

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**Importancia que tiene el compostaje en los agroecosistemas**

**POR**

**DIANA LAURA OLGUIN SANCHEZ**

**MONOGRAFÍA**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN AGROECOLOGIA**

**Torreón Coahuila**

**Marzo 2020**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA**

**Importancia que tiene el compostaje en los agroecosistemas**

**POR:**

**DIANA LAURA OLGUIN SANCHEZ**

**MONOGRAFÍA**

**Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito  
parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO EN AGROECOLOGÍA**

**APROBADA POR:**



Dr. Jesús Vásquez Arroyo  
Presidente



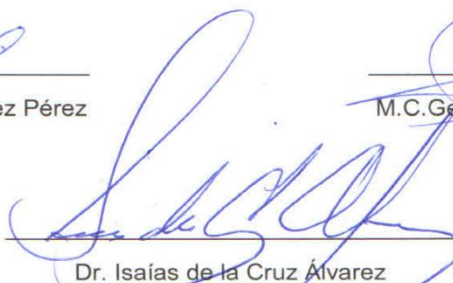
M.C. Eduardo Blanco Contreras  
Vocal



M.C. Fortino Domínguez Pérez  
Vocal



M.C. Gerardo Zapata Sifuentes  
Vocal suplente



Dr. Isaías de la Cruz Álvarez

Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Universidad Autónoma Agraria  
ANTONIO NARRO

Torreón, Coahuila, México

Marzo 2020



**COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN  
DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA**

**Importancia que tiene el compostaje en los agroecosistemas**

**POR**

**DIANA LAURA OLGUIN SANCHEZ**

**MONOGRAFÍA**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROECOLOGÍA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Jesús Vásquez Arroyo  
Asesor Principal



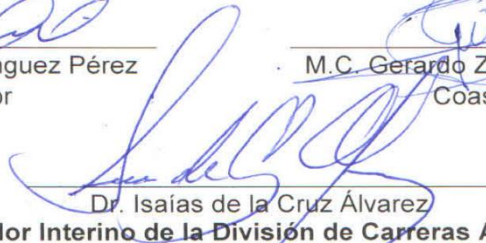
M.C. Eduardo Blanco Contreras  
Coasesor



M.C. Fortino Domínguez Pérez  
Coasesor



M.C. Gerardo Zapata Sifuentes  
Coasesor



Dr. Isaías de la Cruz Álvarez  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Universidad Autónoma Agraria  
ANTONIO NARRO

Marzo 2020



**COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN  
DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme dado la oportunidad de terminar mi carrera.

**Al Dr. Jesús Vásquez Arroyo** por darme la oportunidad de realizar dicho trabajo, motivándome en cada momento y por sus valiosas sugerencias para la integración del documento.

**M.C Eduardo Blanco Contreras y M.C Fortino Domínguez Pérez** por brindarme parte de su tiempo, apoyo para la revisión y corrección del trabajo y gracias por sus conocimientos y enseñanzas transmitidas que han formado parte de mi formación profesional.

**M.C Gerardo Zapata Sifuentes**

Por formar parte de dicho trabajo.

## **DEDICATORIA**

### **A Dios:**

Quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerza para seguir adelante y sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el interior.

### **A mi madre:**

Roberta Sanchez Calleja

Le agradezco la ayuda que me ha brindado todo este tiempo, no fue sencillo culminar, sin embargo siempre fuiste y serás mi motivadora, me decías que lo lograría perfectamente y así fue, te agradezco por todo lo que me has brindado.

### **A mi padre**

Víctor Olguin Flores

Me motivo con sus sabios consejos y creyó en mí, gracias.

### **A mis hermanos:**

Luis Alberto Olguin Sanchez

Manuel Eduardo Olguin Sanchez

Fernando Ulises Olguin Figueroa

Por estar siempre a mi lado y apoyarme en cada decisión. Me motivaron a continuar y hoy en día soy su orgullo.

### **A mis abuelos**

Por apoyarme con sus sabios consejos y por creer en mí.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CUADRO.....</b>	<b>vi</b>
<b>RESÚMEN.....</b>	<b>vii</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>LITERATURA REVISADA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Historia de la Agroecología .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Agroecosistema .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Clasificación de los agroecosistemas .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4. Clasificación de los cultivos utilizados en los diferentes sistemas .....</b>	<b>7</b>
<b>2.5. Importancia del compost en los agroecosistemas. ....</b>	<b>8</b>
<b>2.6. Residuos sólidos. ....</b>	<b>14</b>
<b>2.6.1. Residuos sólidos municipales. ....</b>	<b>14</b>
<b>2.6.2. Residuos sólidos industriales. ....</b>	<b>15</b>
<b>2.6.3. Residuos agropecuarios. ....</b>	<b>15</b>
<b>2.6.4. Residuos agrícolas. ....</b>	<b>16</b>
<b>2.6.5. Residuos pecuarios. ....</b>	<b>18</b>
<b>2.7. Compostaje de residuos. ....</b>	<b>21</b>
<b>2.8. Beneficios del compost. ....</b>	<b>22</b>
<b>2.9. Calidad del compost .....</b>	<b>23</b>
<b>2.10. Factores que afectan el proceso de compostaje .....</b>	<b>24</b>
<b>2.10.1 Relación C:N. ....</b>	<b>24</b>
<b>2.10.2 Aireación.....</b>	<b>24</b>
<b>2.10.3 Contenido de Humedad .....</b>	<b>24</b>
<b>2.10.4 Temperatura .....</b>	<b>26</b>
<b>2.10.5. Potencial de hidrógeno (pH). ....</b>	<b>26</b>

2.11. Utilización de compostaje.....	27
2.11.1. Compost fresco.....	27
2.11.2. Compost maduro .....	27
2.12. Definición y fases del compostaje.....	28
2.12.1. Fase Mesófila .....	28
2.12.2 Fase Termófila .....	28
2.12.3. Fase Enfriamiento .....	28
2.12.4. Fase de Maduración.....	28
2.13. Condiciones para el proceso de compostaje .....	28
2.14. Tipos de compostaje.....	31
2.14.1 Compostaje Aerobio .....	32
2.14.2 Compostaje Anaerobia.....	33
2.15. Característica para la aplicación de compostaje.....	33
2.16. Tipos de composta .....	33
2.16.1 Sistema abierto .....	33
2.16.2 Sistema cerrado .....	34
2.17. Aplicación de compost.....	34
2.18. Evaluación del grado de madurez de una composta .....	34
2.19. Métodos para evaluar la madurez del compost .....	34
2.19.1 Métodos empíricos.....	35
2.19.2 Método físico .....	35
2.19.3 Método físicos- químico .....	35
2.19.4 Métodos biológicos.....	36
2.20 Indicadores de calidad.....	36
2.21. Factores que afectan el compostaje.....	36
2.22 Los efectos fitotóxicos. ....	37
2.23 Ley General para la Prevención y gestion Integral de los Residuos .....	37
2.24 Norma Oficial Mexicana: NOM-083-Semarnat 2003 .....	37
3. CONCLUSIÓN .....	38
4. RECOMENDACIONES.....	39
5. LITERAURA CITADA .....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1 El agroecosistema, el ambiente de los cultivos.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2 Evaluación de los beneficios potenciales del uso de compost en agroecosistemas.....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 4 Visión general del ciclo de producción del compost para uso en agroecosistemas.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 5 La empresa Tera Ambiental (Brasil), es capaz de manejar y remover material para compostaje en hileras o pilas estáticas aireadas con capacidad de 90,000 t año-1 .....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 6 Procesos para la degradación de la materia orgánica .....</b>	<b>22</b>



## ÍNDICE DE CUADRO

<b>Cuadro 1</b>	<b>Parámetros regulatorios de la calidad del compost. ....</b>	<b>13</b>
<b>Cuadro 2</b>	<b>Caracterización del estiércol de bovino. ....</b>	<b>19</b>
<b>Cuadro 3</b>	<b>Temperatura y tiempo de exposición necesario para la destrucción de los parásitos y patógenos más comunes .....</b>	<b>29</b>
<b>Cuadro 4</b>	<b>Condiciones ideales para el compostaje. ....</b>	<b>30</b>
<b>Cuadro 5</b>	<b>Composición general del compost.....</b>	<b>30</b>
<b>Cuadro 6</b>	<b>Propiedades fisicoquímicas de algunos materiales crudos para compostaje .....</b>	<b>31</b>

## RESÚMEN

La agroecología integra conocimientos tradicionales con el conocimiento técnico moderno, para obtener métodos de producción que respeten el ambiente y la sociedad, para alcanzar no sólo metas productivas, sino también, la igualdad social y la sustentabilidad ecológica del agroecosistema. El presente trabajo es una recopilación detallada sobre la importancia que tiene el compostaje en los agroecosistemas. En este contexto, el compostaje es una forma de mejorar los ciclos de nutrientes locales al devolver carbono orgánico saludable y duradero al suelo. El agroecosistemas es una interacción compleja entre procesos sociales externos e interno, entre los procesos biológicos y ambientales, estos pueden ubicarse espacialmente al nivel del terreno de cultivo, pero a menudo también incluyen una dimensión temporal. El proceso se ha practicado durante milenios, probablemente desde que los humanos comenzaron a distinguir entre suelos fértiles e improductivos y a desarrollar prácticas para mejorarlos para la agricultura. Se le define al proceso, como la descomposición de la materia orgánica por medio de la acción de microorganismos aerobias termófilas que están presentes (de forma natural) en cualquier lugar, y su posterior fermentación por otras especies de bacterias, hongos y actinomicetos sus beneficios sistémicos del reciclaje de nutrientes y materia orgánica, el compost beneficia directamente otros aspectos de la salud del suelo. El compost tiene que ser un producto inocuo y libre de sustancias fitotóxicas, cuya aplicación a los agroecosistemas no dañen las plantas y que permita su almacenamiento sin posteriores tratamientos ni alteraciones.

**Palabras claves:** Compost, madurez de compost, agroecosistemas, biosolidos.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

La agroecología integra conocimientos tradicionales con el conocimiento técnico moderno, para obtener métodos de producción que respeten el ambiente y la sociedad, para alcanzar no sólo metas productivas, sino también, la igualdad social y la sustentabilidad ecológica del agroecosistema. De esta manera, provee las bases para el mantenimiento de la biodiversidad de la agricultura y esta es la forma de alcanzar una producción sustentable (Martinez Castillos, 2004).

En el 2007 surge la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA) con el objetivo de promover a la agroecología como la base científica de una estrategia para el desarrollo sustentable en América Latina. Este organismo enfatiza la soberanía alimentaria, la conservación de los recursos naturales y la agrobiodiversidad, y busca el empoderamiento de los movimientos sociales rurales (Wezel y Soldat 2009).

El uso de compost en la agricultura y la horticultura, por un lado, está aumentando debido a la creciente popularidad de los productos orgánicos y al creciente reconocimiento de su capacidad para incrementar la materia orgánica del suelo y mejorar la salud del suelo. Los municipios, por otro lado, ven el compostaje como una tecnología útil para procesar los residuos orgánicos en productos de valor agregado que compensan algunos de los costos de la gestión de residuos (Clark, 2020).

En la esfera social más amplia, el retorno de los residuos orgánicos a los suelos productivos es una parte importante de la economía circular, promovida como la base de una sociedad más sostenible. Además, algunos consideran el aumento intencional a gran escala de la materia orgánica del suelo como un medio importante para revertir el aumento global de las concentraciones de dióxido de carbono atmosférico mediante el secuestro de grandes cantidades de carbono (Minasny *et al.*, 2017). Dicha iniciativa

tendría el beneficio adicional y quizás igualmente importante de recuperar los suelos degradados por la desertificación, la salinización y la erosión (Clark, 2020).

En México se generan más de 44 millones de residuos éstos, aproximadamente el 90% terminan en los tiraderos a cielo abierto o rellenos sanitarios, mismos que por lo general no cumplen con la normatividad correspondiente y son mal operados. Así mismo, el desperdicio de alimentos y la generación de residuos orgánicos representan aproximadamente el 50% de los residuos que se generan (SEMARNAT, 2019).

Los cultivos utilizados en los diferentes sistemas pueden clasificar en función de su uso como lo indica (Martin y Saueborn 2013): Cultivos alimenticios que sirven como parte de la dieta humana; bebidas y estimulantes; plantas medicinales y especias; plantas forrajeras para la producción animal y materias primas, que pueden servir en la producción de fibras y combustibles.

## CAPÍTULO II

### LITERATURA REVISADA

#### 2.1. Historia de la Agroecología

El término de la agroecología se da en los años 70, pero la ciencia y la práctica de la agroecología son tan antiguos como los orígenes de la agricultura (Hecht, 1999). La agroecología es definida como la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles. Que provee el conocimiento y metodología necesarios para desarrollar una agricultura que sea, ambientalmente adecuado, altamente productivo, económicamente viable y establece condiciones para el desarrollo de nuevos paradigmas en la agricultura. También valoriza el conocimiento local empírico de los agricultores, el compartir este conocimiento y su aplicación al objetivo común de sostenibilidad (Gliessman, 2002).

Grosso citado por (Restrepo *et al.*, 2000) define a la agroecología como la incorporación de ideas con un enfoque así una agricultura más ligada al medio ambiente y más socialmente centrada, no sólo en la producción sino también en la sostenibilidad ecológica del sistema de producción. Tomando en cuenta la agricultura social con énfasis relativamente bajo de las investigaciones realizadas en los centros experimentales y en los laboratorios, enfatiza los experimentos de campo, permitiendo una mayor participación de los agricultores en los procesos de investigación. Para informar estas diferencias, se analizó la trayectoria de la agricultura convencional en América Latina y el papel de las organizaciones no gubernamentales (ONGs) (Norgaard y Sikor, 1999).

La agroecología integra conocimientos tradicionales con el conocimiento técnico moderno, para obtener métodos de producción que respeten el ambiente y la sociedad, para alcanzar no sólo metas productivas, sino también, la igualdad social y la sustentabilidad ecológica del agroecosistema. De esta manera, provee las bases para

el mantenimiento de la biodiversidad de la agricultura y la forma de alcanzar la producción sustentable (Martinez Castillos, 2004).

Los conocimientos y las prácticas utilizadas por los indígenas y campesinos de Mesoamérica, los Andes y el trópico húmedo constituyen las raíces de la Agroecología en América Latina. En la década de los 70s y 80s del siglo pasado, Steve Gliessman y su grupo en el entonces Colegio Superior de Agricultura Tropical (CSAT) en Tabasco, México, inspirados por el trabajo de Efraim Hernández-Xolocotzi reconocieron que esta información empírica basada en la observación y en la práctica y con fuerte arraigo cultural, constituía una fuente de conocimiento para conceptualizar y aplicar la agroecología (Altieri, 2015).

La agroecología se pone de manifiesto de diferentes maneras. Inicia a finales del siglo pasado, en las décadas de los 80s y 90s, siendo una disciplina científica que ofrece alternativas a la Revolución verde en la medida que, para estudiar los agroecosistemas e incidir en el desarrollo de la agricultura, moviliza elementos tanto de la ecología como de los sistemas agrícolas tradicionales. En el 2007 surge la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA) con el objetivo de promover a la agroecología como la base científica de una estrategia para el desarrollo sustentable en América Latina. Este organismo enfatiza la soberanía alimentaria, la conservación de los recursos naturales y la agrobiodiversidad, y busca el empoderamiento de los movimientos sociales rurales (Wezel y Soldat , 2009)

La introducción, estabilización y adopción del modelo agroindustrial en México fue un proceso complejo en el que participaron agentes e instituciones diversas (Cotter, 2003). Dicho proceso de modernización inició tras el fin de la Revolución Mexicana, cuando mediante distintas estrategias se buscó transformar el paisaje agrícola a través nuevas técnicas e instrumentos. Este esfuerzo modernizado registró una importante inflexión en 1943, con la fundación de la Oficina de Estudios Especiales (OEE) por acuerdo de la Fundación Rockefeller (FR) y el Gobierno Mexicano (Astier y Argueta 2015).

Si bien es hasta 1977 cuando Efraím Hernández propuso la noción de agroecosistema, lo cierto es que desde los años 40 podemos observar en sus publicaciones un esfuerzo por comprender las interacciones ecológicas y las estrategias humanas de adaptación y manejo de recursos (Astier y Argueta 2015).

Desde 1977, diversos autores documentaron los sistemas de manejo y domesticación de las especies presentes en los agroecosistemas campesinos e indígenas a lo largo del país. Se presentaban trabajos en los seminarios sobre análisis de agroecosistemas organizados por Efraím Hernández X., y colaboradores del Colegio de Postgraduados (CP) de Chapingo. En el libro que coordinó Teresa Rojas (1994) "Agricultura indígena pasado y presente" se recogen los estudios de los sistemas agrícolas arqueológicos y contemporáneos en las regiones maya, purépecha, náhuatl y mixteca (Casas *et al.*, 1997). En el trabajo de (Altieri y Trujillos, 1987) se ponen en evidencia los mecanismos de regulación de plagas y transferencia de nutrientes que existían en los sistemas tradicionales de maíz en policultivo y agroforestales en Tlaxcala (Astier y Argueta 2015).

La carrera de Ingeniero en Agroecología surge y se consolida en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en la década de los 90's, se propone como alternativa a la formación agropecuaria convencional e inicia operaciones en 1996. Su primera generación egresa en el año dos mil. Por lo que en 2015, se cuentan con 15 generaciones de egresados los cuales suman un total de 182. El manejo de agroecosistemas se perfila como una necesidad social, por lo que se espera que lleguen finalmente a ocupar los puestos que les corresponden, como agroecólogos al comprender la dinámica social de la producción sana y sostenible (Blanco y Sáenz, 2015).

## **2.2. Agroecosistema.**

El agroecosistema es el concepto central de la agroecología, su objeto de estudio, su razón de ser. En principio y en términos restrictivos, se referiría únicamente a aquellos sistemas ecológicos que han sido transformados por la agricultura o, expresado de otra manera, a aquellos sistemas agrarios que se estudian bajo la lente de la ecología (León, 2014).

Los agroecosistemas son ecosistemas sometidos por el hombre a frecuentes modificaciones de sus componentes abióticos y bióticos. Aunque comparten características propias de los ecosistemas y sistemas económicos, algunos de ellos adquieren especial relevancia para los fines de la producción que el hombre se plantea al crearlos y manipularlos (Soriano y Aguilar, 2019).

El objetivo de los ecosistemas es integrar los componentes para mejorar la eficacia biológica general, se preserve la diversidad y se mantenga la producción del sistema y su capacidad de autorregulación. La idea es diseñar un agroecosistema que imita la estructura y la función del sistema natural local, es decir, un sistema con una gran diversidad específica y actividad biológica, que conserve los suelos, promueva el reciclaje e impida la pérdida de recursos (Sans, 2007).

(Restrepo *et al.*, 2000), definen los sistemas agrícolas o agroecosistemas como una interacción compleja entre procesos sociales externos e interno, entre los procesos biológicos y ambientales, estos pueden ubicarse espacialmente al nivel del terreno de cultivo, pero a menudo también incluyen una dimensión temporal. Los agroecosistemas son ecosistemas establecidos para la producción de plantas y animales útiles. Se diferencian de los ecosistemas naturales en que están formados por humanos cuya intervención regular manipula la composición de sus organismos y su función.

El concepto de agroecosistema tiene un cambio en la currícula de formación de agrónomos. Así, se integró un concepto de agroecosistema que emerge de las esferas



física (suelo, agua, clima) y biológica (plantas, animales y desintegradores) del ecosistema, hacia la esfera socioeconómica humana (visión, conocimiento, transformaciones); generando una interface donde confluyen las visiones, conocimientos y transformaciones con los recursos naturales, lo cual tiene su origen en los albores de la civilización, pero que han conducido a un desequilibrio que es preciso restaurar (Blanco y Sáenz, 2015).

### **2.3 Clasificación de los agroecosistemas**

Los agroecosistemas se pueden clasificar en ganaderos, agrícolas o forestales es una clasificación que se realiza en función del uso de la tierra o de los objetivos de las intervenciones humanas. Los tipos de cultivo dominante en el agroecosistema: cafetalero, algodonero o arrocerero e incluso cuando se nombra el arreglo de los cultivos: monocultivos versus policultivos o cuando se refiere a la especificidad de la explotación: agroecosistema hortícola, frutícola, forestal. Los agroecosistemas también se pueden clasificar por los climas en donde se desarrollan (Agroecosistemas de climas fríos, medios, cálidos, de zonas templadas o de áreas ecuatoriales), por el grado de intensidad de tecnologías que implementan (Intensivos o no) o por su vinculación con determinados modelos económicos (De economía campesina, capitalistas – agroindustriales) (León Sicard, 2014).

### **2.4. Clasificación de los cultivos utilizados en los diferentes sistemas**

Los cultivos utilizados en los diferentes sistemas pueden clasificarse en función de su uso como lo indica (Martín y Sauerborn, 2013):

- **Cultivos alimenticios que sirven como parte de la dieta humana.**

Estos incluyen cereales, cultivos de raíces y tubérculos, legumbres, cultivos oleaginosos, hortalizas de hoja y frutas.

- **Bebidas y estimulantes, plantas medicinales y especias.**

Los ejemplos son café (especies de *Coffea*), té (*Camellia sinensis*), manzanilla (*Matricaria recuitita*), lavanda (*Lavandula augustifolia*) y pimienta (*Piper nigrum*).

- **Plantas forrajeras para la producción animal.**

Estos incluyen una amplia gama de especies y tipos de producción, dependiendo de su uso. Los alimentos para el ganado se pueden producir a partir de diferentes tipos de pastizales, por ejemplo, prados de heno cortados regularmente o pastos para el pastoreo de ganado. Los cultivos forrajeros de campo incluyen una variedad de cereales idénticos a las plantas de alimentación humana, legumbres y otras especies herbáceas, por ejemplo, la remolacha forrajera (*Beta vulgaris*).

- **Materias primas, que pueden servir en la producción de fibras y combustibles.**

Las plantas de fibra incluyen algodón (Especies de *Gossypium*), cáñamo (*Cannabis sativa*) y abaca (*Musa textiles*). Para el combustible, se utilizan cultivos como la colza (biodiesel) y el alcohol (etanol); Este último se produce a partir de una variedad de cultivos, por ejemplo, la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

Muchas especies de cultivos pueden cultivarse para diferentes propósitos y diferentes usos, por lo que pueden asignarse a más de una de las categorías enumeradas.

Un enfoque para la descripción y el análisis de los agroecosistemas es centrarse en la planta de cultivo. Desde la perspectiva de la planta, el agroecosistema es el entorno del crecimiento, desarrollo y procesos fisiológicos, se ven afectados directa o indirectamente como lo muestra en la figura 1.

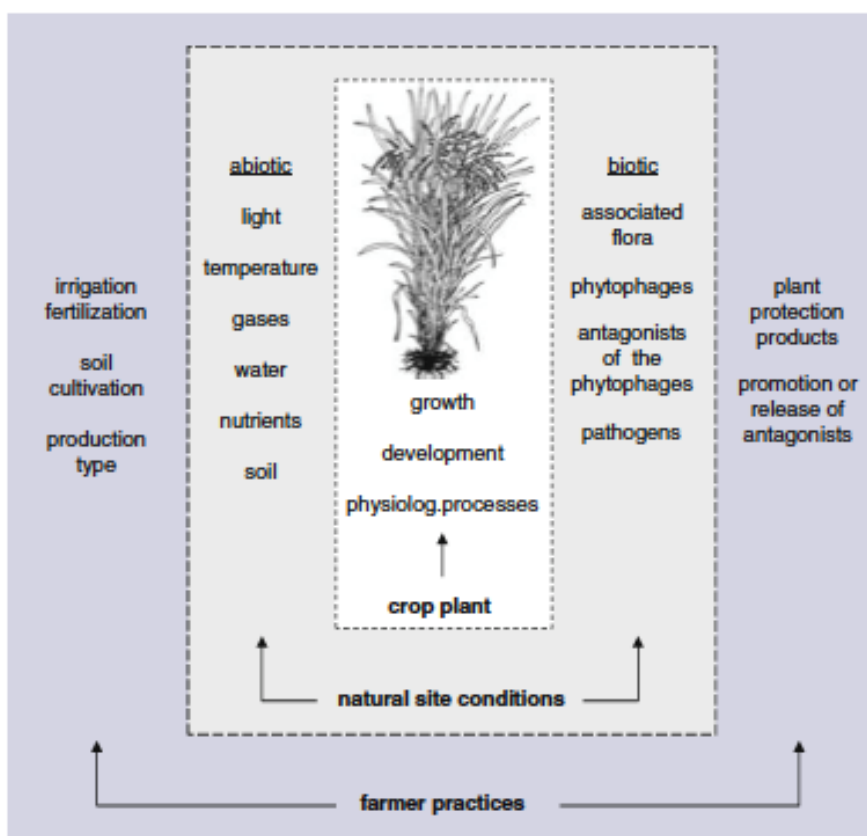
## **2.5. Importancia del compost en los agroecosistemas.**

El compostaje se ha practicado durante milenios, probablemente desde que los humanos comenzaron a distinguir entre suelos fértiles e improductivos y a desarrollar prácticas para mejorarlos para la agricultura. Sin embargo, el primer estudio científico de compostaje se atribuye a Lady Gabrielle y Sir Albert Howard, quienes documentaron los beneficios agronómicos del compostaje como parte de las tradiciones agrícolas duraderas en las áreas de la China e India (Clark, 2020).

El compostaje en la agricultura comercial convencional fue eclipsado posteriormente por la invención y el refinamiento del proceso de Haber-Bosch para fijar el gas de nitrógeno atmosférico como amoníaco (Clark, 2020).

Por lo tanto, a pesar de los muchos beneficios agronómicos del compost, su uso se relegó en gran medida a los patios y jardines durante muchas décadas. Los fertilizantes sintéticos aún dominan el manejo de nutrientes en la agricultura comercial; sin embargo, la popularidad por los productos orgánicos, están generando interés en el uso agrícola del compost a todas las escalas. A la luz de este resurgimiento, existe una necesidad persistente de investigación imparcial de los beneficios y desventajas del uso de compost agrícola (Figura 2-3) (Martínez *et al.*, 2017).

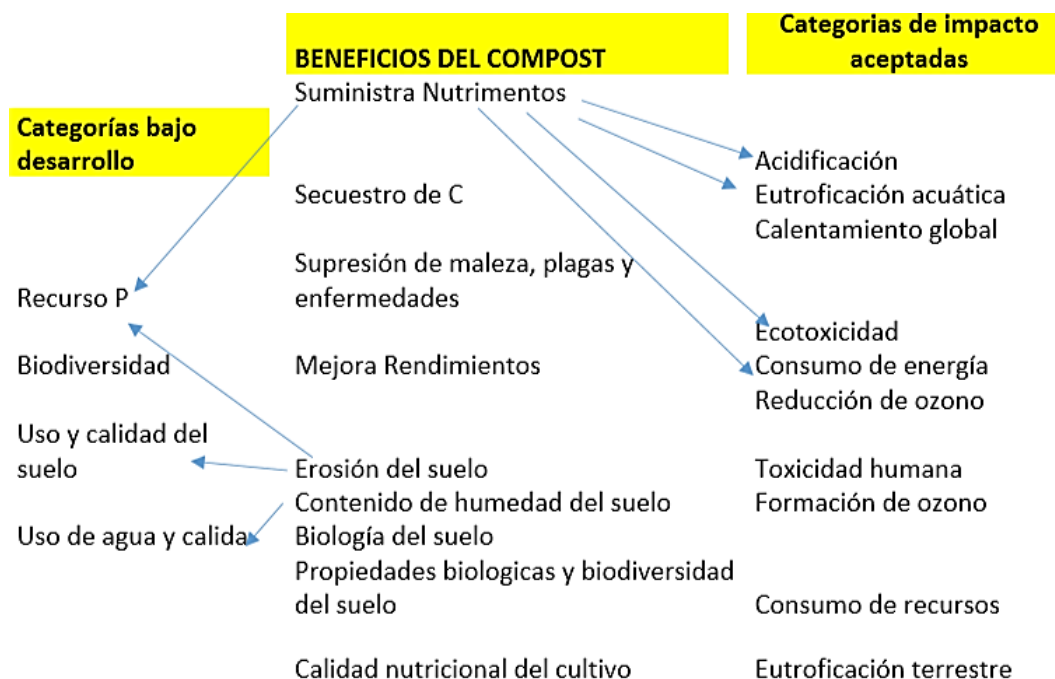
Así mismo, se han desarrollado sistemas tecnológicos de altas capacidades a nivel internacional Figura 4 y con sistemas de parámetros regulatorios del proceso de compostaje para hileras abiertas; temperatura superior a 55 °C por 14 días, mientras que para las pilas estáticas abiertas aireadas; serían >65 °C por 3 días y Cerradas >60 °C por el mismo tiempo y parámetros regulatorios de calidad (Cuadro 1) (Beltrame *et al.*, 2019).



**Figura 1 El agroecosistema, el ambiente de los cultivos**

Fuente:(Martin y Sauerborn, 2013)

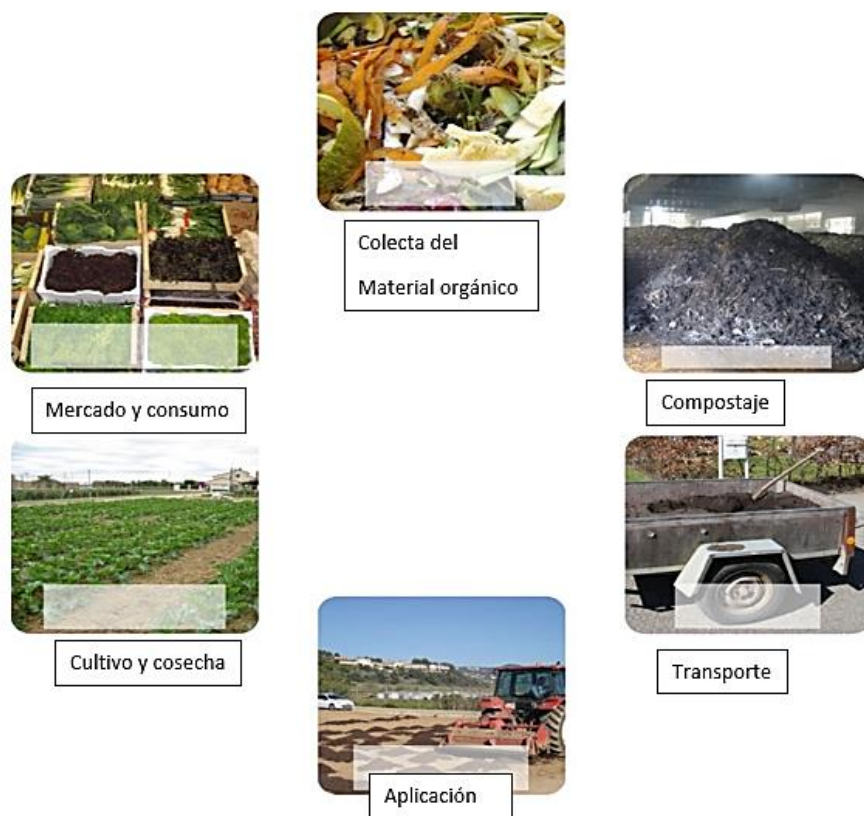
En este contexto, el compostaje es una forma de mejorar los ciclos de nutrientes locales al devolver carbono orgánico saludable y duradero al suelo (Clark, 2020). La composta representa una alternativa muy atractiva en la actividad agrícola (Nieto-Garibay *et al.*, 2002)



**Figura 2 Evaluación de los beneficios potenciales del uso de compost en agroecosistemas**

Fuente: (Martínez *et al.*, 2017, con ligeras modificaciones y ejemplificando algunas interacciones con las flechas).

El compost es una buena fuente de macronutrientes y micronutrientes, aunque no es tan rico en nitrógeno fácilmente biodisponible como los fertilizantes sintéticos (Hepperly *et al.*, 2014). Sin embargo, los nutrientes que contiene están en formas relativamente estables y, por lo tanto, se liberan gradualmente en el suelo a medida que el compost se degrada. Esto evita picos rápidos de exceso de nutrientes que podrían moverse hacia las aguas superficiales o filtrarse hacia abajo desde la zona de las raíces hacia las aguas subterráneas (Clark, 2020).



**Figura 3 Visión general del ciclo de producción del compost para uso en agroecosistemas**

Fuente: Martínez *et al.*, 2017.

Además de los beneficios sistémicos del reciclaje de nutrientes y materia orgánica, el compost beneficia directamente otros aspectos de la salud del suelo, según lo definido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-NRC, 2012), es "la capacidad continua del suelo para funcionar como un ecosistema vital que sustenta plantas, animales y humanos".



**Figura 4 La empresa Tera Ambiental (Brasil), es capaz de manejar y remover material para compostaje en hileras o pilas estáticas aireadas con capacidad de 90,000 t año-1**

Fuente: Beltrame *et al.*, 2019.

**Cuadro 1 Parámetros regulatorios de la calidad del compost.**

<b>Parámetro</b>	<b>Clase A</b>	<b>Clase B</b>	<b>Clase C</b>	<b>Clase D</b>
Humedad (%)	50.0	50.0	70.0	50.0
N total Mínimo	0.5	0.5	0.5	0.5
C orgánico mínimo	15:01			
CEC	Como lo establezca el productor			
pH	6.0	6.0	6.5	6.0
Máxima relación C:N	20			
Relación CEC-C	Como lo establezca el productor			
Otros nutrientes	Como lo establezca el productor			

**CEC=** Capacidad de intercambio catiónico, declarada como obligatoria en el proceso de registro del producto.

Fuente: Beltrame *et al.*, 2019.

Se pueden producir varios productos por compostaje, el más obvio es el compost mismo. El compost es una enmienda beneficiosa del suelo con numerosos beneficios agronómicos y puede haber mercados locales para su venta a granel para uso agrícola y hortícola (Eggertyh *et al.*, 2011). También pueden existir mercados alternativos en aplicaciones como la construcción, para estabilizar las superficies expuestas del suelo en los sitios de construcción y promover el establecimiento de la vegetación (Clark, 2020).

## **2.6. Residuos sólidos.**

Los residuos sólidos se definen como un desecho sólido procesado con valor económico negativo, con lo que hace supone que es muy barato para descartar, más que para utilizar. Estos se pueden clasificar como residuos municipales, desechos peligrosos, industriales, médicos, radiactivos, de minería, agrícolas, universal y basura de construcción y demolición (Pichtel, 2010). Por el enfoque de la monografía, mencionaremos solamente los municipales, industriales y agropecuarios susceptibles al proceso de compostaje y reúso en los agroecosistemas.

### **2.6.1. Residuos sólidos municipales.**

En la década de 1960, los ingenieros municipales de gestión de residuos identificaron el compostaje como un método para estabilizar y desinfectar los biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Clark, 2020).

Entre los residuos sólidos generados en las ciudades, cerca de 40 % son materiales celulósicos o lignocelulósicos que, en su mayoría, no reciben tratamiento alguno, como los pañales desechables usados y el pasto cortado de los jardines. Donde el componente mayoritario de los pañales desechables es la celulosa, un biopolímero cuya lenta degradación hace que permanezca durante años casi sin alteración en los rellenos sanitarios y en otros sitios de disposición final (Alcalá y Bazúa, 2003).



### **2.6.2. Residuos sólidos industriales.**

En el contexto de desarrollo sustentable, el objetivo fundamental de cualquier estrategia en el manejo de los residuos sólidos debe ser la maximización del aprovechamiento de los recursos y la prevención o reducción de los impactos adversos al ambiente, que pudiera derivar de dicho manejo (Torres Jaime, 2011).

Según el D.S. 594/99 del Ministerio de Salud los residuos industriales son aquellos residuos sólidos o líquidos, o combinaciones de éstos, provenientes de los procesos industriales y que por sus características físicas, químicas o microbiológicas no puedan asimilarse a los residuos domésticos. En esta definición también se incluyen los residuos o productos de descarte, sean éstos líquidos o gaseosos. En las industrias se producen Residuos sólidos que son destinados a plantas de tratamiento de acuerdo a la clasificación del residuo industrial. Pero también existen Residuos sólidos asimilables a domésticos (restos de cultivos fúngicos, fibra de papel, grasa animal, restos de plásticos, recortes textiles), cuyo destino son los Rellenos sanitarios domiciliarios. Ambos tipos de residuos, dependiendo de su clasificación, pueden ser destinados a Planta de Compostaje, Reciclaje y/o Recuperación (Sesma, 2019)

### **2.6.3. Residuos agropecuarios.**

De acuerdo al INEGI 2017, México en cifras, se tuvo un volumen de producción forestal maderable de 7, 335,462 m<sup>3</sup> en rollo, solo por mencionar un ejemplo de nuestro país de los residuos potenciales que se desperdician de los mismo y que podrían ser sujeto de procesamiento por métodos de compostaje y vermicompostaje para usarse en la agroecosistemas mexicanos que tanto requieren de materia orgánica.

De acuerdo con la FAO (2014), El módulo de Recursos Naturales de la Evaluación Rápida BEFS, se utiliza para evaluar la disponibilidad de materia prima para la producción de bioenergía derivadas de la producción de cultivos y de los residuos agrícolas y forestales, sin embargo, dichos materiales son sujetos de utilización en procesos de compostajes y reúsos en los agroecosistemas.

Mientras que (SEMARNAT, 2019), indica que en México se generan más de 44 millones de residuos, de éstos, aproximadamente el 90% terminan en los tiraderos a cielo abierto o rellenos sanitarios, mismos que por lo general no cumplen con la normatividad correspondiente y son mal operados. Así mismo, el desperdicio de alimentos y la generación de residuos orgánicos representan aproximadamente el 50% de los residuos que se generan.

Solo por señalar un ejemplo en el caso de residuos pecuarios para el caso de la Región Lagunera, una cuenca lechera importante a nivel nacional, cuenta aproximadamente 500000 cabezas de ganado, solamente lechero, considerando un producción diaria aproximado de 6.5 kg de excretas secas por vaca, generará aproximadamente 2 millones de estiércol por año (Yue *et al.*, 2010), una fuente importante de procesar por la vía del compostaje.

#### 2.6.4. Residuos agrícolas.

Los residuos agrícolas son de los principales componentes lignocelulósicos que se generan en el mundo, por lo cual son ricos en lignocelulosa debido a su origen vegetal, algunos ejemplos de estas biomásas son los residuos de yuca (Peláez *et al.*, 2013), la madera de olivo, tallos de girasol (Ruiz *et al.*, 2006 ) paja de diferentes cultivos y esquejes tardíos de hierba (Yoon *et al.*, 2019).

Algunos de estos desechos de la industria agrícola como el bagazo de la caña de azúcar, los racimos de fruta vacíos de palma aceitera y las pajas de trigo generalmente tienen aplicaciones comerciales limitadas y la generación sustancial de tales desechos ha creado desafíos inevitables para la eliminación (Yoon *et al.*, 2019). Siendo el bagazo de caña de azúcar el más estudiado y explotado en la industria biotecnológica debido contenido de celulosa (38 - 50%), hemicelulosa (17 - 32%) y lignina (15 - 30%) (Chandler *et al.*, 2012).

A continuación se detallan conceptos necesarios para la obtención de los valores de producción correspondientes para residuos agrícolas (FAO, 2014):

**Tipo de residuo agrícola:** Se refiere a la parte del residuo agrícola que puede ser utilizado para la producción de bioenergía.

**Lugar de generación del residuo:** El lugar donde los residuos se generan después de la cosecha.

**Rendimiento del cultivo, (t/ha):** Rendimiento del cultivo obtenido en el área de análisis, expresado en toneladas por hectárea.

**Producción anual, (t):** La cantidad del cultivo analizado producido en un año calendario en el área de análisis, expresado en toneladas.

**Número de cosechas por año:** Número de cosechas del cultivo analizado en un año calendario.

**Área de producción total, (ha):** Superficie utilizada para la producción del cultivo analizado, expresada en hectáreas.

**Relación residuo a cultivo:** La relación existente entre la cantidad de residuos producidos a la cantidad del producto principal obtenido de la cosecha (por ejemplo, la relación entre el grano y la paja en el caso de los cereales).

**Producción total del residuo, (t):** La cantidad del tipo de residuo agrícola analizado producido en un año calendario en el área de análisis, expresado en toneladas.

**Rendimiento del residuo, (t/ha):** La producción del tipo de residuo agrícola analizado obtenido en el área de estudio, basado en la productividad del cultivo, expresado en toneladas por hectárea.

**Residuos que quedan en el campo:** Se refiere a los residuos retirados en el campo después de la cosecha o devueltos al campo para el mantenimiento de la fertilidad y la estabilidad del suelo.

**Área de producción quemada después de la cosecha:** El número de hectáreas quemadas después de la cosecha como método de limpieza y preparación del terreno para el próximo ciclo de producción.

**Residuos quemados en el campo:** La cantidad de residuos quemados en el campo después de la cosecha; este dato se calcula en base al número de hectáreas quemadas después de la cosecha del producto principal.

**Uso actual de los residuos:** Se refiere a la porción del total de la cantidad de residuos que actualmente se utilizan en el país para diferentes fines, y por lo tanto no están disponible para la producción de bioenergía.

#### **2.6.5. Residuos pecuarios.**

Algunos grupos ambientalistas consideran que la industria pecuaria tiene gran responsabilidad en el calentamiento global por la generación de contaminantes vertidos al suelo, agua y atmósfera (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012). Sin embargo, desde hace mucho tiempo, los desechos de ganado han sido una fuente de energía y una fuente de valor agregado para la producción ganadera, en muchos países. Entre los residuos de origen pecuario encontramos los desechos de animales (desechos de estiércol y forraje); por lo cual los desechos de ganado son tipos adecuados de biomasa para la producción de biogás como fuente alternativa (Zareei, 2018).

La importancia del estiércol para la biotransformación a compuestos de interés es debido a que es rico en contenido lignocelulósico refractario (Akyol *et al.*, 2019). La conversión de los desechos orgánicos, como el estiércol del ganado y los desechos rurales en biogás es importante por el efecto significativo del uso de esta tecnología en el ambiente y la salud humana y la generación de fertilizantes ricos en lodos (lodos blandos) que pueden ayudar a incrementar la eficiencia de los agroecosistemas (Zareei, 2018).

**Cuadro 2. Caracterización del estiércol de bovino.**

Etapa de cosecha	Cosecha	pH	TS (%)	VS (%)	VS/TS (%)	Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	sCOD (mg/L)	TKN(m g/L)	C:N	Celulosa ( % TS)	Hemicelulosa (%TS)	Lignina (% TS)
Etapa de cosecha	Trigo	5.15	44.0	36.6	83	1,000	18,250	803	22:1	18.24	18.39	2.78
	Triticale	5.96	48.8	40.0	82	800	13,460	1081	21:1	19.28	14.15	2.43
	Centeno	5.60	41.0	35.2	86	1,200	20,790	915	33:1	18.01	18.34	2.60
	Cebada	4.82	40.6	37.9	93	960	10,500	905	27:1	12.03	17.56	1.15
Madurez completa (cosecha tardía)	Trigo	4.61	90.6	69.6	77	325	7,690	1600	27:1	12.85	12.13	1.68
	Triticale	4.60	90.5	71.8	79	500	11,290	1595	22:1	11.67	14.35	2.09
	Centeno	4.6	90.7	73.1	81	500	13,860	1993	27:1	12.66	19.03	1.64
	Cebada	4.58	90.5	69.8	77	400	6,850	1186	28:1	11.25	27.79	0.93
Cosechando residuos (pajitas)	Trigo	6.59	89.6	69.5	78	1,050	7,210	182	81:1	51.39	20.64	7.61
	Triticale	6.3	89.0	68.9	77	800	6,630	223	74:1	50.39	23.37	7.75
	Centeno	6.71	89.4	68.3	76	1,125	6,210	565	85:1	50.76	23.63	7.65
	Cebada	6.59	88.2	68.6	78	800	5,960	454	87:1	48.86	24.5	7.67
	Estiércol de vaca	7.48	14.3	11.5	80	2,825	11,500	135	25:1	35.9	17.19	14.52
	Lodo de semilla	8.35	7.20	4.50	62	19,000	31,875	1797	11:1			

Fuente: Akyol *et al.*, 2019

Los estiércoles manejados en forma inadecuada pueden causar problemas ambientales, y en México aún no han sido considerados como subproductos susceptibles de aprovechamiento debido a su poco estudio (Olivares-Campos *et al.*, 2012). Por ejemplo, una vaca que pesa 250 kg podría excretar más de diez toneladas de estiércol por año en una granja lechera (Yan *et al.*, 2018). Por lo tanto, las vacas podrían producir grandes cantidades de estiércol, que es una fuente potencial de bioenergía. Tradicionalmente, el estiércol del ganado se usaba directamente en el suelo como fertilizante debido a sus abundantes macronutrientes para el crecimiento de las plantas (Powell y Rotz, 2015). Debido a la fracción lignocelulósica con la que cuenta el estiércol, sin embargo, no ha sido explotado totalmente (Yan *et al.*, 2018).

A continuación se detallan conceptos necesarios para la obtención de los valores de producción correspondientes para residuos pecuarios (FAO, 2014)

**Vacas lecheras/Búfalas:** Se refiere a las vacas lecheras/búfalas criados para la producción lechera.

**Producción comercial:** Producción orientada al mercado.

**Número de cabezas mantenidas por los hogares:** Se refiere a la cantidad de animales mantenidos para el consumo familiar.

**Sistema de alimentación del ganado “establo”:** Se refiere al sistema utilizado para la cría del ganado. Los animales son confinados y alimentados en establos. El estiércol producido bajo este sistema de producción puede ser recolectado fácilmente.

**Sistema de alimentación del ganado “pastoreo y establo”:** Se refiere al sistema de producción en el cual los animales pasan parte del día alimentándose en los pastos y otra parte en el establo. Únicamente el estiércol producido durante las horas de confinamiento en el establo o en la sala de ordeño puede ser recolectado para la producción de biogás.

**Sistema de alimentación de ganado “pastoreo estacional”:** Se refiere al sistema donde el ganado pasa un período de tiempo al año en los pastos y otro confinado en establo, el estiércol para la producción de biogás se recoge sólo durante el período en el que la alimentación se lleva a cabo en los establos, durante el período de pastoreo no se recoge el estiércol.

**Sistema de alimentación de ganado “pastoreo durante todo el año”:** Actividad ganadera de base pastoril en la cual los animales pasan todo el año en los pastizales, por lo que el estiércol no se recoge para la producción de biogás.

**Estiércol (kg/cabeza/día):** Hace referencia a la cantidad de estiércol (heces y orina), purines y gallinaza producida por animal al día.

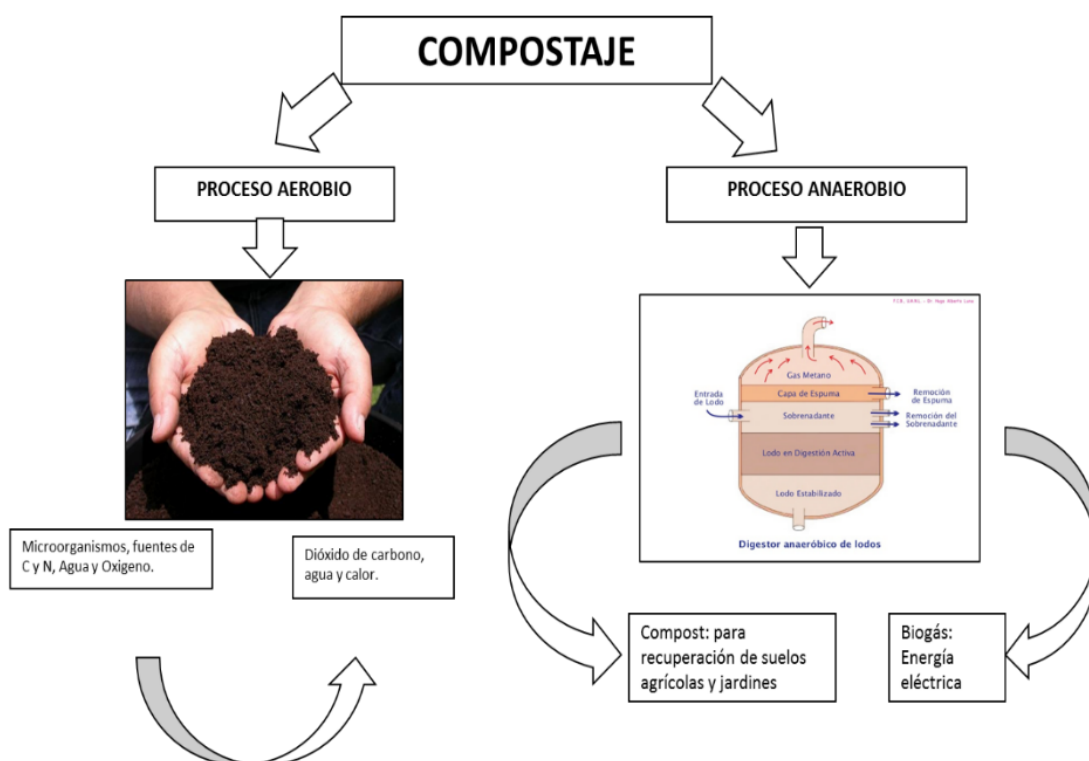
**Sólidos volátiles (%):** Hace referencia a la fracción orgánica de los sólidos totales del estiércol, purines y gallinaza que a una temperatura de 600°C se oxidan y se eliminan en forma de gas (gas carbónico y vapor de agua).

## **2.7. Compostaje de residuos.**

El compostaje es un proceso de descomposición de la materia orgánica por medio de la acción de microorganismos aerobias termófilas que están presentes (de forma natural) en cualquier lugar, y su posterior fermentación por otras especies de bacterias, hongos y actinomicetos (Nghì *et al.*, 2020). El proceso es necesario debido a que ayuda a incrementar significativamente su producto final, debido a la optimizar de nutrimentos y el procesamiento correcto de la misma (Díaz *et al.*, 2007). Comúnmente, es esquivar la putrefacción de los residuos orgánicos que se llega a producir por exceso de agua, el cual obstruye la aireación u oxigenación y crea condiciones biológicas anaeróbicas malolientes. El compost es el producto del proceso señalado (Gómez *et al.*, 2013).

El termino compostaje se puede definir como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica. Como es la transformación por acción de los microorganismos que crecen y se reproducen en las materias primas sujetas a descomposición (Aztern y Pravia, S/f)

Tiene un proceso bioxidativo y de maduración. Está constituido por una materia orgánica estabilizada semejante al humus con poco parecido con el material original, puesto que se habrá degradado dando partículas más finas y oscuras. El compost tiene que ser un producto inocuo y libre de sustancias fitotóxicas, cuya aplicación a los agroecosistemas no dañen las plantas y que permita su almacenamiento sin posteriores tratamientos ni alteraciones (Senin, 2003).



**Figura 5 Procesos para la degradación de la materia orgánica**

Fuente: Esquivel López, 2018.

El ambiente del compostaje ocurre en un ambiente predominantemente aeróbico. Su proceso consume oxígeno liberando calor, agua y  $\text{CO}_2$  (Keener *et al.*, 2014). Para un proceso exitoso los microbios necesitan alimentos nutritivos, humedad adecuada, pH, temperatura adecuadas y oxígeno (Chen *et al.*, 2011).

## 2.8. Beneficios del compost.

El compost es una fuente rica de materia orgánica. Ésta, tiene una función primordial en el mantenimiento de la fertilidad del suelo y por lo tanto, en la producción de los agroecosistemas sostenible. Es una fuente de nutrientes para las plantas, que mejora las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo (Romeo, 2003).

Según autores (Cabañas Vargas *et al.*, 2013), El proceso de compostaje ha demostrado ser un método económico, capaz de eliminar o reducir los



microorganismos patógenos presentes en el material que se trata mediante compostaje

Además de reducir los niveles de contaminantes, el compost facilita el crecimiento de las plantas, proporciona condiciones favorables al suelo y también proporciona nutrientes a una amplia variedad de vegetación (EPA, 1997).

La composta tiene una gran capacidad de mejorar las propiedades química, física y biológica características de los suelos. Con las retenciones de agua en suelos arenosos, promueve la estructura de los suelos arcillosos, aumentando la estabilidad de los agregados. Las enmiendas de compost reducen la biodisponibilidad de metales pesados, una cualidad importante en la remediación de suelos contaminados (Leslie cooperband, 2002).

Otros beneficios de la composta es el mejoramiento en la germinación, el crecimiento y desarrollo de semillas, la disminución en el tiempo de floración y fructificación, el aumento en el tamaño de los frutos, una menor incidencia de enfermedades de los cultivos, una actividad de micorrización favorecida y la disminución casi total de la población parasitaria de nematodos, entre otros (Garcia & Rodrigo, 2005).

## **2.9. Calidad del compost**

Son parámetros que valoren contenido/estabilidad de materia orgánica, fitonutrientes y contaminante, que permitan valorar las ventajas de sus fabricaciones y usos, así como coste social, ambiental y energético que conlleva (Soliva & López, 2004).

En general los requerimientos de calidad del compost están dirigidos a conseguir: aspecto y olor aceptables; higienización correcta; impurezas y contaminantes a nivel de trazas; nivel conocido de componentes agrónomicamente útiles; y características homogéneas y uniformes. Así mismo deberá tener poder, de almacenado sin experimentar alteraciones. El producto final influye también en su calidad, ya que cada aplicación o aprovechamiento tiene experiencias particulares, la

determinación posible de parámetros (físicos, físico-químicos, químicos y biológicos) que nos llevara a definir la calidad del producto final (Coolemar, 2012).

## **2.10. Factores que afectan el proceso de compostaje**

Los factores como Oxígeno, temperatura, tamaño de partícula, pH, contenido de humedad, relación C:N y actividades microbianas afectar el proceso de compostaje individualmente. Ya que todas Los parámetros interactúan, el cambio en uno puede causar que los otros parámetros cambie (Alparslan *et al.*, 2017).

### **2.10.1 Relación C:N.**

La relación C:N de la masa a compostear es un factor importante a controlar para obtener una fermentación correcta con un producto final de características adecuadas. A medida que transcurre el proceso, esta relación se hace cada vez menor. Se considera que el valor de relación carbono nitrógeno al inicio del proceso debe estar entre 25 y 35 (Gonzalez y Olvera 2014)

### **2.10.2 Aireación.**

En el proceso de composteo, el oxígeno se requiere para el metabolismo aeróbico, ligado a la oxidación de moléculas orgánicas presentes en el material por descomponer. Por ello, generalmente se requiere incrementar la aireación por medio de volteos periódicos de las pilas; con estas acciones, además de suministrarse oxígeno, se disipa el calor producido dentro de la pila. Para determinar algunos intervalos en días, los volteos se consideran cuando la temperatura es cercana a los se realiza cuando la temperatura es cercana a los 70°C humedades mayor de 60% (SAGARPA, 2015)

### **2.10.3 Contenido de Humedad**

El grado de humedad aconsejable de los materiales que comienzan el proceso del compost está entre el 30 y el 80%. Hay que tener en cuenta que cada material que forma parte del compost tiene un grado de humedad inicial diferente y que según se vaya descomponiendo también se irá homogeneizando. El nivel de humedad óptimo para un compost en su fase de maduración se suele situar entre el 40 y el 60%. El

exceso de humedad produce compactación de los materiales, falta de aireación y por lo tanto putrefacción y lixiviados (líquidos). Esta situación impide la acción de los microorganismos aerobios. La falta de humedad ralentiza el proceso de descomposición y también puede producir compactación (Abarataldea, 2013).

La temperatura es un factor importante en el proceso de compostaje ya que permite la movilidad de los microorganismos, el transporte de nutrientes y el flujo de oxígeno para mantener las condiciones aerobias (Kulikowska & M Gusiatin, 2014).

Como ya se indicó anteriormente, los contenidos de humedad de las mezclas deberán de ser de 40% y alcanzar el 60 %, para obtener los valores utilizamos las siguientes fórmulas, (LSU, 2005):

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100 \text{ (Ec. 1)}$$

$$\text{Contenido de humedad (peso)} = \frac{\% \text{ humedad}}{100} \text{ ( Ec. 2)}$$

$$\text{Contenido de N} = \text{Peso seco} \times \left( \frac{\%N}{100} \right) \text{ (Ec. 3)}$$

$$\text{Relación carbono nitrógeno} \left( \frac{C}{N} \right) = \frac{\text{Contenido C}}{\text{Contenido N}} \text{ (Ec. 4)}$$

#### **Para mezclas de materiales:**

$$\text{Humedad de la mezcla} = \frac{\text{Agua A (peso)} + \text{Agua B} + \text{Agua C} \dots}{\text{Peso total de la mezcla}} \text{ (Ec 5)}$$

$$\text{Agua a adicionar, } Mx = W(Md - Mi)/(1 - Md) \text{ (Ec 6)}$$

**Donde:**

Mx= Cantidad de agua a adicionar, (t)

Md= Contenido de humedad deseada, % del peso total/100

Mi= Contenido de humedad del material inicial/100

W= Peso inicial del material a procesar, con todo y agua.

**2.10.4 Temperatura**

La temperatura alcanzada durante el compostaje en anillo depende del tamaño de la temperatura alcanzada durante el compostaje depende del tamaño de la pila o sistema, su contenido de humedad, aireación y disponibilidad de alimentos para los microbios, principalmente carbono y nitrógeno. El calor en los sistemas de compostaje es producido por microorganismos cuando consumen alimentos (materiales orgánicos). El calor se acumula en el compost cuando las propiedades aislantes de la masa dan como resultado que la tasa de ganancia de calor sea mayor que la tasa de pérdida de calor. Pequeños volúmenes de materiales orgánicos (<1-2 m<sup>3</sup>) pueden no calentar porque el calor generado por la población microbiana es perdido rápidamente a la atmósfera. En un sistema no cerrado aísla interior de la pila, permitiendo que las temperaturas se acumulen en el centro. La temperatura tiene un efecto auto limitante sobre la actividad microbiana y por lo tanto, la tasa de degradación de los materiales orgánicos generalmente ocurren a temperaturas termofílicas entre 50 y 55 °C (Compost NZ, 2007).

**2.10.5. Potencial de hidrógeno (pH).**

En el compostaje de la materia orgánica se desarrolla en un medio ligeramente ácido, neutro e incluso ligeramente alcalino (pH entre 6-8). Se ralentiza la actividad en medios ácidos, con pH menores de 6, la falta de oxígeno, las putrefacciones y fermentación anaerobias, hacen descender el nivel de pH, la excesiva acidificación del

compost es indicio de una incorrecta fermentación. El compost maduro suele tener un pH de 7.5 (Palmero, 2010).

### **2.11. Utilización de compostaje**

Su utilización del compost es importante desde un contexto ecológico, sostenible, orgánico y biológico ese es su verdadero valor; desde la aplicación del compost, el rendimiento de los cultivos y la relación entre ambos; así mismo como la influencia del compost sobre ciertas enfermedades (Romero, 2013).

La composta puede ser utilizada para sembrar todas sus plantas. Es una fuente excelente de material orgánico para ser añadido a su jardín o plantas en tiestos. La composta ayuda a mejorar la estructura del suelo la cual contribuye a buena aeración y la capacidad de mantener la humedad del suelo. La composta es una fuente de nutrientes para las plantas. También puede ser utilizada como cubierta protectora. Estudios han demostrados que cuando se utiliza composta como cubierta protectora o es mezclado con una pulgada de tierra fértil, ayuda a prevenir algunas enfermedades en las plantas, incluyendo algunas que causan el mojar de árboles de pie (Betts, 1999).

#### **2.11.1. Compost fresco**

Este tipo de composta dura de 2 a 3 meses en el que ha tenido un periodo de madurez corto y se aprecia un material sin descomponer. Se usa principalmente como protección frente ante los cambios de temperatura y de humedad, en especial frente a heladas y mejora las características del suelo y evita la aparición de malas hierbas (Gómez, 2009).

#### **2.11.2. Compost maduro**

El compost maduro se reconoce por su textura terrosa su color oscuro y se puede usar como fertilizante porque aporta elementos nutritivos (nitrógeno, fósforo, calcio, entre otros) aumenta la capacidad de retención de agua (Suárez Bordon, 2012)

El compost maduro consta de componentes que son difíciles de digerir o componentes no degradables (lignina, lignocelulósicos, minerales), humus,

microorganismos, agua y compuestos de nitrógeno mineral. En compost maduro la temperaturas inferiores deberá ser 30–35 ° C (Schuchardt, 2005).

## **2.12. Definición y fases del compostaje**

### **2.12.1. Fase Mesofíla**

Esta fase inicia con el descenso de la temperatura, que se sitúa por debajo de los 40 °C. En esta etapa se desarrollan nuevamente microorganismos mesófilos que utilizan los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como restos de celulosa y lignina (Lavado, 2012).

### **2.12.2 Fase Termófila**

Los grupos termófilos intervinientes, entran a una de fase de muerte. Esta etapa es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes (Sztern & A Pravia, 2013).

### **2.12.3. Fase Enfriamiento**

Una vez que los nutrientes y energía comienzan a escasear, la actividad de los microorganismos termofónicos disminuye, consecuentemente la temperatura en la pila desciende desde los 75°C hasta la temperatura ambiente, provocando la muerte de los anteriores y la reaparición de microorganismos hemofílicos al pasar por los 40-45°C, estos dominarán el proceso hasta que toda la energía sea utilizada (Taboada, 2011).

### **2.12.4. Fase de Maduración**

Es la última fase del compostaje, esta se caracteriza por el descenso de la temperatura a aproximadamente la misma del ambiente y una humedad menor al 30%. Al finalizar esta fase cuya duración es de una 1 semana, el material se puede tamizar y empacar para su distribución y comercialización (Pgrv, 2017).

## **2.13. Condiciones para el proceso de compostaje**

Dado que el compostaje es un proceso predominantemente aerobio, las prácticas de manejo deben crear condiciones óptimas para el establecimiento y

desarrollo de los microorganismos que intervienen en el proceso, para las condiciones que favorezcan el crecimiento de los microorganismos (Monsalve *et al.*, 2006)

Así mismo, el proceso de compostaje deberá de asegurar la eliminación total de organismos patógenos e indicadores de riesgo a la salud del hombre, como se puede apreciar en el Cuadro 3. En el cuadro 5 son parámetros de referencia con respecto a lo que se pueda encontrar en el compost.

**Cuadro 3 Temperatura y tiempo de exposición necesario para la destrucción de los parásitos y patógenos más comunes**

Patógeno	50 – 55 °C	55 – 60 °C	60 – 70 °C
<i>Salmonella typhi</i>		30 min	20 min
		30 min	
<i>Shigella spp.</i>		1 h	
		1 h	
<i>Escherichia coli.</i>		1 h	15 a 20 min
		1 h	15 a 20 min
<i>Brucella abortus</i>		1 h	3 min
		1 h	3 min
Larvas de <i>Trichinellas pilaris</i>		1 h	5 min
<i>Micrococcus pyogenes</i>	10 min		
<i>Streptococcus pyogenes</i>	10 min		
<i>Mycobacterium tuberculosis var. Hominis</i>			15 a 20 min a
		25 min	
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>		45 min	
Huevos de <i>áscaris lumbricoides</i>		1 h	
		50 min	
<i>Vibrio cholerae</i>			20 min
<i>Brucella suis</i>		1 h	3 min
<i>Necator americanus</i>	50 min		

Fuente: Esquivel López, 2018, con modificaciones personales.

**Cuadro 4 Condiciones ideales para el compostaje.**

Condición	Rango aceptable	Condición optima
Relación C:N	20:1 - 40:1	25:1 – 30:1
Humedad	40 – 65%	50 – 60%
Oxígeno	+ 5%	~8%
pH	5.5 – 9.0	6.5 – 8.0
Temperatura °C	55 – 75	65 – 70 °C
Tamaño de partícula	0.5 – 1.0	Variable

Fuente: Rynke, 1992.

Elemento o compuesto	Cantidad
N	0.43 a 0.85% hasta 2.10% 0.656%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5 a 0.99% hasta 2.47%
K <sub>2</sub> O	0.24 a 0.43% hasta 1.96%
C	45.00 a 55.00% 6.84%
Ca	0.58% en caso de agregar material calcáreo puede llegar hasta 6.6%
Mg	0.16 a 0.21% puede llegar hasta 0.80% 112.5 Kg/ha
SO <sub>4</sub>	0.23 a 0.35%
B	10 a 35 ppm
Fe	13 000 ppm 5.0 Kg/ha
Mn	478 a 2020 ppm
Zn	96 a 160 ppm 0.13%
pH	7.8
C/N	16.0
Materia orgánica	11.79%
Cu	1.65 ppm
K	177.0 Kg/ha
Proteína	10.4%
Bacterias	29 x 10 <sup>3</sup> UFC
Hongos	9 x 10 <sup>3</sup> UFC
Actinomicetos	44 x 10 <sup>3</sup> UFC

**Cuadro 5 Composición general del compost.**

Fuente: Gómez Tovar, 1995; Citado por Esquivel López, 2018



Así mismo, se presentan en el Cuadro 3, las condiciones apropiadas para un buen compostaje (Rynk, 1992), así como el contenido general, Cuadro 4 (Gomez Tovar, 1995); Citado por Esquivel López, 2018).

En el compostaje, los productos deberán de estar bien mezclados de manera que se generen condiciones apropiadas para la descomposición del resultado un compost de calidad. La rapidez del proceso y su calidad dependerán del tipo, calidad y propiedades fisicoquímicas de los materiales crudos a utilizar, las condiciones ambientales durante el proceso. En el Cuadro 6, se presentan las propiedades fisicoquímicas de algunos sustratos a compostaje (Nghy *et al.*, 2020).

Cuadro 6. Propiedades fisicoquímicas de algunos materiales crudos para compostaje

**Cuadro 6 Propiedades fisicoquímicas de algunos materiales crudos para compostaje**

Materia Prima	PROPIEDADES					
	pH	TOC (%)	% C	% N	C:N	% MC
Paja de arroz	7.6	39.2	40.2	0.7	61.3	11.4
Residuos paja después de producción de hongos		47.0	1.3	35.3		
Tronco de plátano					39.6	90.0
Aserrín	6.5	15.3			8.4	79.0
Desechos verdes	6.5	15.3			8.4	79.0
Estiércol de cabra	7.1	35.6			13.0	58.0
Estiercol de vaca			12.9	0.9	14.5	
Estierco de cerdo			15.3	0.9	16.5	53.6

**TOC=** Carbono Orgánico Total; **C:N=** Relación carbono nitrógeno, **MC=** Contenido de humedad, **N=** Nitrógeno, **C=** Carbono

Fuente: Nghy *et al.*, 2020.

#### 2.14. Tipos de compostaje.

En términos generales, se encuentran dos procesos: (a) descomposición aeróbica y (b) fermentación anaerobia. En estos procesos, la comunidad microbiana se alimenta de materiales orgánicos como materia vegetal, estiércol animal, noche

tierra y otros desechos orgánicos y convertir los desechos a una forma más estable (Paul *et al.*, 2019).

#### **2.14.1 Compostaje Aerobio**

El compostaje aerobio es un proceso exotérmico de degradación y estabilización biológica de la materia orgánica. Operando bajo condiciones controladas, se alcanzan temperaturas termófilas que garantizan la higienización del residuo. Como consecuencia, el producto final es un humus estable denominado compost, que puede emplearse como mejorador de suelos o enmienda orgánica (Zurcan, 2005).

La respiración aeróbica es preferible a la respiración anaeróbica y la fermentación para el compostaje es más eficiente, genera más energía, temperaturas altas y no produce la misma cantidad de olores que la anaeróbica y usa una mayor variedad de compuestos orgánicos como fuente de energía que resulta de una degradación y estabilización más completa del material compost (Graves, 2000).

La descomposición aeróbica se encuentran presentes en el suelo y se desarrolla en un ambiente húmedo y rico en nutrientes. Están compuesto por consumidores como bacterias y los hongos comienzan la descomposición del proceso, metabolismo de las bacterias crea el calor en el compostaje y consumidores de segundo y tercer nivel, como escarabajos, ciempiés, lombrices de tierra y milpiés, así mismo completar el ciclo de compostaje, dejando un marrón oscuro humus que mejora el suelo (Chrostowski, 2009).

Durante el compostaje, los microorganismos consumen oxígeno ( $O_2$ ) mientras se alimenta de materia orgánica. El compostaje activo genera un calor considerable y grandes cantidades, el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y el vapor de agua se liberan al aire. Los fundamentos del compostaje permiten a los operadores manipular el proceso, para maximizar la velocidad de descomposición del material orgánico y cumplir con otras especificaciones ambientales o de calidad (ESCAP, 2012).

### **2.14.2 Compostaje Anaerobia**

Es la fase de descomposición ocurre donde el oxígeno (O<sub>2</sub>) está ausente o en un suministro limitado. Los microorganismos anaerobios dominan y desarrollan compuestos intermedios que incluyen metano, ácidos orgánicos, sulfuro de hidrógeno y otras sustancias (Naikwade *et al.*, 2011).

El compostaje anaeróbico descompone los desechos sin oxígeno y generalmente ocurre en los vertederos y los materiales orgánicos se apilan y se descomponen naturalmente. Este proceso no necesita ningún tipo de mantenimiento y no será necesario activarlo este proceso produce una gran cantidad de metano y puede ser excepcionalmente picante (Powerknot, 2012).

La digestión anaeróbica consiste en un proceso biológico complejo y degradativo en el cual los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por bacterias sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (Vamero, 2011)

### **2.15. Característica para la aplicación de compostaje**

El tratamiento de residuos urbanos y las estaciones de depuración urbana, son actividades de residuos peligrosos, lo cual se exige un análisis e identificación de las características del compost, lo que definirá el tipo de residuo. Si el compost no sea identificado como residuo peligroso, podrá aprovecharse para el sistema agrícola (Flotats y Campos, 2004).

### **2.16. Tipos de composta**

#### **2.16.1 Sistema abierto**

Son sistemas más utilizados por su sencillez y viabilidad técnica y económica. Consisten en colocar los sustratos a composteo en montones o pilas (pueden estar al aire libre o protegidos de factores meteorológicos bajo techado) y se distinguen dos sistemas fundamentales (Tortosa, 2015)

### **2.16.2 Sistema cerrado**

Se basa en la utilización de un reactor o digestor. Son sistemas que tienen unos costos de instalación superiores al de las pilas, pero tienen la ventaja de poder controlar las condiciones necesarias permitiendo la aceleración del proceso, además se necesita de menos espacio para trabajar con el mismo volumen los residuos a compostear. El compost producido en el interior del reactor no alcanza un correcto estado de estabilidad, por lo que se le somete a un proceso de compostaje en pilas en la etapa de maduración (etapa final) de este proceso (Mendoza, 2012).

### **2.17. Aplicación de compost**

La dosis de compost que podemos aplicar en nuestros cultivos, la respuesta dependerá de su contenido en nitrógeno y del tipo de agricultura que tengamos. El nitrógeno es el factor limitante y esto es debido a la problemática actual relacionada con la contaminación por nitratos de aguas por exceso de fertilización.

### **2.18. Evaluación del grado de madurez de una composta**

El concepto de madurez sinónimo de madurez, actualmente existen un corriente extendida entre la comunidad científica, que define el grado de madurez como sinónimo de ausencia de fitotoxicidad en el producto final, la madurez del compost implica una relación directa con el crecimiento y desarrollo vegetal (Torti *et al.*, 2019).

Una composta madura debe tener un requerimiento de una incubación de 24 horas, en condiciones anaerobias con una temperatura de 55 °C el pH del producto compost ser mayor a 6.5 (Lombricultura, 1999).

### **2.19. Métodos para evaluar la madurez del compost**

Los métodos que menciona (Ruiz , 2011) para la evaluación de madurez de compostaje, se indican:(i) los métodos empíricos; (ii) método físico; (iii) método físicos-químico y (iv) métodos biológicos.

### **2.19.1 Métodos empíricos**

Se les puede llamar pifometricos, puesto que se utiliza la nariz para que el mediante el olor se define la madurez de un producto, un color oscuro de olor agradable, suave al tacto. Es una aproximación empírica, la temperatura puede ser un indicador de que el proceso esté terminado, es posible medir la temperatura mediante un humedecimiento al producto, la usencia de aumento de esta después de esta operación constituyen un buen criterio de estabilización.

### **2.19.2 Método físico**

La prueba de la respiración o respirómetro basado en que el compost al terminar la fermentación tiene una actividad muy reducida, su consumo en oxigeno es muy difícil, así como su producción de gas carbónico. Los respirómetros de precisión en el mercado de materiales de laboratorio. De acuerdo con este método se puede asegurar que un compost urbano es maduro cuando el consumo de oxigeno es inferior a 40 mg por kg de producto seco por hora.

### **2.19.3 Método físicos- químico**

Durante el transcurso del compostaje los parámetros físicos-químicos varían de manera significativa. La utilización de un solo parámetro no permite evaluar con suficiente precisión del grado de madurez del compost. Los criterios específicos son:

Medida del pH: Un compost maduro tiene un pH básico.

#### **Dosis de sulfuros.**

Estos parámetros revelan más bien las condiciones de aireación diferente del compostaje (anaerobios) que la madurez del producto.

#### **Dosis C:N.**

La relación C:N es ampliamente utilizada para estimular la madurez de compost, así es, hay una tendencia a disminuir durante el proceso de fermentación hasta alcanzar valor característico de una manera orgánica estabilizado. Se considera que con un C/N inferior a 20 el producto está maduro.

Las formas del nitrógeno mineral (amoniacal  $\text{NH}_4^+$  y nítrica  $\text{NO}_3^-$ ) mediante un método químico de laboratorio se pueden determinar la presencia del amoniaco o del nitrato lo que significaría que no es un producto maduro. Con un test colorimétrico indicador de nitrato (color rojo o rosa) y de amoniaco (coloración naranja a café).

#### **2.19.4 Métodos biológicos**

Finalmente solo los seres vivos pueden aportar una respuesta sobre la tasa de maduración de un compost. Como indicadores biológicos es posible usar microorganismo, plantas superiores y organismos del suelo. La fitotoxicidad es uno de los fenómenos que permiten distinguir fácilmente un compost maduro de un compost inmaduro. Las pruebas más conocidas son las germinaciones de frijol, chícharo entre otros. La maduración se determina por el porcentaje de germinación y la medida del desarrollo radical.

#### **2.20 Indicadores de calidad**

Una vez cumplimentados los requerimientos en cuanto a límites de contaminantes, estabilidad y madurez, se evalúa la “calidad agronómica”, que depende del uso final del producto y generalmente contempla su valor como enmienda y como fertilizante (Mazzarino *et al.*, 2012)

#### **2.21. Factores que afectan el compostaje.**

La composta tiene un proceso a través de un desarrollo de auto calentamiento natural, que implica la degradación biológica de la materia orgánica en condiciones aerobias. Sin embargo, estos procedimientos producen la liberación de bioaerosoles los cuales transportan microorganismos y sustancias nocivas al medio ambiente, lo que representa un potencial riesgo para la salud mundial. El uso de la composta como biofertilizante tiene un alto riesgo biológico, químico y ecológico inherente, ya se han identificado concentraciones muy importantes de metales pesados, así como una gran cantidad de toxinas derivadas del metabolismo microbiano, además de una significativa presencia de agentes patógenos para el ser humano y para las plantas en general (Lightbourn, 2016).

### **2.22 Los efectos fitotóxicos.**

Los efectos fitotóxicos de un material orgánico inmaduro se debe a diversos factores, entre los cuales destacan a los contenidos de amonio, de ácidos volátiles orgánicos, de metales pesados y de sales. Estas sustancias, en elevadas concentraciones, pueden generar efectos perjudiciales en el desarrollo de las plantas, inhibiendo la germinación de semillas o el crecimiento en las raíces por lo que es alta riesgoso su utilización en cultivos (Varnero *et al.*, 2007)

### **2.23 Ley General para la Prevención y gestión Integral de los Residuos**

La presente Ley es reglamentaria a la disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos se refieren a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional. Sus disposiciones en el orden público e interés social y por objeto garantiza el derecho a toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con residuos y llevar a cabo su remediación, así como establecer las bases para: I. Aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, los cuales se debe considerar un diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos (AEF, 2017)

### **2.24 Norma Oficial Mexicana: NOM-083-Semarnat 2003**

La presente Norma Oficial Mexicana Especifica la protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operaciones, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial y aplica a sitios de disposición de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Se recomienda que los usuarios verifiquen el cumplimiento de esta norma (AEF, 2017).

### 3. CONCLUSIÓN

El agroecosistema forma parte esencial en la elaboración de una composta, ya que el agroecosistema tiene elementos y factores que influyen, así mismos interactúan para un producto final como en este caso es la composta.

La producción y empleo de compost se presenta en la actualidad como interesantes soluciones a problemas que se encuentra en la actualidad, a través de iniciativas como el compostaje, se puede ayudar a cerrar el ciclo de nutrientes, que la materia orgánica que deja el campo para ir a la ciudad, vuelva a la tierra en forma de compost

Como se explica en el trabajo la composta es una alternativa viable que se puede implementar y así mismo reducir los grados de contaminación la necesidad de incorporar y conservar la materia orgánica presente en nuestros suelos es de suma importancia para mantener el equilibrio ecológico de los ecosistemas terrestres, puesto que existe una relación entre el suelo fértil y su contenido en materia orgánica. Las ventajas que incluye la compostaje al utilizar los residuos no peligrosos se pueden compostear y es una excelente manera de combatir la contaminación debido a que el proceso que lleva la elaboración de una composta en su inicio hasta su final es completamente natural y se puede implementar el proceso, el compostaje tiene utilidad en la agricultura como nutriente para el suelo por que mejora la estructura y ayuda a la absorción de agua, no solo permite la reducción de los residuos sino, que contribuye con el medio ambiente el cual reduce el volumen de los desechos que se genera.



#### **4. RECOMENDACIONES**

Se recomienda utilizar los elementos que tengamos en nuestro sistema y así reducir los desechos de dicho y así poder utilizarlos en función al uso para la elaboración de una composta, relacionando todo en conjunto y sin perjudicar al ambiente que nos rodea.

Se recomienda la elaboración de una composta, ya que la sociedad genera en cantidad residuos que podemos compostear y esos pueden ser transformada en un producto o mejorador de suelo y podemos devolver los nutrientes al suelo atreves de este proceso de transformación, es una alternativa viable para dejar de utilizar productos de síntesis química, es fácil su elaboración y para tener una composta en excelente calidad se debe de tener un excelente proceso es ahí donde intercede el agroecosistema con los factores bióticos y abióticos, el rendimiento de la composta es mayor en producción, ya que se encuentran diferentes estudios donde lo demuestra, la composta se puede elaborar en cualquier sistema, dependiendo la cantidad y rendimiento que necesitemos.

## 5. LITERATURA CITADA

- Abarrataldea. (03 de marzo de 2013). Manual practico de compostaje. Recuperado el 5 de Noviembre de 2019, de abarraOtaldea: <https://www.abarrataldea.org/manualpdf.pdf>
- AEF. (2017). Agenta Ecologica Federal.
- Akyol, C., Ince, O., Bozan, M., Gozde Ozbayram , E., & Ince, B. (2019). Biological pretreatment with *Trametes versicolor* to enhance methane production from lignocellulosic biomass: A metagenomic approach. *El sever*.
- Alcalá, D., & Durán de Bazúa, I. (2003). Biodegradación de residuos urbanos lignocelulósicos por *Pleurotus*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37-45.
- Alparslan Argun, Y., Karacali, A., Calisir, U., & Kilinc, N. (2017). Composting as a Waste Management Method. *J. Int. Environmental Application & Science*, 244-255.
- Altieri, M. (2015). Breve reseña sobre los ptigenes y evolucion de la agreocologia en America Latina. *Agroeocologia*.
- Astier, C., & Argueta, Q. (2015). Historia de la groeocologia en México. Editum (Edicion de la Universidad de Murcia), 9-17.
- Aztern Mga, D., & Pravia, M. A. (S/f). Biblioteca Virtual en salud-OPS/OS Uruguay:Manual par la elaboracion de compost bases conceptuales y procedimientos . Obtenido de <http://ops-uruguay.bvsalud.org/pdf/compost.pdf>
- Beltrame, M. J., Goldschmidt, B. K., & Carvalho, O. (2019). Composing in Brazil. *In BioCycle*.
- Betts, L. (1999). La composta convierte los desperdicios del hogar en fertilizantes y materia orgánica valiosa para los suelos. *Usda*, 1-4.
- Blanco Contrera , E., & Saenz Lopez, M. (2015). Ingeniero en Agroeocologia; Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, Coahuila.

- Cabañas Vargas , D. D., De los Rios Ibarra, E., Mena Salas, J. P., Escalante Réndiz , D. Y., & Rojas Herrera, R. (2013). Composting Used as a Low Cost Method for Pathogen Elimination in Sewage Sludge in Mérida, Mexico. *Sustainability*, 3150-3158.
- Casas, A., Caballero , J., Mapes, C., & Zárates, S. (1997). Manejo de la vegetacion, domesticacion de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la sociedad botanica de México*, 31-47.
- Chandler, C., Villalobos, N., Gonzales, E., Arenas, E., Mármol, Z., Ríos , J., & Aiello, C. (2012). Hidrólisis ácida diluida en dos etapas de bagazo de caña de azúcar para la producción de azúcares fermentable. *Multiciencias*, 245-253.
- Chen, L., Haro Marti, M., Moore, A., & Falen, C. (2011). The composting process. *Dairy composting*, 1-5.
- Chrostowski, M. (2009). *The answer is backyard composting and yard waste reduction*. Santa Bárbara, California: Released.
- Clark, G. (2020). Technologies for compost production from plant byproducts, In: Simpson, B.K., Aryee, N.A., Toldrá, F. (Eds.) *Byproducts from agriculture and fisheries: Adding value for food, feed, pharma, and fuels*. John Wiley & Sons, New Jersey, 545-562.
- Compost NZ. (2007). *Introduction to Composting Science and Management for Industry Training – An Overview of the Scientific Principles of the Composting Process* . Massey University.
- Coolemar, G. (2012). *Manejo integral de residuos sólidos urbano*.
- Cotter, J. (2003). *Troubled Harvest. Agrony and Revolution in México*. Westport:PRAEGER, 1880-2002.
- Díaz, L. F., De Bertoldi, M., Bidlingnaier, W., & Stentiford, E. (2007). *Compost science and technology*. Waste management series, 8, Elsevier, Boston.

- ESCAP. (2012). Operational manual on composting for integrated resource recovery center (IRRC). Escap.
- Eggryh, L. L., Diaz, L. F., Chang, M., & Iseppi, L. (2011). Marketing of Composts. In: Compost Science and Technology,. Elsevier Science, 325–357.
- Esquivel López, K. (Septiembre de 2018). Evaluación en el proceso de compostaje de mezclas de estiércol bovino de engorda y rastrojo de maíz para la generación de un abono orgánico. Gomez Palacio, Dgo.
- FAO.(Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2014). Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación rápida (BEDS RA). Módulo de los recursos naturales. Componentes residuos agropecuarios. Residuos agrícolas y Residuos ganaderos. Manual de usuario (Roma, FAO), 35.
- Flotats, X., & Campos, E. (2004). Proceso biológico: la digestión anaerobia y el compostaje.
- García, I., & Rodrigo, L. (2005). Análisis e identificación de bioestimulantes indólicos en. Facultad de ciencia y tecnología, 7-13.
- Gliessman, S. (2002). Agroecología procesos ecológicos en agricultura sostenible. Costa Rica: CATIE.
- Gómez Rosales, S., De Lourdes Angeles, M., Núñez Hernández, G., & Figueroa Viramontes, U. (2013). Metodologías para la elaboración de compostas y lombricompostas de excretas de ganado de leche. México, D.F: Inifap.
- Gómez Tovar. (1995). Situación y problemática de la agricultura orgánica en México. Memoria del primer seminario sobre la agricultura ecológica en el Estado de México . 16. Estado de México.
- Gómez, J. (2009). Manual de compostaje. Madrid: Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino secretaria general técnica.

- González Moreno, B., & Olvera Pérez, G. (Febrero de 2014). *Caracterización de la composta producida en la planta de bordo poniente*. Obtenido de <http://energia.azc.uam.mx/>:  
[http://energia.azc.uam.mx/images/PDF/ProyecINVES/Tec\\_Sust/CARACTERIZACION-DE-LA-COMPOSTA-PRODUCIDA-EN-LA.pdf](http://energia.azc.uam.mx/images/PDF/ProyecINVES/Tec_Sust/CARACTERIZACION-DE-LA-COMPOSTA-PRODUCIDA-EN-LA.pdf)
- Graves, R. E. (2000). Composting. En R. E. Graves, *Environmental Engineering National Engineering Handbook* (págs. 2-11). Texas: USDA United States Department of Agriculture.
- Hecht, S. (1999). La evolución del pensamiento agroecológico. En M. Altieri, *Agroecología, base científica para una agricultura sustentable* (pág. 15). Montevideo Uruguay: Nordan-Comunidad.
- Hepperly, P., Lotter, D., Ziegler Ush, C., Seidel, R., & Reider, C. (2014). Compost, Manure and Synthetic Fertilizer Influences Crop Yields, Soil Properties, Nitrate Leaching and Crop Nutrient Content. *Compost Science & Utilization*, 117-126.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2017. <https://www.inegi.org.mx/>
- Kulikowska , D., & M Gusiatin, Z. (2014). Sewage sludge composting in a two-stage system: carbon and nitrogen transformations and potential ecological risk assessment. *el siver*, 312-320.
- Lavado, R. S. (2012). Origen del compost, proceso de compostaje y potencialidad de uso. En M. J. Mazzarino, & P. Satti, *Compostaje en la Argentina: experiencia de producción, calidad y uso* (pág. 348). Buenos Aires: Orientacion grafica .
- León, T. (2014). *Perspectiva ambiental de la agroecología, la ciencia de los agroecosistemas*. Bogotá: Kimpres Ltda.
- Leslie cooperband. (2002). *The art and science of composting a resource for farmers and compost producers*. Center for Integrated Agricultural Systems.
- Lightbourn, L. A. (30 de Agosto de 2016). Hortaliza; Los peligros del uso de las compostas orgánicas. Obtenido de <https://www.hortalizas.com/>:  
<https://www.hortalizas.com/nutricion-vegetal/los-peligros-del-uso-de-las-compostas-organicas/>

- Lombricultura. (Marzo de 1999). Gobierno regional de la metropolitana: Norma de calidad de compost. Recuperado el 17 de Noviembre de 2019, de Lombricultura: <http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/biblioteca/normas/Norma%20calidad%20COMPOST.pdf>
- LSU. (Febrero de 8 de 2005). Basic principles of composting. What is composting. Louisiana State University Agricultural Center. Obtenido de <https://seafood.oregonstate.edu/sites/agscid7/files/snic/basic-principles-of-composting->
- Martin, K., & Sauerborn, J. (2013). Agroecology. New York London: Springer Science+Business.
- Martinez , B., Lazcano , J., Christensen , C., Muñoz, T., Rieradevall, P., Moller, J., . . . A, B. (2017). Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. *Agronomy for Sustainable Development* 33, Martínez-Blanco, J., Lazcano, C., Christensen, T., Muñoz, P., Rieradevall, J., Moller, J., Antón, A. y Boldrin, A.
- Martinez Castillos, R. (2004). Fundamentos culturales, sociales y economicos de la agroecologia. *Ciencias sociales*, 93-102.
- Mazzarino, M. J., Satti, P., & Roselli, L. (2012). Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. En M. J. Mazzarino, & P. Satti, *Compostaje en la Argentina : experiencias de producción, calidad y uso* (pág. 348). Buenos Aires : Orientacion grafica.
- Mendoza, M. (2012). Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la universidad de piura.
- Minasny, B., Malone, B. P., Mc Bratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., . . . Das, B. S. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 59-86.

- Monsalve, J., A, J., & Guerrero, E. (2006). El compostaje como una estrategia de producción más limpia en los centros de beneficio animal del departamento de risaralda. *Scientia Et Technica*, 469-474.
- EPA ( United states environmental protection agency). (1997). Innovative uses of compost bioremediation and pollution prevention. Epa:Agencia de protección ambiental , 1-5.
- Naikwade, P., Mogle, U., & Jadhav, B. (2011). Comparative study of aerobic and anaerobic composts prepared from autumn leaves on Zea mays L. *Science Research Reporter* , 77-82.
- Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J.L., Larrinaga Mayoral, J.A. 2002. La composta: importancia, elaboración y uso agrícola. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México. 86 p.
- Nghi , N. T., Romasanta , R. R., Hieu, N. V., Vinh, L. Q., Du, N. X., Ngan, V. C., . . . Van Hung, N. (2020). Rice straw-base composting. En M. Gummert, N. Van Hung, P. Chivenge, & B. Douthwaite, *Sustainable rice straw management*. (págs. 33-41). New York: Springer Open.
- Norgaard, R. B., & Sikor, T. O. (1999). Metodología y practica de la agroecología. En M. A. Altieri, *Agroecología base científica para un agricultura sustentable* (págs. 31-46). Uruguay: Nordan–Comunidad.
- Olivares-Campos, M. A., Hernandez-Rodriguez , A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J. L., & Ojeda-Barrios, D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores . *Universidad y ciencia*, 27-37.
- Palmero, R. (2010). Elaboracion de compost con restos vegetales por el sistema traidicional en pilas o montones. *AgroCabilfo*, 20.
- Paul, N., Giri, U., & Roy, G. (2019). Compostaje, fertilizantes orgánicos: historia, producción y aplicaciones. *intechopen*.

- Peláez Simultaneous, H., Reales Alfaro, J., & Zapata Montoya, J. (2013). Simultaneous saccharification and fermentation of cassava stems. *SciELO*, 95-104.
- Pgrv. (2017). Manual de proceso en la planta de compostaje. Eprodesa ONG. Obtenido de <http://www.icesi.edu.co/soma/images/docs/manual-procesos-planta-compostaje.pdf>
- Pinos- Rodríguez, J. M., Garcia-Lopez, J. C., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*.
- Pitchel, J. (2010). Waste management practices. Municipal, hazardous and industrial. *Taylor and Francis*, boca Raton, 659.
- Powell, J. M., & Rotz, C. A. (2015). Measures of Nitrogen Use Efficiency and Nitrogen Loss from Dairy Production Systems. *Journal of Environmental Quality*, 336-344.
- Powerknot. (23 de July de 2012). Aerobic composting vs. anaerobic composting. Recuperado el 03 de 12 de 2019, de Powerknot: <https://www.powerknot.com/2012/07/23/aerobic-composting-vs-anaerobic-composting/>
- Restrepo M, J., Angel S, D. I., & Prager M, M. (2000). *Agroecología*. Santo Domingo, República Dominicana: Cedef.
- Romeo. (2003). *On-farm composting methods*. Rome, Italy: Fao.
- Romero, M. (2013). *Gestión integral de residuos sólidos urbanos de la ceda*. Usaid.
- Ruiz , J. (2011). *Ingeniería de compostaje*. Edo. de México: Universidad Autónoma chapingo.



- Ruiz, E., Cara, C., Ballesteros, M., Manzanares, P., Ballesteros, I., & Castro, E. (2006). Ethanol production from pretreated olive tree wood and sunflower stalks by an SSF process. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 130(1–3), 631–643.
- Rynk, R. (1992). *On-Farm composting handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering service. Cooperative extension. New York, USA.
- SAGARPA(SECRETARÍA DE AGRICULTURA GANADERÍA, DESARROLLO RURAL PESCA Y ALIMENTACIÓN) . (9 de Octubre de 2015). Elaboración de composta, SAGARPA. Recuperado el 6 de Diciembre de 2019, de Mexico , documents: <https://vdocuments.mx/elaboracion-de-composta-sagarpapdf.html>
- Sans, F. X. (2007). La diversidad de los agroecosistemas de ecología terrestre. *Asociacion española*, 44-49.
- Schuchardt, F. (2005). Composting of organic waste. *Environmental Biotechnology* , 333-354.
- SEMARNAT(SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). (7 de Diciembre de 2019). [semarnat.gob.mx: Residuos](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap7.html). Obtenido de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap7.html>
- Senin, C. F. (Agosto de 2003). El compostaje de residuos: una mirada a los biosolidos. *Nexus*, 15-17. Obtenido de [www.nexus.org.ar/trabajos%20publicados/Compostaje%20de%20residuos%20-%202003.pdf](http://www.nexus.org.ar/trabajos%20publicados/Compostaje%20de%20residuos%20-%202003.pdf)
- Sesma. (2019). Este es un informe preparado por el servicio de salud metropolitano del ambiente (Sesma), cuyo fin es responder las consultas y dudas más frecuentes respecto de los residuos industriales solido .
- Soliva, M., & López, M. (2004). Calidad del compost:Inluencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. *Ceneam*, 1-20.
- Soriano, A., & Aguilar, M. R. (5 de Octubre de 2019). Estructura y funcionamiento de los agroecosistema. Obtenido de

[https://ced.agro.uba.ar/moodle/pluginfile.php/109321/mod\\_resource/content/1/SorianoAguiar-agroecosistemas.pdf](https://ced.agro.uba.ar/moodle/pluginfile.php/109321/mod_resource/content/1/SorianoAguiar-agroecosistemas.pdf)

Suárez Bordon, S. (2012). El proceso del compostaje. Granja, 89-92.

Sztern, D., & A Pravia, M. (03 de marzo de 2013). Manual para la elaboracion de compost bases conceptuales y procedimiento. Recuperado el 8 de Octubre de 2019, de Biblioteca virtual en salud-ops/oms Uruguay : <http://ops-uruguay.bvsalud.org/pdf/compost.pdf>

Tabaoda. (18 de Octubre de 2011).. Recuperado el 7 de Diciembre de 2019, de Grupo de gestion de residuos:etapas de proceso de compostaje : <https://proyectogestionderesiduos.wordpress.com/2009/12/15/etapas-del-proceso-de-compostaje/>

Toledo, V. M. (2011). La agroecología en Latioamérica: tres revoluciones, una misma transformacion . Agroecología, 37-46.

Torres Jaime, J. A. (Abril de 2011). Manejo integrado de los residuos sólidos. Torreon, Coahuila.

Torti, M., Butti, M., & Binda, V. (2019). evaluacion de los indicadores de madurez y estabilidad biologica en compost de residuos de incubacion. Biotransformacion-Compost, 73-75.

Tortosa, German. (Febrero de 2015). *Compostando ciencia lab, sistema de compostaje*. Obtenido de <http://www.compostandociencia.com/>: <http://www.compostandociencia.com/2015/02/sistemas-de-compostaje/>

USDA-NRC. (8 de Febrero de 2012). Farming in the 21 st century: A practical approach ro improve soil health.Washington,. National soil health and sustainability team, natural resources conservation service, united states department of Agriculture , tion Service, United States Department of Agriculture. Fecha de consulta 8 de

febrero del 2020. Obtenido de  
<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/>

- Vamero, M. T. (2011). Manual de biogas. Santiago de Chile: Fao.
- Varnero , M. T., Rojas , C., & Orellana, R. (2007). Indice de fitotoxicidad en residuos organicos durante el compostaje. R.c .suelos nutri.veg, 28-37.
- Wezel , A., & Soldat , V. (2009). A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology. International Journal of Agricultural Sustainability 7(1), 3-18.
- Yan, Q., Xinli, L., Wang, Y., Li, H., Li, Z., Zhou, L., . . . Bao, X. (2018). Cow manure as a lignocellulosic substrate for fungal cellulase expression and bioethanol production. AMB express, 02-12.
- Yoon, L. W., Ngoh, G. C., May Chua, A., Abdul Patah, M., & Hui Teoh, W. (2019). Process intensification of cellulase and bioethanol production from sugarcane bagasse via an integrated saccharification and fermentation process. El sevier.
- Yue, Z., Teater, C., Liu, Y., Maclellan, J., & Liso, W. (2010). A sustainable pathway of cellulosic ethanol production integrating anaerobic digestion with biorefining. Biotechnology and Bioengineering,, 1031–1039.
- Zareei, S. (2018). Evaluation of biogas potential from livestock manures and rural wastes using GIS in Iran. Renewable Energy, 351-356.
- Zurcan, V. (2005). Estudio experimental en planta piloto del proceso de co-compostaje de residuos agroalimentarios. Creative commons, 91-96. Obtenido de <http://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/246/305>