una composta y ahora si conectar a la corriente eléctrica el prototipo para que comience el funcionamiento de este.

Una vez comenzado el proceso de composta el usuario tendrá que volver a tener contacto con el prototipo hasta que se finalice y se tenga que retirar el abono del interior del compostador, de esta manera la intervención del ser humano se disminuye radicalmente cuando se hace uso de un compostador automatizado en los diversos procesos en lo que se puede aplicar esta característica en comparación al uso de compostadores domésticos y comerciales que actualmente se conocen y pueden ser usados en el hogar tomando en cuenta que sus dimensiones son considerablemente grandes y este es un factor importante por el que no se ha masificado el uso de modelos de compostador para compostaje.

## 5.1 Análisis de Resultados

El prototipo que se desarrolló tiene su base en la idea de hacer uso de las tecnologías de hardware y software libre las cuales son de gran ayuda al poder implementar dispositivos electrónicos de bajo costo y software gratuito en el que no se invierte más de lo necesario. Por lo que para nuestro análisis de resultados se ha dividido la construcción del prototipo en dos partes, por un lado se encuentra el aspecto físico y por el otro el aspecto electrónico.

Aunque el análisis se centra específicamente en la parte electrónica del prototipo ya que es la variante que nos ocupa a la hora de implementar hardware libre en comparación con el hardware con licenciamiento de propiedad.

Respecto a gastos se hará un listado de la inversión que tuvo el prototipo de compostador para uso doméstico. En la Tabla 11 se muestra el material que se ha usado para poder armar el prototipo, algunos de estos materiales se adquieren fácilmente y otros fueron reusados por lo que no se genera un gasto adicional para la construcción del prototipo del compostador.

**Tabla 11. Lista de materiales y precios del material del prototipo**

Material adquirido	Precio
1 Caja de plástico	\$60.00
4 Paneles de Acrílico	\$152.00
1 Kit de suero	\$10.00
1 Malla metálica	\$30.00
1 Malla de plástico	\$15.00
1 Pegamento	\$30.00
2 Plastiloka	\$30.00
1 Pegamento liquido	\$35.00

1 Palo de escoba	Gratis
Padecería de aluminio	Gratis
10 Tornillos y tuercas	\$40.00
4 Brocas 1/8, 1/16, 3/32, 1 ½	\$50.00
Cable	Gratis
1 Acido ferroso	\$28.00
1 Fibra de metal	Gratis

Dando una inversión total de \$480.00 para construir el prototipo en cuestiones físicas, con el material necesario para poder hacerlo y crear el modelo de compostador para uso doméstico.

Para el material de la parte electrónica del prototipo, se muestra en la Tabla 12 los dispositivos elegidos y toda la electrónica que se usó para su implementación en el prototipo de compostador.

**Tabla 12. Lista de materiales de electrónica y precios**

Material adquirido	Precio
1 Placa Arduino Leonardo	\$445.00
1 Sensor de temperatura LM35DZ	\$30.00
1 Sensor de humedad HIH-4030	\$270.00
1 Servomotor	\$355.00
1 Motorreductor	\$260.00
1 Motor DC	Gratis
1 Placa fenólica	\$10.00
4 Resistencias	\$1.00
2 Transistores TIP 120	\$10.00
2 Diodos	\$5.00

Teniendo una inversión total en la parte electrónica implementada en el prototipo de \$1386.00 MXN.

Sin embargo al hacer uso de otras tecnologías el precio del prototipo sería más elevado ya que algunos de los componentes electrónicos tendrían un costo mayor al necesitar algún complemento adicional, en la Tabla 13 se hará mención de las otras tecnologías que se podrían implementar, pero que al ser comercial su precio aumenta considerablemente.

**Tabla 13. Alternativas de implementación**

Dispositivos con tecnología comercial		Precio	Fuente
Parallax Basic Stamp	BASIC Stamp 2p40 Microcontroller Module	\$89.00 Dls. \$1157.00 MXN	<a href="http://www.parallax.com/product/bs2p40">http://www.parallax.com/product/bs2p40</a>
	BASIC Stamp 2px Microcontroller Module	\$79.00 Dls. \$1027.00 MXN	<a href="http://www.parallax.com/product/bs2px24">http://www.parallax.com/product/bs2px24</a>
	Modulo de Control BASIC Stamp 2	\$800.00 MXN	<a href="http://cosasdeingenieria.com/esp/index/item/420/117/modulo-de-control-basic-stamp-2">http://cosasdeingenieria.com/esp/index/item/420/117/modulo-de-control-basic-stamp-2</a>
PIC	16F84A	\$50.00 MXN	<a href="http://www.a-electronicasmx.com/esp/index/item/206/pic16f84a">http://www.a-electronicasmx.com/esp/index/item/206/pic16f84a</a>
	Dispositivo Chip Programador SuperPro 5015 Universal IC	\$845.00 MXN	<a href="http://es.xeltek.com/superpro501s">http://es.xeltek.com/superpro501s</a>
	Cabezal de ISP	\$75.00 MXN	<a href="http://www.xeltek.com/ISP-Header-01/">http://www.xeltek.com/ISP-Header-01/</a>
Placa HandyBoard del MIT	HB-IC-HANDYBOT-DB5/HB-IC-HANDYBOT-DB25/HB-IC-HANDYBOT-DIN5 (Mac)	\$299.00 Dls \$3887.00 MXN	<a href="http://www.robotstorehk.com/handyboard/hb-handybot.html">http://www.robotstorehk.com/handyboard/hb-handybot.html</a>
	HB-IC-HANDYBOT-USB	\$315.00 Dls. \$4095.00 MXN	<a href="http://www.robotstorehk.com/handyboard/hb-handybot.html">http://www.robotstorehk.com/handyboard/hb-handybot.html</a>
Documentación		<p>Este tipo de tecnologías se pueden implementar en proyectos donde se haga uso de sensores, motores, etc. por lo que para su programación se necesita de software especializado por tanto para poder programar los microcontroladores es necesario tener la documentación necesaria o mínima para controlar los dispositivos electrónicos que se usaran para el proyecto a desarrollar, sin embargo este tipo de tecnología comercial tiende a tener manuales bajo un costo que se debe de cubrir para poder obtener el material requerido para la hacer uso de ellos.</p> <p>De igual manera esta documentación se encuentra en ocasiones en otros idiomas lo que provoca que las personas no hagan uso de la documentación aunque esta exista.</p> <p>Por tanto este tipo de tecnologías se ve limitada en cuanto a su difusión y a la adquisición de materiales que pueden servir de apoyo para el buen desarrollo de los proyectos.</p>	
Accesibilidad		<p>Ahora bien para adquirir estos dispositivos es necesario importar el material del lugar donde se comercializan, es decir, se debe de pagar por el envío del producto que se es solicitado y esperar a que llegue a su destino, limitando el acceso a los dispositivos electrónicos y a su implementación para el desarrollo de un proyecto.</p> <p>Otra de sus desventajas al hacer de esta tecnología una opción de uso, es en la cuestión de que algunos dispositivos necesitan de algún</p>	

		<p>complemento para poder utilizarlos, en el caso algunos microcontroladores es necesario contar o adquirir un grabador de microcontroladores así como un adaptador de cabezal de ISP para poder hacer uso de estos dispositivos.</p> <p>Finalmente cuando se hace uso de tecnologías comerciales es necesario contar con los derechos para hacer uso de ellos y tener que hacer referencia a su productor y mantener los derechos de autor reservados.</p>	
Tecnología de Hardware Libre			
Arduino	Arduino Leonardo R3 Original c/headers	\$445.00 MXN	<a href="http://cosasdeingenieria.com/esp/index/item/394/85/arduino-leonardo-r3-original-headers">http://cosasdeingenieria.com/esp/index/item/394/85/arduino-leonardo-r3-original-headers</a>
	RedBoard (compatible con el Arduino IDE)	\$400.00 MXN	<a href="http://cosasdeingenieria.com/esp/index/item/573/85/redboard-compatible-con-el-arduino-ide">http://cosasdeingenieria.com/esp/index/item/573/85/redboard-compatible-con-el-arduino-ide</a>
	Pro Micro 5V/16MHz	\$350.00 MXN	<a href="http://cosasdeingenieria.com/esp/index/item/595/85/pro-micro-5v16mhz">http://cosasdeingenieria.com/esp/index/item/595/85/pro-micro-5v16mhz</a>
Documentación		<p>Para el caso de las tecnologías de hardware libre como lo es Arduino y otras plataformas de desarrollo, es posible encontrar la documentación necesaria que puede usarse, modificarse y mejorarse para poder utilizarlos en los proyectos en los que se quiera implementar, al tener la documentación en multi-lenguajes es posible encontrar información sin ninguna restricción posible.</p> <p>Los manuales se pueden adquirir desde páginas oficiales o en foros donde se han publicado los diferentes proyectos en los que se hace uso de Arduino y sus diferentes dispositivos electrónicos a los que es compatible esta placa de experimentación.</p>	
Accesibilidad		<p>En cuanto a la accesibilidad que tienen estas tecnologías libres, es que se pueden encontrar diversos sitios para poder adquirirlas, en el caso de Arduino es posible hacernos de nuestra placa al hacerla nosotros mismos, gracias a que la plataforma nos permite obtener los diagramas y conocer los materiales con los que está hecho una placa Arduino, de esta manera las tecnologías libres quedan a la mano de quien quiera hacer uso de estas y utilizarlas para sus proyectos.</p> <p>Además de tener una gran compatibilidad con diversos dispositivos electrónicos que se pueden usar con la ayuda de Arduino y de sus diversas placas que tienen un fin distinto según el proyecto que se quiera desarrollar.</p>	

Cabe mencionar que dentro de la tabla se hace mención de la tecnología que se ha usado en la implementación del prototipo que es Arduino, ahora bien si hacemos una estimación en cuanto a la inversión que se tendría con el uso de alguna de las tecnologías comerciales poniendo como ejemplo los mismos sensores pero usando un BASIC Stamp 2p40 Microcontroller Module de Parallax, en la Tabla 14 se cotizará la electrónica que se implementará en el prototipo del compostador.

**Tabla 14. Lista de electrónica sustituyendo la placa Arduino**

Material con uso de tecnologías comerciales	Precio
1 BASIC Stamp 2p40 Microcontroller Module	\$1157.00
1 Sensor de temperatura LM35DZ	\$30.00
1 Sensor de humedad HIH-4030	\$270.00
1 Servomotor	\$355.00
1 Motorreductor	\$260.00
1 Motor DC	Gratis
1 Placa fenólica	\$10.00
4 Resistencias	\$1.00
2 Transistores TIP 120	\$10.00
2 Diodos	\$5.00

Con esta única modificación en la electrónica del prototipo la inversión que se necesitaría para ser implementada sería de \$2098.00 MXN, suponiendo que se tiene todo lo necesario para hacer uso de este módulo de control, de igual manera que los sensores que se han seleccionado para la toma de lectura y humedad son compatibles con esta tecnología comercial. Sin embargo al hacer uso de otras tecnologías es claro que los costos de construcción se elevan considerablemente, por lo que queda demostrada la hipótesis que se ha planteado.

De modo que aparte de tener un aumento en los costos de inversión del prototipo de compostador por el uso de tecnologías comerciales, es necesario mencionar que la compatibilidad con otros dispositivos electrónicos pueda no ser así de manera que se tendrían que buscar nuevos dispositivos electrónicos que sustituyan los que se han seleccionado y de ser así se aumentan los costos para la construcción de un prototipo de compostador.

Finalmente el prototipo que se propone queda como base de mejora para su implementación en situaciones reales en donde se hagan las pruebas pertinentes y se corrijan los errores en la selección de dispositivos electrónicos que se han propuesto para un prototipo de compostador de uso doméstico.

# CONCLUSIONES

El prototipo tiene la capacidad de reemplazar en ciertas actividades al ser humano, alguna de ellas son: la medición de temperatura y humedad para activar y desactivar las tareas específicas en las que se puede sustituir la intervención del humano como es descompactar la composta ya que se requiere de un esfuerzo mayor por parte de las personas que hagan uso de compostadores sin automatizar, sin embargo al tener la intervención de la automatización se puede generar un mecanismo que realice esta tarea en nuestro caso se hizo uso de una aspa giratoria la cual revolverá los desechos orgánicos que sean depositados en el compostador.

Mientras que para mantener la humedad necesaria entre los desechos es requerido un mecanismo que controle el flujo de agua que regara los residuos a modo de tener el rango óptimo y mínimo considerado para tener una composta idónea. Ahora bien para mantener controlados los factores de humedad y temperatura se hará uso de un ventilador el cual tendrá que activarse para cuando se superen los datos requeridos y evitar que el ser humano lleve a cabo esta tarea.

En general los procesos que pudieron ser automatizados y evitar la intervención o tiempo del ser humano para esto en el compostador, se realizó a fin de mejorar los modelos de compostador que actualmente existen y que sin lugar a duda se podría hacer uso masivo de este tipo de aparatos para la reutilización de basura orgánica y disminuir la cantidad de basura que se desecha y mejorar la calidad del ambiente al tener una fuente alternativa de reciclaje.

Un prototipo de compostador puede generar un beneficio para quien lo utilice al utilizar desechos orgánicos para producir un fertilizante natural y equilibrado que se puede usar para nutrir los suelos de jardines, macetas e incluso usarlo para las hortalizas de quien haga uso de estas en sus hogares.

De igual manera al reutilizar los desperdicios generados en el hogar se disminuye la contaminación que día a día va en aumento y que sin lugar a duda puede ser factor para hacer conciencia en cuanto al cuidado del medio ambiente, al generar una alternativa en la que se puede cerrar el círculo de las tres R que son: el reuso, el reciclaje y la reducción de la cantidad de basura que se genera en una comunidad.

Sin embargo el prototipo que se presenta en este proyecto cuenta con algunas carencias que en un futuro se puede mejorar, en el aspecto lógico y físico, de modo que para el diseño físico se pueden encontrar diversas alternativas que se pueden adaptar al prototipo de compostador, así como tener más componentes hechos a la medida y con el material necesario que reemplace los que actualmente se implementaron en él.

Por ejemplo el mecanismo de la aspa, podría ser factor de cambio para mejorar su aspecto y su funcionamiento al tener un nuevo diseño que haga que los residuos tengan una mejor homogeneidad entre ellos al hacer la revoltura. Así como otros aspectos del prototipo que pueden

mejorar y que sin lugar a duda teniendo los recursos económicos necesarios se podría complementar y hacer más sofisticado el uso del modelo de compostador.

Otra de sus limitaciones es la cantidad que podría compostar, este compostador se limita a procesar como máximo un kilogramo y medio de desechos de basura para que el motorreductor pueda mover los desechos en el interior del compostador, aunque es necesario probar la cantidad exacta que puede revolver el prototipo de compostador.

Se deben evaluar los dispositivos electrónicos usados actualmente en un compostador en situaciones reales para determinar si son pertinentes o habrá que sustituirlos.

Se pueden integrar más componentes electrónicos para mejorar el proceso de composta, lo que implica modificaciones al software con la finalidad de mejorar el tiempo de ejecución y la forma en cómo debe interactuar todo en conjunto.

Además de que al implementar sensores y dispositivos electrónicos en un compostador para automatizar algunos procesos, se minimizan las actividades que se ha de realizar una persona en comparación de los modelos domésticos y algunos comerciales de compostador que existen.

# BIBLIOGRAFÍA

(CESOP), C. d. (2012). *Reporte CESOP. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS*. México, D.F.:  
Publicación mensual del CESOP de la Cámara de Diputados.

abarrataldea. (03 de 03 de 2013). *abarraOtaldea*. Obtenido de  
<http://www.abarrataldea.org/manual.htm>

Ambiente, e. N. (04 de 10 de 2014). *Humedad absoluta, específica y relativa*. Obtenido de  
<http://www.ecologiahoy.com/humedad-absoluta-especifica-y-relativa>

Ambiente, G. d. (2005). *Manual del Buen Compostador*. Madrid.

Arduino. (11 de 09 de 2013). *Arduino*. Recuperado el 16 de 09 de 2013, de  
<http://www.arduino.cc/>

Artero, Ó. T. (2013). ARDUINO. Curso práctico de formación. En Ó. T. Artero, *ARDUINO. Curso práctico de formación* (pág. 588). México: Alfaomega.

Autores, U. U. (01 de 06 de 2013). *Manual de Umbrello UML Autores*. Obtenido de  
<https://docs.kde.org/stable/es/kdesdk/umbrello/index.html>

Casco, J. M. (2008). *Compostaje*. Mundi-Prensa.

CONSUMER, E. (27 de 06 de 2014). *Compostaje: una práctica ecológica más que recomendable*. Obtenido de Una práctica ecológica que puede ayudar a reducir el problema de los residuos urbanos:  
[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/urbano/2006/01/20/148733.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2006/01/20/148733.php)

Craig G. Cogger, D. M. (04 de 07 de 2014). *Cómo hacer y usar el compost*. Washington, Oregon, Estados Unidos de América.

Daniel Sztern, M. M. (03 de 03 de 2013). *MANUAL PARA LA ELABORACION DE COMPOST BASES CONCEPTUALES Y PROCEDIMIENTOS*.

*evengreener.com*. (11 de 09 de 2013). Obtenido de  
[www.evengreener.com/Sho/Garden\\_Compost\\_Bins/CV220BLH\\_Blackwall\\_220\\_litres\\_black\\_Compost\\_Converter.html](http://www.evengreener.com/Sho/Garden_Compost_Bins/CV220BLH_Blackwall_220_litres_black_Compost_Converter.html)

Foundation, F. S. (18 de 07 de 2014). *El sistema operativo GNU*. Obtenido de  
<http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>

- Ingeniería, C. d. (24 de Julio de 2013). *COSAS DE INGENIERÍA*. Obtenido de <http://cosasdeingenieria.com/esp/index/item/48/72/sensor-de-temperatura-lm35dz>
- Ingeniería, C. d. (24 de Julio de 2013). *COSAS DE INGENIERÍA*. Obtenido de <http://cosasdeingenieria.com/esp/index/item/177/73/sensor-de-humedad-hih-4030>
- Ingeniería, C. d. (18 de Junio de 2013). *COSAS DE INGENIERÍA*. Obtenido de <http://cosasdeingenieria.com/esp/index/item/441/servomotor-94-kg-cm-alto-torque-con-engranes-de-metal-mg996r>
- Ingeniería, C. d. (04 de 09 de 2014). *COSAS DE INGENIERÍA*. Obtenido de <http://cosasdeingenieria.com/esp/index/item/443/58/micro-motorreductor-con-engrane-de-metal-y-motor-de-alto-torque-relacion-1001>
- LISA, G. (02 de 10 de 2014). *Universidad ICESI Wiki LISA*. Obtenido de [http://www.icesi.edu.co/departamentos/tecnologias\\_informacion\\_comunicaciones/proyectos/lisa/home/analisis/srs/srs](http://www.icesi.edu.co/departamentos/tecnologias_informacion_comunicaciones/proyectos/lisa/home/analisis/srs/srs)
- Murillo, P. (14 de 10 de 2014). *Arduiteka*. Obtenido de <http://www.arduteka.com/2011/12/componentes-el-servomotor/>
- OCDE. (13 de 10 de 2014). *OECDiLibrary*. Obtenido de [http://www.oecd-ilibrary.org/environment/data/oecd-environment-statistics/municipal-waste\\_data-00601-en](http://www.oecd-ilibrary.org/environment/data/oecd-environment-statistics/municipal-waste_data-00601-en)
- Prensa, L. (06 de 10 de 2013). *EL OCCIDENTAL*. Obtenido de <http://www.oem.com.mx/eloccidental/notas/n2325315.htm>
- SAGARPA. (22 de 09 de 2013). Elaboración de composta. Texcoco, Estado de México, México.
- Sandoval, J. T. (Febrero de 2010). Diseño y Construcción de un Prototipo Automático para Preparar Composta. Cuernavaca, Morelos, México.
- SEMARNAT. (2006). *Bases para Legislar la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. México.
- SEMARNAT. (2006). *Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México 2005*. México.
- THE EARTH MACHINE*. (11 de 09 de 2013). Obtenido de <http://www.earthmachine.com/>
- Tierra, A. d. (02 de 07 de 2014). Manual de Compostaje. Madrid, Cadarso, España.
- Tu mundo en Casa Decoesfera*. (09 de 11 de 2013). Obtenido de <http://www.decoesfera.com/cocina/terraviva-un-compostador-de-sobremesa-para-tu-cocina>

# ANEXOS

## A.1 Lenguaje Arduino

### A.1.1 Estructura general de un sketch

Se compone de tres secciones:

1. La sección de declaración de variables ubicada en el principio del sketch.

Esta sección está reservada como su nombre lo dice para las diferentes declaraciones de variables que se necesiten en el sketch, lo cual será explicado más adelante.

2. La sección llamada “void setup ()” delimitada por llaves de apertura y cierre.

Las instrucciones que son escritas dentro de esta sección, se ejecutaran una única vez al momento de encender o resetear la placa Arduino.

3. La sección llamada “void loop ()” delimitada por llaves de apertura y cierre.

Mientras que las instrucciones escritas en esta sección se ejecutaran justo después de las de la sección anterior infinitas veces hasta que la placa se apague o se resetee.

Por tanto las instrucciones que se encuentran en la sección de “void setup ()” sirven para realizar pre configuraciones iniciales y las instrucciones del interior de “void loop ()” es el programa en sí que estará funcionando continuamente en la placa.

### A.1.2 Uso de mayúsculas, minúsculas, tabulaciones y puntos y comas en Arduino

El lenguaje de Arduino es “case-sensitive”, es decir, es diferente escribir una letra en mayúscula que en minúscula mientras que las tabulaciones de las instrucciones no son necesarias para la compilación del sketch, son una manera de escribir el código de forma ordenada, clara y cómoda, facilitando la lectura del código ya escrito y mantener una estructura del mismo.

Todas las instrucciones deben de acabar con un punto y coma, ya que el compilador necesita localizarlo para poder detectar el final de cada instrucción en el sketch, si no es puesto el punto y coma el compilador nos indicara un error de sintaxis y por tanto es necesario comprobar que el código está escrito correctamente en otro sentido el compilador nos indicara cual es el error que encontró y si no es el caso del punto y coma deberemos de verificar todo el código para revisar que el error no sea error de lógica.

### A.1.2.1 Comentarios

Un comentario se utiliza para informar sobre cómo funciona una parte del código, ayudando a las personas que estén leyendo el código a entender y recordar las funciones que realiza ese sketch.

Los comentarios pueden aparecer de diferentes formas:

- ✓ Comentarios compuestos por una línea entera o parte de ella, para estos comentarios se debe de escribir dos barras (//) al principio de cada línea que queremos que sea comentario.
- ✓ Comentarios compuestos por un bloque de varias líneas seguidas, se debe de escribir una barra seguida de un asterisco (/\*) al principio del bloque de texto que queremos convertir en comentario y un asterisco seguido de una barra (\*/) al final de dicho bloque.

Todo lo escrito entre estas dos marcas serán tratadas automáticamente como comentarios y el compilador no tomara en cuenta esta parte del código.

### A.1.2.2 Variable: ¿Qué es?, su declaración y su inicialización

Una variables es un elemento que guarda un determinado contenido, la importancia de estas es que los sketches hacen uso de ellas para alojar valores necesarios para su funcionamiento.

Para usar una variable es indispensable primero crearla a este hecho se le conoce como “declaración de variable”, cada variable puede guardar solamente valores de un determinado tipo, por lo que se debe de decidir en la declaración que tipo de variable es la que nos interesa según el tipo de dato que necesitamos almacenar en ella dependiendo de los datos que queramos obtener ya sea desde un sensor o algún dato del exterior que puede procesar la placa Arduino.

La sintaxis general de una declaración de variable es: “*tipoVariable nombre Variable;*”, en el caso de querer declarar varias variables del mismo tipo es posible declararlas en una misma línea así: “*tipoVariable nombreVariable1, nombreVariable2;*”.

La inicialización de variables no es otra cosa más que darle un valor a la variable desde el inicio del sketch, esto nos ayuda a minimizar el cambio de valores a una variable usada constantemente en el código, ya que si la utilizamos varias veces en el código y no la inicializamos tendríamos que cambiarle el valor cada que esta variable sea usada. Evitando la pérdida de tiempo y cometer errores.

A la hora de declarar variables se recomienda que los nombres de estas, sean descriptivos de acuerdo a la tarea que tendrán asignada en el funcionamiento el sketch y hacer más legible el código por ejemplo *sensorTemp* o *botonEncendido*, para la declaración de variables se puede usar cualquier palabra excepto aquellas que sean palabras reservadas por el lenguaje Arduino.

#### A.1.2.2.1 Ámbito de una variable

Una variable puede ser “global” o “local”, dependiendo el ámbito que le queramos dar a nuestra variable dependerá del lugar en que esta se declare en el sketch:

- ✓ Variables globales. Estas son declaradas al principio del sketch, antes y fuera de las secciones “void setup ()” y “void loop ()”. Una variable global es aquellas que puede ser usada y manipulada desde cualquier punto del sketch, en otras palabras todas las instrucciones del programa pueden consultar y cambiar el valor de la variable sin importar la sección en la que se encuentre esta instrucción.
- ✓ Variables locales. Se declaran en el interior de alguna de las secciones del sketch, son aquellas que solo pueden ser usadas y manipuladas por las instrucciones escritas dentro de la misma sección donde se han declarado.

### A.1.2.2.2 Tipos de variable

Los tipos de variables que admite el lenguaje Arduino son:

- ✓ Tipo boolean: solo pueden tener dos valores cierto o falso y ocupa un byte de memoria en la placa.
- ✓ Tipo char: el valor que puede tomar esta variable es solo un carácter (una letra, un dígito, un signo de puntuación, etc.), cada variable de este tipo ocupa un byte de memoria para almacenar su valor.
- ✓ Tipo byte: este tipo siempre tomara un número entero entre 0 y 255 utilizando un byte para almacenar su valor.
- ✓ Tipo int: este tipo de variable puede tomar un numero entero entre  $-32768 (-2^{15})$  y  $32767 (2^{15}-1)$  gracias a que utilizan dos bytes de memoria para almacenarse.
- ✓ Tipo word: estas variables ocupan el mismo espacio de almacenamiento que las de tipo int que es de dos bytes pero los valores que puede tomar no pueden ser negativos, es decir, es un número entero entre 0 y  $65535 (2^{16}-1)$ .
- ✓ Tipo short: el valor que puede tener es un numero entero entre  $-32768 (-2^{15})$  y  $32767 (2^{15}-1)$  utilizando dos bytes de memoria.
- ✓ Tipo long: el valor que puede tener esta variable es un número entero entre  $-2,147,483,648$  y  $2,147,483,648$  gracias a que utilizan 4 bytes de memoria para almacenarse.
- ✓ Tipo unsigned long: el valor que puede tener es un numero entero entre 0 y  $4,294,967,295 (2^{32}-1)$  utilizando 4 bytes para almacenarse a diferencia de no tener números negativos.

Otros tipos de datos admitidos por Arduino son:

- float: el valor que puede tener es un numero decimal que puede ir desde el  $-3.4028235 \cdot 10^{38}$  hasta el numero  $3.4028235 \cdot 10^{38}$  teniendo solo de 6 o 7 dígitos en total de precisión, los valores float no son exactos y el cálculo matemático es más lento que con valores enteros.

- `double`: es el equivalente al tipo `float` sin aportar ningún aumento de precisión como ocurre con otros lenguajes de programación. Tanto `double` como `float` ocupan 4 bytes de memoria.
- `array`: este tipo de datos en realidad no existe como tal, ya que es una colección de variables de un tipo concreto que tienen todas, el mismo y único nombre pero se distinguen entre sí por un número de índice. Sirven para tener claridad y simplicidad en el código además de facilitar la programación.

### A.1.2.2.3 *Constantes*

Es posible declarar una variable tal que permanezca siempre inalterado su valor. Sin embargo ya no son llamadas variables sino constantes y pueden usarse como cualquier variable de su mismo tipo.

Para convertir una variable (sea global o local) en constante, lo único que hay que hacer es preceder la declaración con la palabra `const` o también se puede declarar como en C que es utilizando la directiva especial `#define`. Pero se recomienda el uso de `const` por su flexibilidad y versatilidad.

### A.1.2.3 *Parámetros y valor de retorno de una instrucción*

Los parámetros sirven para modificar el comportamiento de una instrucción en algún aspecto, dependiendo del número y tipo de cada parámetro de la instrucción.

Las instrucciones además de recibir parámetros de entrada (si es que lo hacen) y aparte de hacer la tarea que tienen que hacer, también devuelven un valor de salida (o “retorno”). Esto es un dato que podemos obtener en el sketch como resultado de la ejecución de una instrucción.

Si se quiere usar el valor devuelto por alguna instrucción se puede:

- Asignar ese valor a una variable del mismo tipo.
- Utilizar ese valor directamente dentro de otra instrucción.

### A.1.2.4 *Creación de funciones propias*

Una función es un trozo de código que es identificado por un nombre, de manera que se puede ejecutar todo el código incluido en ella simplemente escribiendo su nombre en la sección deseada en el sketch.

Al crear funciones se tiene un código ms legible y fácil de mantener, segmentando el código en diferentes funciones nos permite crear piezas modulares de código que realizan una tarea definida.

El incluir fragmentos de código en funciones tiene sus ventajas: una de ellas es que las funciones ayudan al programador a ser organizado y otra es que hacen más fácil la reutilización de código en otros programas.

Para crear una función propia, se deben de declarar. Esto se hace en cualquier lugar fuera de las secciones “void setup ()” y “void loop ()” antes o después de ambas secciones, siguiendo la siguiente sintaxis:

```
tipoRetorno nombreFuncion (tipoParam1, tipoParam2...) {  
  //código interno de la función  
}
```

Dónde:

“**tipoRetorno**” es uno de los valores ya conocidos de variables e indica el tipo de valor que la función devolverá al sketch principal una vez ejecutada. Para devolver el dato, se ha de utilizar la instrucción *return valor*; esto hace que la instrucción “return” sea la última en escribirse dentro del código de la función, si la función no retornara nada no es necesario escribirla.

“**tipoParam1, tipoParam2,...**” son las declaraciones de los parámetros que tendrá la función, estas son variables internas cuya existencia será mientras el código de la función se esté ejecutando. El valor inicial de estos parámetros se asigna en la “llamada” a la función en el sketch principal.

## A.2 Programa del Sistema Compostador

```
#include<Servo.h> // se incluye la libreria para controlar servo  
Servo myservo; // se declara el objeto myservo  
int analogPinHum=0;// se le asigna el pin analogo 0 al sensor de humedad  
int analogPinTemp=2; // se le asigna el pin analogo 2 al sensor de temperatura  
int motorVenPin=9; // se le asigna el pin digital 9 al ventilador  
int motorAspPin=10; // se le asigna el pin digital 10 al motor de aspas  
int pos; // se declara una variable pos para usarla en el servomotor  
  
//variables reloj  
int segundosTotal;  
int tiempoTrans=0;  
//termina variables reloj  
  
void servoAbrir()  
{  
  for(pos=0;pos<180;pos+=1)  
  {  
    myservo.write(pos);  
    delay(10);  
  }  
}
```

```

    }
    Serial.print("Abrir Servo:\t");
    Serial.println();
}
void servoCerrar()
{
    for(pos=180;pos>=1;pos-=1)
    {
        myservo.write(pos);
        delay(10);
    }
    Serial.print("Cerrar Servo:\t");
    Serial.println();
}
int senTemp()
{
    int valTemp;
    float temp;

    valTemp=analogRead(analogPinTemp);
    temp=(5*valTemp*100)/1024;
    valTemp=int(temp);
    delay(1000);
    return valTemp;
}
int senHum()
{
    int tempera=senTemp();
    Serial.print("Temperatura:\t\t");
    Serial.print(tempera);
    Serial.println();
    float humRel=getHumedad(tempera);
    Serial.print("Humedad Relativa:\t");
    Serial.print(humRel);
    Serial.println();
    delay(1000);
    return humRel;
}
float getHumedad(int gradosCelsius)
{
    //leer el valor desde el sensor
    int valHum=analogRead(analogPinHum);
    /*Serial.print("SensorHum:\t\t");

```

```

Serial.print(valHum);
Serial.println();*/
float voltaje=(valHum*5)/1023; //convertir a voltaje
float trueHR=voltaje/(1.0546-0.0026)*gradosCelsius; //temperatura ajustada
return trueHR;
}
int tiempo(int horas,int minutos,int segundos)
{
    segundosTotal=segundos+(minutos*60)+(horas*60*60);
    return segundosTotal;
}

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    pinMode(motorVenPin,OUTPUT);
    pinMode(motorAspPin,OUTPUT);
    myservo.attach(11);
}

void loop()
{
    boolean activo;

    int esperaAsp=tiempo(48,0,0);
    int activadoAsp=tiempo(48,2,30);

    tiempoTrans++;

    Serial.print("TiempoTranscurrido\t");
    Serial.print(tiempoTrans);
    Serial.println();

    int temp=senTemp();
    int hum=senHum();

    if(temp>=70||hum>=65)
    {
        digitalWrite(motorVenPin,HIGH);
        Serial.print("Ventilador Activo por condicion de temp>70 °C o hum>65%");
        Serial.println();
    }
    else

```

```

{
  digitalWrite(motorVenPin,LOW);
  Serial.print("Ventilador Desactivado por condicion de temp<70 °C o hum<65%");
  Serial.println();
}
if(tiempoTrans>esperaAsp)
{
  if(tiempoTrans>=esperaAsp&&tiempoTrans<activadoAsp)
  {
    digitalWrite(motorAspPin,HIGH);
    Serial.print("ASpas Activas tiempo: \t");
    Serial.println();
  }
  else
  {
    digitalWrite(motorAspPin,LOW);
    Serial.print("ASpas Desactivadas");
    Serial.println();
    tiempoTrans=0;
  }
}
if(hum<45&&activo==false)
{
  activo=true;
  servoAbrir();
  Serial.print("Por condicion de hum <45%");
  Serial.println();
}
if(hum>=55&&activo==true)
{
  servoCerrar();
  Serial.print("Por condicion de >55%");
  Serial.println();
  activo=false;
}
}

```

### A.3 Funcionamiento del Prototipo de Compostador

[\Anexos\Funcionamiento del Prototipo de Compostador.wmv](#)