



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC
LICENCIATURA EN INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL COMPOST Y VERMICOMPOST
DE *Eisenia fétida* L. ELABORADOS A PARTIR DE ESTIÉRCOL EQUINO Y
ESTIÉRCOL BOVINO**

TESIS

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA**

PRESENTA

ADAN DOMINGUEZ HERNANDEZ

ASESORA

DRA. EN CARN. FRANCISCA AVILÉS NOVA

TEMSCALTEPEC, ESTADO DE MÉXICO, JUNIO DE 2022

INDICE

AGRADECIMIENTOS -----	IV
DEDICATORIAS -----	VI
RESUMEN -----	1
I.- INTRODUCCION -----	3
II. REVISION DE LITERATURA -----	5
2.1 LA VERMICULTURA O LOMBRICULTURA -----	5
2.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE <i>EISENIA FOETIDA</i> -----	6
2.2.1 CARACTERÍSTICA DE <i>EISENIA FOETIDA</i> (LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA) -----	7
2.3 QUE ES EL VERMICOMPOST -----	8
2.4 IMPORTANCIA DEL VERMICOMPOST -----	9
2.5 USO DEL VERMICOMPOST -----	10
2.5.1 CARACTERÍSTICAS -----	10
2.6 ALIMENTACIÓN DE LA LOMBRIZ <i>EISENIA FOETIDA</i> -----	10
2.6.1 SUSTRATOS ORGÁNICOS -----	11
2.6.1.1 Estiércol de caballo -----	11
2.6.1.2 Estiércol de bovinos -----	12
2.6.1.3 PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL -----	12
2.7 CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTIÉRCOLES -----	16
2.8 EL COMPOST O COMPOSTA -----	17
2.8.1 SUCESIÓN MICROBIANA -----	17
2.8.1.1 Bacterias -----	18
2.8.1.2 Importancia de las bacterias -----	19
2.8.1.3 Uso de <i>azospirillum</i> en México como biofertilizante y potencial de nuevas especies bacterianas como biofertilizantes, agentes de biorremediación y biocontrol de fitopatógenos -----	21

2.8.1.4 Bacterias nitrificantes	23
2.8.1.5 Bacterias aerobicas y anaeróbicas.....	23
2.8.1.6 Pseudomonas fluorecentes.....	25
2.8.1.7 Características generales de Pseudomonas fluorescens	26
2.8.1.8 Colonización de la rizósfera y endosfera.....	26
2.9 BACILLUS	29
2.9.2 HONGOS	31
2.9.3 TIPOS DE COMPOSTAJE	37
2.9.3.1 COMPOSTAJE AERÓBICO:	37
2.9.3.2 COMPOSTAJE ANAERÓBICO	37
2.9.3.3 TÉCNICA DE ELABORACIÓN DE LAS COMPOSTAS AERÓBICAS.....	38
2.9.3.4.1 Temperatura.....	39
2.9.3.4.2 Humedad.....	40
2.9.3.4.3 Aireación.....	41
2.9.4 RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO	42
2.9.5 MADURACIÓN, ESTABILIZACIÓN Y CONTENIDO NUTRICIONAL DE LA COMPOSTA	43
2.9.6 MICROORGANISMOS QUE INTERVINEN EN LA DESCOMPOSICIÓN DE SUSTANCIAS CARBONADAS.....	43
2.9.7 NORMATIVIDAD	46
2.9.8 UTILIZACIÓN DE LAS COMPOSTAS	49
III . JUSTIFICACION.....	51
IV . HIPÓTESIS.....	55
V. OBJETIVOS	56
5.1 GENERAL	56
5.2 ESPECÍFICOS	56
VI.MATERIALES Y METODOS	57
6.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL	57

6.2 PROCESO DEL COMPOSTAJE	57
6.3 PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE	59
6.4 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	60
6.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	60
VIII. LITERATURA CITADA	72

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. PROMEDIO DE DEYECCIONES DE BOVINO PRODUCIDAS POR ANIMAL /DÍA -----	16
CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUSTRATOS ORGÁNICOS -----	16
CUADRO 3 . DISTRIBUCIÓN DE LA MICROBIOTA DURANTE LAS DIFERENTES ETAPAS DEL COMPOSTAJE EXPRESADO EN UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS POR GRAMO (HAUG, . -	31
CUADRO 4. CARACTERÍSTICAS GENERALES QUE DEBE CUMPLIR LOS TIPOS DE COMPOSTAS. ----	47
CUADRO 5. REQUISITOS QUÍMICOS Y SANITARIOS PARA LOS MEJORADORES DE SUELO -----	48
CUADRO 6. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE COMPOSTS ELABORADA CON ESTIÉRCOL EQUINO Y BOVINO Y VERMICOMPOSTS DE EISENIA FÉTIDA ALIMENTADA CON COMPOSTA DE EQUINO Y BOVINO (VE Y VB), -----	64
CUADRO 7. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DE VERMICOMPOST DE <i>EISENIA FÉTIDA</i> ELABORADOS A PARTIR DE ESTIÉRCOL EQUINO (VE) Y ESTIÉRCOL BOVINO (VB) -----	67
CUADRO 8. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DE COMPOST EQUINO Y BOVINO -----	69
CUADRO 9. COMPARACION DE CARACTERISTICAS MICROBIOLÓGICAS DE COMPOSTA Y VERMICOMPOSTA EN ESTIÉRCOL BOVINO Y EQUINO -----	70

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PILAS DEL COMPOSTAJE -----	58
FIGURA 2. MEDICION DE TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD ELECTRICA-----	58
FIGURA 3. PILAS DE VENTILACION CON 2 METODOS : MANUAL Y CON TUBOS -----	58
FIGURA 4 . VOLTEO MANUAL-----	59
FIGURA 5. METODO DE VENTILACION POR TUBOS-----	59

RESUMEN

El problema de efecto invernadero es una situación que se desarrolla cotidianamente con la industria pecuaria lo cual afecta al ambiente, suelos y mantos freáticos. El suelo puede quedar afectado en gran cantidad por las heces que contienen gran cantidad de nutrientes (nitrógeno y fosforo). Sin embargo, las heces contienen una gran variedad de beneficios para el suelo siendo manipuladas de la mejor manera la cual se podría considerar como una alternativa de fertilización de suelos como de sanitización de las plantas. El objetivo principal de este trabajo es el de saber las características microbiológicas del compost y vermicompost de *eisenia fétida* l. elaborados a partir de estiércol equino y estiércol bovino, como estrategias del manejo de reciclaje de estiércoles pecuarios. Los estiércoles se recolectaron en los corrales del rancho del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, localizado en el municipio de San Simón de Guerrero (100°6'27" O y 19°2'8" N), en el sur del Estado de México. El estiércol equino contiene paja de avena (20 %) y el estiércol de bovino rastrojo de maíz (10 %). De cada tipo de estiércol se pesaron 1,200 kg en una báscula línea industrial (marca: Nuevo León® S.A. de C.V) y se formaron 6 pilas cónicas de 100 kg; el Estiércol bovino fue de 0.8 m de alto y 1.0 m de diámetro en la base, y el Estiércol equino 1.0 m x 1.0 m. Las pilas se humedecieron al 80 % con agua potable y se mantuvo durante todo el proceso; se acomodó sobre una película plástica de polietileno bajo la sombra de árboles de *pinus*. Se utilizaron un medidor de humedad (Kelway®). Las pilas se voltearon los días 15 y 30 después de iniciado el compostaje; se utilizo una pala Trupper® redonda (20 3/8" x 11 1/2"). De cada pila se tomaron al azar dos muestras de 1 kg de composta a diferentes profundidades, las cuales se identificaron y colocaron en bolsas de plástico de cierre hermético (Ziplock®, 27 x 28cm), se depositaron en una hielera y se trasladaron al laboratorio para su análisis. Para el conteo de bacterias (aeróbicas, anaeróbicas y nitrificantes) y hongos (*Trichoderma* sp. y *Aspergillus* sp.), cada muestra se suspendió en agua destilada estéril y se centrifugo para ser sometida a dilución

seriada (10⁻⁵). Alícuotas de 100 µl fueron diluidas en placas de medio BK (bacilos de Koch) para identificar la presencia de mycobacterias y en medio ELMAR; PDA (agar papa dextrosa) y PDAAL, respectivamente, para la obtención de colonias de hongos y bacterias. Las cajas petri fueron incubadas a 28 °C. Para la cuantificación de actinomicetos la muestra se homogeneizó y se añadió una solución tamponada, después se hicieron diluciones en serie y se incubaron a temperatura ambiente por 2 horas. Los datos de las variables físicas, químicas y microbiológicas se reportaron en promedios. Para analizar las variables de dinámica se utilizó un diseño completamente al azar a través de un ANOVA, donde los tratamientos son los tipos de vermicompost. Se emplearon el comando del modelo general lineal (GLM) del programa MINITAB reléase 12.21, y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($P < 0.05$). El pH entre las compostas presentó variación, el estiércol de equino presentó menor pH (7.7) respecto al estiércol de bovino que presentó mayor pH alcalino (9.2). Los resultados de Conductividad eléctrica de la vermicomposta equina se encuentra dentro de los valores reportados por la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 para Conductividad eléctrica (≤ 4 dS m⁻¹), sin embargo, en el Vermicompost equino, la Conductividad eléctrica rebasa los valores (6.1 dS m⁻¹) lo cual se relaciona con la suplementación con sales minerales que recibieron los bovinos. La Conductividad eléctrica del compost disminuyó con el efecto del vermicompostaje; la Conductividad eléctrica del Compost equino fue mayor (2.5 dS m⁻¹) respecto al valor del Vermicompost equino (1.9 dS m⁻¹). En el Compost bovino la Conductividad eléctrica fue de 12.2 presentando la misma tendencia de disminución en el vermicompost bovino (6.1).

I.- INTRODUCCION

La lombricultura como actividad es de reciente creación e inicia a mediados del siglo XX, para los años cuarenta su cultivo se intensificó para fines comerciales y su relevancia como proceso para estabilización de residuos orgánicos se da en los años setenta en Europa, con una notable dimensión de algunos centros de producción de lombrices con expectativas comerciales para reducir desechos sólidos en los vertederos (Schuldt, 2006)

El compost es un proceso biológico en el cual la materia orgánica se transforma en humus bajo la actividad de microorganismos de tal manera que sean aseguradas las condiciones necesarias (temperatura, aireación y humedad) para que se realice la fermentación aeróbica de estos materiales y se denomina compost al producto resultante del proceso de compostaje (Soto, 2003)

Según Fernández et al (2004), el compost es considerado como un alimento para la cadena trófica del suelo, como una “siembra” promotora de la actividad biológica de los microorganismos del suelo como las lombrices, como un sustrato con propiedades de control de enfermedades de las plantas cultivadas. En suma, el compost puede constituir un excelente factor de producción en los agroecosistemas y un excelente factor de protección y conservación de los suelos. Esta estrategia tiene la finalidad de aprovechar y reducir los volúmenes de residuos orgánicos, que generan problemas ambientales. El vermicompostaje se ha utilizado para aprovechar las excretas de animales como sustrato para las lombrices y generar fertilizantes orgánicos, mejorar los suelos y estimular la producción de los cultivos.

Se podría definir el vermicompostaje como un proceso de biooxidación y estabilización de la materia orgánica, mediado por la acción combinada de lombrices de tierra y microorganismos, del que se obtiene un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina denominado vermicompost. Como en todos los tratamientos biológicos referidos a la gestión de residuos orgánicos se trata de procesos que ocurren en la Naturaleza de forma habitual y con los que se cierra el ciclo de la materia orgánica. Por tanto, si se pretende

entenderlos y aplicarlos es necesario conocer los organismos implicados y sus características y necesidades.

El vermicompost es uno de los fertilizantes naturales de más alta calidad y más nutritivos del mundo. Debido a su efecto en la mejora del suelo, promueve el crecimiento y un mayor rendimiento de los cultivos.

Las características son las siguientes: se asemeja a la tierra de los bosques caducifolios y mixtos, sustrato de color negro profundo, sin olor y desmenuzable, combinación equilibrada de nutrientes para las plantas, suelo con un número de microorganismos superior a la media, tierra suelta, pero con estructura estable (complejos arcilla-humus), ausencia de aditivos químicos sintéticos

Fuente: *Naturland*

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 La vermicultura o lombricultura

La lombricultura consiste en el cultivo intensivo de la lombriz roja (*Eisenia fetida*) en camas de residuos orgánicos aprovechados como abono para cultivos agrícolas. A los desechos orgánicos producidos por la lombriz se le conoce con el nombre de lombricompost o humus. Este representa el mayor estado de descomposición de la materia orgánica y es un abono de excelente calidad (Fabián, 2008).

Además, la lombriz roja californiana tiene un 70% en proteína lo que significa que es ideal para la alimentación de animales como cerdos o peces.

El manejo de esta lombriz es muy sencillo e ideal, pues se utiliza como alimento todos los desechos orgánicos, como estiércoles de los animales y vegetales, sobrantes de los cultivos (Fabián, 2008).

Desde el mismo momento de su nacimiento, las lombrices son autosuficientes; comen solas y solo necesitan para sobrevivir que el sustrato donde se encuentran sea lo suficiente húmedo y tierno para ser perforado por su minúscula boca (Fabián, 2008).

La lombricultura es una biotecnología que se utiliza a una especie domesticada de lombriz. Como una herramienta de trabajo, esta recicla todo tipo de materia orgánica obteniendo como fruto de este trabajo humus y carne de lombriz. Se trata de una interesante actividad zootécnica que permite perfeccionar todos los sistemas de producción agrícola. La lombricultura es un negocio en expansión, y en un futuro será el medio más rápido y eficiente para la recuperación de suelos en las zonas rurales (Fabián, 2008).

La lombricultura, como ya dijimos, consiste en el aprovechamiento de la lombriz de tierra para la producción de humus o abono orgánico a partir de desecho naturales como el estiércol, rastrojos de cosechas y hojas de jardín entre otros materiales que deben estar en estado de descomposición. Además, la lombriz misma es una rica fuente de proteínas para la alimentación humana y de los animales domésticos, ya que de ellas se pueden elaborar harinas o dar directamente a las gallinas y cerdos (Fabián, 2008).

Las lombrices de tierra son aprovechadas para reciclar las cosas que no podemos utilizar directamente en un insumo importante para la agricultura como lo es el abono orgánico que producen, el que es considerado el fertilizante más completo que se puede elaborar, porque además de contener todos los nutrientes que las plantas necesitan es rico en enzimas y en flora bacteriana que ayudan a mantener el equilibrio biológico en el suelo y por consiguiente a reducir grandemente el ataque de las enfermedades en las plantas. Además de mejorar la fertilidad química del suelo mejoran también su fertilidad física (lo que ningún fertilizante pueden hacer) al cavar galerías dentro del suelo, mejorando la aireación y porosidad de este, lo que significa el manejo de estiércol de los corrales y de basura orgánica que se acumulan en las fincas de los pequeños agricultores la que generalmente es quemada inútilmente. Por estas virtudes y otras más, las lombrices de tierra son aprovechadas desde la antigüedad (Fabián, 2008).

2.2 Clasificación taxonómica de *eisenia foetida*

- Reino: Animal
- Tipo: Anélido (cuerpo anillado)
- Familia: Lumbricidae.
- Género: Eisenia.
- Especie: Foétida.
- Anatomía y Fisiología:
Pared del cuerpo -Sistema respiratorio

Aparato digestivo -Sistema nervioso

Aparato circulatorio- Sistema reproductor

Aparato neurosensorial- Sistema excretor

2.2.1 Característica de eisenia foetida (lombriz roja californiana)

- Posee boca, pero no tiene dientes, succiona los alimentos para lograr su alimentación.
- Los rayos ultravioletas la matan en poco tiempo.
- Su cuerpo es cilíndrico, anillado y presenta de 120 a 175 segmentos, y está recubierta de una fina cutícula con una longitud en estado adulto de 6 a 8 cm y un diámetro de 3 a 5 mm, su color va de blanco rosa y ya adulta color rojo oscuro.
- Respira a través de la epidermis, depositando el humus en un 1/3 de su recorrido, por lo que la cutícula debe mantenerse adecuadamente húmeda.
- Su aparato circulatorio está provisto de cinco pares de tubos musculares (corazones) y posee tres pares de riñones.
- Es hermafrodita: Posee tanto ovarios, como testículos, es incapaz de auto fecundarse por lo que necesita del acoplamiento de otra de su especie, el apareamiento se produce al situarse en posición paralela en sentido inverso las dos lombrices de tal forma que se corresponda al aparato genital masculino con el femenino, al realizarse esto se produce un intercambio de espermatozoide quedando ambas lombrices fecundadas.
- Clitellium: Con forma de anillo de color blanco rosado, está situado en el tercio anterior dotado de una glándula que se encarga de secretar las sustancias que forman los capullos o cocones ò cápsulas donde se alojan los huevos fecundados, dicho capullo tiene forma de pera de 2-3 mm de diámetro, de color verde 8 amarillo hasta verde rojizo que se abre de los 14 a los 21 días en condiciones favorables, humedad, temperatura etc. Dichas

lombrices al salir miden 1mm aproximadamente y tienen un peso en estado adulto de 0.8 a 1 g e ingieren diariamente el 100% de su peso en materia orgánica en descomposición y del cual el 60% es excretado abono orgánico y el 40% es asimilado y se convierte en biomasa de lombriz.

- La madurez sexual la adquieren a los 3 meses y a partir que se forma el Clitelo están aptas sexualmente para el apareamiento el cual se produce con un intervalo mínimo de 7 días y tiene un tiempo de duración de 15 minutos.
- Elevada Prolificidad 2 a 21 lombrices que en condiciones óptimas dan lugar a dar hasta 1,500 descendientes lombrices/ año.
- Glándulas Calcíferas: conocidas como glándulas de Morren, son unos órganos especiales que segrega carbonato de calcio y cumplen la función de controlar el PH, así como inhibe ciertos hongos y bacterias que se encuentran en los sustratos orgánicos que consume.
- Regeneración: La lombriz posee poder regenerativo de segmentos perdidos, pero solo si la lesión o destrucción afecta la última porción del intestino muere. Una lombriz es 80% agua y 20% materia seca, posee el 65% de proteína (Fabián, 2008).

2.3 Que es el vermicompost

El vermicompostaje es un proceso eco tecnológico de bajo costo que permite la bio-oxidación, degradación y estabilización de residuos orgánicos por la acción conjunta de lombrices y microorganismos, del cual se obtiene la vermicomposta, un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina. Este proceso tecnológico eficiente puede convertir residuos orgánicos en productos de valor agregado para las prácticas de restauración ecológica y programas de fertilidad del suelo (Moreno et al., 2014).

La tecnología de vermicompostaje en la gestión de los residuos orgánicos convencionales y no convencionales, ha crecido considerablemente como resultado de grandes avances científicos en varias partes del mundo (Moreno et al., 2014)

Esta estrategia tiene la finalidad de aprovechar y reducir los volúmenes de residuos orgánicos, que generan problemas ambientales. El vermicompostaje se ha utilizado para aprovechar las excretas de animales como sustrato para las lombrices y generar fertilizantes orgánicos, mejorar los suelos y estimular la producción de los cultivos (Morales et al., 2009).

2.4 Importancia del vermicompost

La importancia de las lombrices de tierra no es un fenómeno nuevo. La influencia de las lombrices en los suelos agrícolas era conocida en las antiguas civilizaciones griegas y egipcias que valoraban el papel que desempeñaban las lombrices en el suelo. Los antiguos egipcios fueron los primeros en reconocer que las lombrices de tierra aumentaban la fertilización del suelo y lo consideraban animales sagrados, Aristóteles por su parte las definió como los “intestinos de la tierra”, pero fue Charles Darwin en el siglo XIX quién explica la verdadera función de las lombrices en el suelo, al relacionarlas con la descomposición de materiales vegetales muertos (Vargas-Machuca et al., 2008)

Con mayor frecuencia los países desarrollados se preocupan y reconocen que los residuos orgánicos deben ser utilizados como recursos, en lugar de ser desechados en vertederos, generando problemas ambientales que son costosos de remediar. El reciclaje de la materia orgánica se puede lograr mediante métodos de tratamiento alternativos para obtener un producto estabilizado y comercializable (Vargas-Machuca et al., 2008)

2.5 Uso del vermicompost

El uso de Vermicompost puede contribuir significativamente a mantener y mejorar la fertilidad del suelo. El compostaje es un método antiguo de abonamiento orgánico en la agricultura, horticultura y floricultura. Así se conserva la fertilidad del suelo en el sudeste asiático desde hace seis mil años. Un abono de alta calidad y rico en nutrientes es el humus de lombriz (también conocido como vermicompost, del latín: vermis = gusano).

El vermicompost es uno de los fertilizantes naturales de más alta calidad y más nutritivos del mundo. Debido a su efecto en la mejora del suelo, promueve el crecimiento y un mayor rendimiento de los cultivos.

2.5.1 Características

- Se asemeja a la tierra de los bosques caducifolios y mixtos
- Sustrato de color negro profundo, sin olor y desmenuzable
- Combinación equilibrada de nutrientes para las plantas
- Suelo con un número de microorganismos superior a la media
- Tierra suelta, pero con estructura estable (complejos arcilla-humus)
- Ausencia de aditivos químicos sintéticos (Rodríguez, 2002).

2.6 Alimentación de la lombriz Eisenia foetida

Eisenia foetida por su gran apetito, las lombrices pueden descomponer casi todo tipo de material de origen vegetal o animal. Eisenia fétida, sin embargo, prefiere los excrementos de la ganadería. Por ello, el estiércol de ganado es el material más utilizado como materia prima para el compost de lombriz. A menudo se utilizan en este tipo de compost también residuos vegetales verdes, ricos en nutrientes, los que normalmente se descomponen muy lentamente en otro tipo de compostaje. En general, existe una amplia gama de materias primas que se pueden utilizar para la alimentación de las lombrices, pero siempre se debe dar

prioridad a aquellas procedentes de la agricultura ecológica. Las materias primas utilizadas para iniciar la cría de lombrices que provengan de la ganadería o de cultivos de autoconsumo no necesitan estar certificadas como orgánicas. Cuanto más finamente picado esté el material que se ponga a disposición de los organismos (lombrices, microorganismos, microbios), más rápida será su descomposición. Puesto que las lombrices son criaturas de hábito, la composición del material durante el proceso de compostaje no debe variar demasiado. Así, por ejemplo, si en la pila de compost se ha puesto material muy grueso, éste no podrá descomponerse adecuadamente. Y las lombrices deberán acostumbrarse a la nueva alimentación proporcionada (Rodríguez, 2002).

2.6.1 Sustratos orgánicos

2.6.1.1 Estiércol de caballo

El caballo es un animal muy usado por el hombre desde la antigüedad, especialmente como medio de locomoción (sobre todo antes del desarrollo de los vehículos a motor de combustión). Su domesticación y uso se remonta a tiempos lejanos (algunos lo datan entorno 2000-3000 años antes de cristo), desde medio de transporte hasta herramienta de trabajo. Su población mundial ha fluctuado bastante siendo por los años 1960 cuando se registró el máximo según algunos estudios (la cifra la estiman en 65 millones de individuos)(Rodríguez, 2002).

Actualmente, muchos de los caballos que se usan sobre todo en agricultura suelen estar estabulados (otros muchos no, viven libres por el campo) y generan una gran cantidad de estiércol (pueden producir hasta 8 toneladas por año y por animal). Este estiércol es muy interesante como fuente de materia orgánica para la agricultura y en especial para el compostaje y el vermicompostaje (Rodríguez, 2002).

El estiércol de caballo es un material que se composta muy bien. Suele tener un contenido en nitrógeno moderado con respecto a otros estiércoles como la “gallinaza” o el estiércol de oveja. A diferencia de otros animales como vacas u ovejas, no son rumiantes, por lo que su estiércol es ligeramente diferente. Está formado principalmente por excrementos del caballo mezclados con paja u otro material lignocelulósico utilizado normalmente como cama absorbente. En cuanto a su compostaje, se puede emplear como agente estructurante y las proporciones varían en función del residuo a co-compostar. Pueden ir desde 50% hasta un 10% (proporción en base al peso fresco o volumen de residuo). Es importante conocer el contenido en nitrógeno y carbono del otro residuo ya que eso hará que utilicemos más o menos (Rodríguez, 2002).

2.6.1.2 Estiércol de bovinos

Uno de los problemas que enfrentan los productores de ganado bovino en sus establos, es la gran cantidad de estiércol que se produce en los corrales, afectando negativamente al medio ambiente incluyendo los mantos freáticos con malos olores, sustancias, microorganismos y gases que producen estos, aunado al desconocimiento que tienen los ganaderos del uso, manejo y/o reciclaje de este (Rodríguez, 2002).

2.6.1.3 Producción de estiércol

El tamaño del animal influye en la cantidad total de alimento que consume, lo cual está en relación directa con la cantidad total de producción de excretas.

En México se generan alrededor de 312,609 t/año de estiércoles pecuarios que ocasionan un impacto ambiental negativo y aún no han sido considerados como subproductos susceptibles de aprovechamiento (Olivares et al, 2001).

El compostaje y el vermicompostaje son tecnologías que se utilizan para el tratamiento de los estiércoles pecuarios, las cuales permiten perfeccionar los sistemas de producción agropecuaria obteniendo un impacto positivo ambiental, social y económico, ya que éstas se aplican para transformar y reducir el volumen de estiércol que produce el sector agropecuario (Lazcano, 2008).

Como ya se ha dicho, son muchos los elementos que pueden entrar a formar parte del estiércol y, por lo tanto, es difícil fijar tanto la cantidad que se produce como las características de composición del mismo. Luis, (1997)

Es por ello que se van a dar unos valores generales. Son muy variados los factores que influyen en la cantidad producida y en el contenido de nutrientes del estiércol, pero entre ellos podemos destacar:

- Tipo de ganado:

Tanto la cantidad como los nutrientes presentes en el estiércol varían tanto con la especie como dentro de ésta con el tipo de ganado.

- Alimentación:

La dieta que se suministra al ganado depende tanto del tipo de ganado como del destino del animal. La dieta no es igual para un animal destinado al engorde que para un animal que está en crecimiento para reposición; esto hace que varíe tanto la cantidad de estiércol producido como el contenido en nitrógeno, fósforo y potasio.

- Condiciones ambientales:

Hay que considerar factores tales como la adición de agua bien de lluvia o de limpieza, si se compacta o no y si contiene desperdicios.

- Duración y condiciones de almacenado:

El almacenamiento es básico, sobre todo para evitar las posibles pérdidas de nutrientes. El estiércol, desde que se produce hasta que es utilizado, puede sufrir una serie de pérdidas en el contenido de nutrientes vegetales, que se pueden clasificar en tres tipos:

- Pérdidas gaseosas.

El estiércol contiene elementos que pueden volatilizarse y que si no se almacena de una forma adecuada se pierden. Estas pérdidas pueden suponer un 10 por 100 del nitrógeno.

- Pérdidas por lavado.

El estiércol suele almacenarse al aire libre y, por lo tanto, al llover, el agua puede arrastrar los componentes nutritivos. Por esta vía se puede perder un 20 por 100 del nitrógeno, un 5 por 100 del fósforo y más del 35 por 100 del potasio.

- Pérdidas por filtración. Estas pérdidas se producen cuando los líquidos del interior de la pila de estiércol pasan al suelo. Para que no se produzcan estas pérdidas, se sugiere que el estiércol se almacene sobre una superficie de hormigón, que se compacte y que se cubra para evitar el lavado por la lluvia. Luis, (1997).

Cuando se aplica el estiércol al terreno no todos los nutrientes son asimilables inmediatamente por las plantas. El P y el K se encuentran retenidos y sólo tras su liberación pueden ser asimilados.

Para el caso del nitrógeno el proceso es más complejo. Las plantas sólo pueden utilizar a el nitrógeno que se encuentra en forma mineral, y dado que el estiércol contiene nitrógeno tanto en forma mineral como orgánica, no podrá ser utilizado por los cultivos en su totalidad inmediatamente, sino que habrá que esperar a que se mineralice la fracción orgánica para que las plantas puedan asimilarlo Luis, (1997)

Como la mineralización es un proceso continuo que se produce durante todo el año y como los cultivos sólo utilizan el nitrógeno mineral en las épocas de producción, aquel nitrógeno que se mineralice fuera de los períodos en los que puede ser aprovechado por las plantas sufrirá pérdidas. Además, la demanda de nitrógeno por los cultivos no es igual durante todo el crecimiento de las plantas, ya que inicialmente es pequeño, crece cuando el desarrollo es rápido y se reduce cuando el cultivo llega a la madurez.

Por lo tanto, la eficiencia de utilización del nitrógeno del estiércol no es de un 100 por 100, sino que se ve reducida, siendo varios los factores que la afectan, entre

los que cabe destacar: la forma, las condiciones, la época de aplicación y el tipo de cultivo.

El nitrógeno presente en el estiércol se puede dividir en tres fracciones:

- Nitrogeno mineral (N).

Es el nitrógeno que se encuentra en la forma mineral y que, por tanto, es directamente asimilable por las plantas; su eficiencia sería del 100 por 100, pero puede sufrir pérdidas en la aplicación del estiércol al terreno.

- Nitrogeno mineralizable el primer año:

Es la parte del nitrógeno orgánico que durante el primer año va a pasar a forma mineral y sobre el que se van a sufrir pérdidas durante los períodos en que los cultivos no estan en producción.

- Nitrógeno organico mineralizable en años sucesibles:

Es aquel nitrógeno organco que en condiciones de equilibrio se va a ir mineralizando lentamente y que también puede sufrir pérdidas en los períodos en los que los cultivos no están en producción Luis, (1997).

Cuadro 1. Promedio de deyecciones de bovino producidas por animal /día

ANIMAL	EDAD (MESES)	Deyecciones producidas (Orina + heces kg/día)
Ternero	3-6	7
Vaca	24	28
Vaca Lechera	24	45

2.7 Características de los estiércoles

Los residuos ganaderos son muy heterogéneos, están formados por las deyecciones solidas y/o liquidas, las camas y restos de alimento, residuos fitosanitarios, antibióticos, entre otros materiales; los que se pueden dividir en dos grandes grupos: estiércoles y purines, los primeros están formados por deyecciones sólidas, liquidas y las camas del ganado, los segundos disponen de una gran cantidad de agua en su composición (Rodríguez, 2002).

Cuadro 2. Características físicas y químicas de los sustratos orgánicos

Parámetro	pH	CE (dS.m ⁻¹)	Da (g.cm ⁻¹)	MO (%)	Co (%)	Nt (%)	C/N	P	Cl	Na	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	B	K
Equino	7.6	1.1	0.3	84.1	48.8	1.8	40.6	1680	1418	560	7700	1900	4700	41	9	175	1250	5800
Bovino	8.8	6.5	0.2	76.4	38.9	1.2	21.4	3600	9926	3900	27100	6700	3010	280	39	440	1360	16200

CE: Conductividad Eléctrica, MO: Materia Orgánica, Co: Carbono orgánico, Nt: nitrógeno total, P-PO₄: fosforo de fosfatos, K: Potasio, Mg: magnesio, S-SO₄: azufre de sulfatos, Ca: calcio, Na: sodio.

2.8 El compost o composta

El compostaje es un proceso biooxidativo que da lugar a un producto orgánico altamente estable. Se puede definir como la mineralización y humificación parcial de las sustancias orgánicas mediante reacciones microbianas. Estas reacciones se realizan bajo condiciones óptimas durante un periodo determinado y relativamente corto. La transformación microbiana de la fracción orgánica es una oxidación aerobia, de forma que la relación superficie/volumen de las partículas y la relación aire/agua en el espacio entre partículas, tiene una influencia directa en el proceso.

Los procesos modernos de compostaje se realizan a intervalos de temperatura mesofílicos y termofílicos. Aunque se considera que los microorganismos mesófilos son más eficaces para la descomposición de la materia orgánica, las temperaturas más altas favorecen la eliminación de potenciales patógenos vegetales y animales, y la muerte de semillas de malas hierbas que podrían ser perjudiciales en el uso posterior del producto final (Federico, 2011).

2.8.1 Sucesión microbiana

Durante el proceso de compostaje, se lleva a cabo una compleja sucesión de poblaciones de microorganismos capaces de degradar o descomponer una materia orgánica compleja. La descripción de los microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje es complicada, debido a que las poblaciones y las comunidades varían continuamente en función de la evolución de la temperatura, disponibilidad de nutrientes, concentración de oxígeno, contenido de agua, pH, acumulación de compuestos antibióticos, etc.

La temperatura es un indicador de la actividad microbiana anterior y, asimismo, un indicador de la tasa de actividad actual. El ecosistema del compostaje se limita así mismo cuando la acumulación de calor es excesiva. A medida que se va elevando la temperatura, las poblaciones microbianas son reemplazadas por otras mejor adaptadas, y cada una de ellas posee una duración limitada. En el caso de realizarse una correcta y continua aireación, la fase termófila continúa hasta que la producción de calor es inferior a la disipación del mismo, debido al agotamiento de los compuestos fácilmente metabolizables.

Una amplia diversidad de microorganismos conforman las poblaciones mixtas del proceso de compostaje.

Las más importantes son bacterias, Actinomycetes y hongos filamentosos.

2.8.1.1 Bacterias

Las bacterias son las más numerosas en el proceso de compostaje, y constituyen entre el 80% y el 90% de los microorganismos existente en el compost. Se trata de un grupo de gran diversidad metabólica, que utilizan un amplio rango de enzimas que degradan químicamente una gran variedad de compuestos orgánicos.

La cuantificación de las bacterias aerobias totales representa, de alguna manera, un índice de actividad biológica. Dentro de este tipo de microorganismos, se puede destacar el grupo de las *Pseudomonas* fluorescentes, constituido por algunas especies de bacterias asociadas a procesos de biocontrol de patógenos de plantas y a procesos de estimulación del desarrollo radicular. La utilización de un compost maduro con una alta población de *Pseudomonas* fluorescentes, podría actuar como un “estimulador” del desarrollo de las raíces y un “protector” frente a diferentes fitopatógenos.

La participación de los Actinomycetes durante el proceso de modificación de la materia orgánica del compost es relevante, debido a la capacidad enzimática para degradar compuestos orgánicos complejos (celulosa, lignina, etc.). Asimismo,

muchas de las especies que participan en este proceso son tolerantes a las temperaturas que alcanza el compost durante el proceso de degradación aeróbica. Por tal motivo, es un grupo de microorganismos abundante en el compost, y es importante conocer su evolución y abundancia durante la utilización del mismo como sustrato de siembra. Asimismo, los Actinomycetes poseen la capacidad de regular la microbiota rizosférica a través de la producción de antibióticos y otros compuestos.

2.8.1.2 Importancia de las bacterias

Azospirillum

Historia:

Aún cuando *Spirillum lipoferum* fue descrito en 1925 por Beijerinck, esta bacteria estuvo olvidada por varias décadas. Son las observaciones de Peña-Cabriales y Döbereiner en 1973 las que iniciarían la época moderna de esta bacteria. Estudios taxonómicos de *S. lipoferum* conducen a su reclasificación en un género nuevo, *Azospirillum*.

Actualmente son reconocidas seis especies en el género *Azospirillum*. Las dos primeras en ser descritas fueron *A. lipoferum* y *A. brasilense*, siendo éstas las más ampliamente estudiadas. Posteriormente fueron descritas las especies *A. amazonense*, *A. halopraeferans*, *A. irakense* y *A. largomobile* siendo el nombre de esta especie corregido a *A. largimobile*. Pocos años antes ésta especie fue considerada como un sinónimo de la especie *A. lipoferum*. Recientemente, en honor de quien impulsara los estudios con este género bacteriano y descubriera otros diazótrofos, se ha propuesto la especie candidata *A. doebereinae*.

Pocos años después del redescubrimiento de *Azospirillum* y hasta alrededor de 1993, este género fue el más estudiado entre las bacterias asociadas a plantas. La capacidad de *Azospirillum* para estimular el crecimiento de las plantas y de aumentar el rendimiento de los cereales promovió numerosos estudios sobre la ecología, fisiología y genética de esta bacteria. En la actualidad su uso comercial comienza a extenderse en diferentes países, incluido México.

Aislamiento:

El aislamiento de las bacterias del género *Azospirillum* resulta en lo general muy simple, ya sea a partir de suelo rizosférico o de la superficie de las raíces (rizoplano) de numerosas plantas hospederas. También se le aísla del interior de las raíces o tallos de algunas plantas. El medio de cultivo usado por excelencia para el enriquecimiento de las especies de *Azospirillum* ha sido el NFb semigelificado "libre" de nitrógeno y con malato como fuente de carbono. No obstante, en este medio de cultivo son aisladas predominantemente cepas de las especies *A. lipoferum* y *A. brasilense*. El medio NFb con algunas modificaciones en su composición y pH permiten el aislamiento predominante de otras especies de *Azospirillum*. Estos medios son usados frecuentemente para evaluar la actividad reductora de acetileno, como indicativo de la fijación de nitrógeno. Tubos en los cuales se observa el crecimiento bacteriano en forma de sombrilla, la cual se transforma en una película blanca y densa abajo de la superficie del medio de cultivo, y vire del indicador azul de bromotimol son considerados tentativamente como positivos para el aislamiento en cultivo puro de la bacteria.

El cultivo puro se logra en diferentes medios de laboratorio, siendo muy comunmente usado un medio adicionado del colorante rojo Congo, en el cual *A. lipoferum* y *A. brasilense* toman un color rojo escarlata que permite la diferenciación de otros géneros bacterianos. Aun cuando el medio BLCR fue diseñado para mejorar el aislamiento de cepas de *Azospirillum brasilense*, su uso no fue aceptado por haberse demostrado que no era apropiado para el estudio de poblaciones naturales de esta bacteria. Posteriormente se observó que la concentración de estreptomina usada (200 mg/litro) en el medio BLRC era inhibitoria del crecimiento de un gran número de cepas.

Además de los medios y métodos descritos, también existen reportados algunos medios de cultivo y métodos para el crecimiento de *Azospirillum* en cultivo puro y en asociación con plantas, así como para su conservación. Caballero (1997)

2.8.1.3 Uso de azospirillum en México como biofertilizante y potencial de nuevas especies bacterianas como biofertilizantes, agentes de biorremediación y biocontrol de fitopatógenos

La agricultura mundial ha tendido a buscar la sustentabilidad de los cultivos a través de alternativas de origen biológico que sean más económicas, que mejoren la rentabilidad de los cultivos y que eviten el deterioro del medio ambiente.

El desarrollo y uso de los biofertilizantes se contempla como una importante alternativa para la sustitución parcial o total de los fertilizantes minerales. La aplicación de bacterias que interactúan con las plantas es considerada una opción viable en muchos países y en la actualidad se buscan el desarrollo de biofertilizantes basados en bacterias promotoras del crecimiento vegetal, en particular con la bacteria *Azospirillum*, fijadora de nitrógeno y productora de fitohormonas.

En los años 1999-2000, el INIFAP-SAGAR impulsó un programa de uso de biofertilizantes con material biológico y la asesoría tecnológica del CCG-UNAM (antes Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno). El programa se llevó a cabo con cepas de *Azospirillum* seleccionadas para promover el rendimiento de los cultivos de cereales, como una alternativa tecnológica para aquellas regiones donde no se aplicaban fertilizantes minerales, o bien, para disminuir su uso en otras regiones.

En tal programa fueron inoculadas con *A. brasilense* cerca de 2 millones de hectáreas de maíz, y otros cereales, siendo aplicado mayoritariamente a variedades criollas y comerciales de maíz.

El rendimiento de grano fue evaluado en más de 200 sitios y 800 ha; se evaluó el efecto de la inoculación con *Azospirillum* en combinación con diferentes niveles de fertilización (N,P,K), de acuerdo con su uso en cada región, y en el caso de maíz en numerosos sitios sin fertilización mineral.

Los resultados de la inoculación de maíces criollos y variedades comerciales, sin aplicación de fertilizantes minerales, mostraron efectos benéficos sobre el rendimiento en el 95% de las evaluaciones, con aumento en los rendimientos en el

rango de 12-98% para los maíces criollos, y de 7-76% en las variedades comerciales, e incrementos promedio de 42 y 26%, respectivamente.

Los resultados de la inoculación con *Azospirillum* fueron dependientes del cultivo, la variedad, el nivel de fertilizantes minerales aplicado y el tipo de suelo. La inoculación con cepas de *Azospirillum* seleccionadas permite reducir hasta en 50% el uso de los fertilizantes minerales (N,P,K) sin que disminuya el rendimiento del cultivo, e incluso se obtiene 5-10% de aumento respecto a los cultivos fertilizados con el 100% del fertilizante mineral. Con el material biológico y licencia de la UNAM una empresa del sector privado produce el biofertilizante a base de *Azospirillum*; esta empresa ha comercializado en los últimos años alrededor de medio millón de dosis para igual número de hectáreas.

Los Gobiernos Estatales de Morelos, Guerrero y Michoacán han incluido en sus programas agrícolas el uso de *Azospirillum* como biofertilizante. Numerosos foros de discusión sobre el uso de biofertilizantes para la producción de granos han sido organizados en México, y se vislumbra el impulso a su uso. Sobre esta base, uno de nuestros objetivos es lograr que las bacterias otorguen ventajas adicionales a los cultivos, no solamente como biofertilizantes. En experimentos de invernadero se ha logrado incrementar significativamente la resistencia a la sequía y la biomasa de plantas de maíz mediante la inoculación con una cepa de *Azospirillum*, modificada genéticamente, que acumula trehalosa. Nuestro grupo ha logrado el aislamiento de varias especies de *Burkholderia* fijadoras de nitrógeno desconocidas hasta hace menos de una década; entre las especies descritas destacan. *B. unamae*, *B. xenovorans*, *B. tropica* y *B. silvatlantica*. En estas especies diazótrofes hemos detectado actividades de interés agrobiotecnológico que pudieran ser aprovechadas para el desarrollo de nuevos biofertilizantes y paralelamente ser usadas en el control biológico de fitopatógenos y en biorremediación.

2.8.1.4 Bacterias nitrificantes

Hasta hace poco, se creía que los nitrificadores favorablemente afecta el suelo, aumentando su fertilidad dividiendo el amonio en nitratos. Estas últimas no solo son bien absorbidas por las plantas, sino que también aumentan la solubilidad de ciertos minerales.

Sin embargo, en los últimos años, las opiniones científicas sufrieron cambios.

Se reveló el efecto negativo de los microorganismos descritos sobre la fertilidad del suelo. Las bacterias nitrifican, forman nitratos, acidifican el medio ambiente, lo que no siempre es un momento positivo, y también en mayor medida provocan la saturación del suelo con iones de amonio que con nitratos. Por otra parte, los nitratos tienen la capacidad de recuperar N_2 (en el proceso de desnitrificación), que a su vez conduce a un agotamiento del suelo con nitrógeno.

El suministro de suelo en este caso está garantizado por nitrobacterias y azotobacterias. Estas bacterias extraen sustancias necesarias del suelo y el agua, que forman una cantidad de energía suficientemente grande durante la oxidación. Este es el llamado proceso de quimiosíntesis, cuando la energía se usa para formar moléculas complejas de origen orgánico a partir del dióxido de carbono y el agua.

Las bacterias nitrificantes estudiadas tienen una estructura celular similar con otros microorganismos gramnegativos. Algunos de ellos tienen un sistema suficientemente desarrollado de membranas internas que forman una pila en el centro de la célula, mientras que en otros se ubican más en la periferia o forman una estructura en forma de cuenco que consta de varias láminas. Aparentemente, estas formaciones están asociadas con enzimas que están involucradas en la oxidación de sustratos específicos por nitrificadores (Garynevillegas, 2018)

2.8.1.5 Bacterias aerobicas y anaeróbicas

Las bacterias se pueden clasificar de distintas maneras. Una de las maneras se basa en su necesidad de oxígeno, es decir, en si requieren oxígeno para vivir y crecer:

- Aerobias: las que requieren oxígeno
- Anaerobias: las que tienen dificultades para vivir o crecer en presencia de oxígeno
- Bacterias facultativas: las que pueden vivir y crecer con o sin oxígeno

Las bacterias son organismos microscópicos unicelulares. Existen miles de tipos diferentes y pueden vivir en todos los medios y ambientes imaginables, en cualquier parte del mundo. Viven en el suelo, en el agua del mar y en las profundidades de la corteza terrestre. Se ha podido comprobar que ciertas bacterias pueden vivir en los desechos radiactivos. Muchas bacterias viven en los cuerpos de personas y animales, en la piel y en las vías respiratorias, la boca y los tractos digestivo, reproductivo y urinario, sin causar ningún daño. Estas bacterias inofensivas se denominan bacterias comensales, flora saprófita o microbioma.

Muchas de las bacterias de la flora saprófita en realidad son útiles para los seres humanos. Por ejemplo, ayudan a las personas a digerir los alimentos o a prevenir el crecimiento de otras bacterias más peligrosas.

Solo unos pocos tipos de bacterias causan siempre enfermedades cuando están presentes, son las conocidas con el nombre de patógenos. A veces, las bacterias que residen habitualmente en el organismo de forma inocua provocan enfermedades (por ejemplo, cuando abandonan su ubicación normal en el organismo). Las bacterias causan enfermedades mediante la producción de sustancias nocivas (toxinas), la invasión de tejidos o ambas cosas.

Las bacterias anaerobias constituyen una gran parte de la flora residente normal de las membranas mucosas, sobre todo de la boca, el tracto gastrointestinal inferior y la vagina. Dichas bacterias anaerobias pueden causar enfermedades cuando se rompen las membranas mucosas. Las bacterias anaerobias del exterior del cuerpo a veces causan enfermedades cuando entran en la piel o son consumidas.

Compostaje Aerobio :

El compostaje aerobio es un proceso exotérmico de degradación y estabilización biológica del material orgánico en presencia de oxígeno, mediante la acción combinada de una serie de poblaciones de microorganismos asociados a una

sucesión de factores ambientales, obteniendo como principales productos del metabolismo biológico: dióxido de carbono, agua y calor. La actividad microbiológica de degradación en condiciones aerobias produce del orden de 13000 kJ por kilogramo de oxígeno consumido. El proceso provoca la variación de temperatura del sistema (Zurcan, 2010).

Compostaje Anaerobio:

El compostaje anaerobio o biometanización, es la descomposición de la fracción orgánica en ausencia de oxígeno obteniendo como productos finales metano, dióxido de carbono y numerosos productos orgánicos de bajo peso molecular como ácidos y alcoholes. La materia orgánica, actúa como nutriente de microorganismos anaerobios, que la descomponen y dan como producto final biogás, compuesto por metano y anhídrido carbónico. El método anaerobio se lleva a cabo mediante digestores o fermentadores (Cuadros, 2008)

2.8.1.6 Pseudomonas fluorescentes

Es un género de bacterias Gram negativas en forma de bastoncillos que no desarrollan esporas (Compant et al., 2005), y que por sus características genéticas y amplias capacidades metabólicas pueden adaptarse y colonizar diferentes tipos de suelos.

Una característica importante es que juegan un papel fundamental en los suelos como supresores de enfermedades (Weller et al., 2002); de hecho, en un trabajo reciente, la abundancia de diversas especies de *Pseudomonas* son las responsables de suprimir enfermedades en plantas de betabel (Mendes et al., 2011). Lo anterior es un efecto indirecto al promover el desarrollo y crecimiento de la planta (Glick, 2012; Santoyo et al., 2016).

Así mismo, la síntesis de compuestos antibacterianos y fungicidas, la competencia por nutrientes, la producción de sideróforos y la inducción de resistencia sistémica, se consideran también efectos indirectos que benefician a la planta (Siddiqui y Shaukat, 2003; Alves et al., 2004).

Adicionalmente, estas cepas fluorescentes pueden ejercer un efecto directo en las plantas a través de la síntesis de fitohormonas, vitaminas, estimulación de la germinación de semillas y emergencia de plántulas, inhibición de la síntesis de etileno y solubilización de fósforo inorgánico (Santoyo et al., 2012).

En virtud de su capacidad de adaptación fisiológica y versatilidad metabólica, las rizobacterias son un agente clave del cambio de suelo en los agroecosistemas, con efectos positivos, en cuanto a tolerancia a altos contenidos de sales, aumento en los rendimientos de cultivos y mejoras en la calidad del suelo (Brown, 2010). El propósito de esta revisión es dar un panorama general del beneficio que aportan a la agricultura los microorganismos, en especial *Pseudomonas fluorescens*, que pueden ayudar en la reducción del uso de agroquímicos, manteniendo un manejo integral del cultivo.

2.8.1.7 Características generales de *Pseudomonas fluorescens*

Pseudomonas fluorescens es una especie bacteriana, Gram-negativa, con forma de bacilo, ubica e incapaz de formar esporas, tiene dimensiones que están entre 0.5-1.0 x 1.5-5 μm , presentan movilidad debido a que poseen varios flagelos polares, tienen un metabolismo energético estrictamente aerobio y una nutrición quimiorganótrofa que no requiere factores de crecimiento. Sintetizan gránulos de polihidroxialcanatos que sirven de reserva de material celular. Una de las características de esta especie es la producción de compuestos fluorescentes, de ahí el origen de su nombre.

Por ejemplo, producen pioverdina, que es un pigmento soluble en agua, presenta fluorescencia bajo luz ultravioleta y su producción es estimulada cuando el hierro es limitante en el medio. Por lo general, las condiciones para su crecimiento óptimo son temperaturas entre 25 y 30°C a un pH neutro (Palleroni, 2005).

2.8.1.8 Colonización de la rizósfera y endosfera

La colonización en la rizósfera está influenciada por los exudados radicales, como son iones, oxígeno libre, agua, enzimas, aminoácidos, mucílago,

compuestos fenólicos, entre otros. Por lo tanto, aquí encaja la definición de rizósfera; la parte del suelo donde los exudados radicales llegan a tener influencia. El término y la definición anterior de rizósfera fue introducido por Hiltner hace más de un siglo (Santoyo et al., 2012). Esta interacción conocida como quimiotaxis permite a las bacterias adherirse a la superficie radical, formar microcolonias o biofilms discontinuos (biopelículas o biocapas bacterianas) entre las células de la epidermis. En un trabajo pionero publicado por Schippers y colaboradores (1987), se propuso la importancia de colonizar espacios en dicho microambiente para permitir un control efectivo de enfermedades vegetales. *P. fluorescens* se adapta fácilmente al suelo para sobrevivir y colonizar el sistema radicular de las plantas (Santoyo et al., 2016).

Este mecanismo inicial es atribuido al movimiento flagelar, a mayor motilidad habrá mejor colonización y el grado de infección dependerá de la especie vegetal y de las condiciones de crecimiento (Bowers y Parkea, 1993). Aunque la rizósfera es un microambiente hostil para los organismos que la habitan, las especies de *Pseudomonas* del grupo fluorescente, contienen un arsenal de compuestos para combatir y luchar por ocupar los mejores nichos, aquellos donde se encuentran los nutrientes. Y no sólo eso, los factores ambientales también significan un estrés para las bacterias, tales como la salinidad, condiciones de microaerobiosis, inundaciones, contaminación por metales pesados, entre otros (Raaijmakers et al., 2002).

Un ejemplo es la síntesis de exopolisacáridos, lo cual es un factor importante para colonizar espacios y sobrevivir en la rizósfera. En particular el antígeno-O de *P. fluorescens* cepa WCS417Rr, es indispensable para colonizar la raíz y penetrar los tejidos de plantas de tomate, es decir, como endófito (Duijff et al., 1997; Glick, 2012).

El término endófito significa "dentro de la planta", y las bacterias endófitas se definen como aquellas que pueden colonizar y sobrevivir dentro de los tejidos vegetales sin causar un daño aparente (Rojas-Solís et al., 2016). Se ha propuesto que las bacterias endófitas pueden tener una comunicación más íntima y estrecha

con la planta, es decir, sus metabolitos aún a concentraciones mínimas, pueden ejercer un efecto en la planta (Ali et al., 2012; Coutinho et al., 2015).

Las bacterias rizosféricas pueden colonizar los tejidos internos de la planta a través de mecanismos pasivos o activos (Rojas-Solís et al., 2016).

Colonizar dichos espacios les permite desplazarse entre los espacios intercelulares de células epidérmicas y de la corteza, es decir, pueden llegar desde la raíz hasta el tallo, hojas, flores y heredarse a través de las semillas a las siguientes generaciones (Bais et al., 2006; Couillerot et al., 2009).

Esta zona es conocida como la endorizósfera, la parte interna de los tejidos de la raíz.

Las bacterias pueden tener diversos beneficios, así como la planta también se ve beneficiada. Es un tipo de simbiosis planta bacteria, donde las condiciones de microaerobiosis son las mejores para que organismos fijadores de nitrógeno puedan ejercer un efecto promotor del crecimiento vegetal a través de este mecanismo. En este ambiente endófito existe, hasta donde se sabe, una menor competencia por nutrientes, en un ambiente de temperatura estable y protegido de condiciones de estrés abiótico (salino o abiótico, por ejemplo) (Santoyo et al., 2016). Aunque se sabe poco sobre los determinantes genéticos involucrados en la colonización de la endósfera, se ha propuesto que las actividades celulolíticas, las glucanasas, producción de biofilm, entre otras, son importantes (Glick, 2012).

En general, la mayoría de los mecanismos directos e indirectos de bacterias rizosféricas, tales como la síntesis de antibióticos o compuestos quelantes de hierro (sideróforos) les permite a *Pseudomonas* colonizar la rizósfera, un paso anterior para llegar a los tejidos internos de la planta. Por lo tanto, cepas con gran potencial para colonizar la rizósfera, serían candidatos ideales para establecerse y sobrevivir en un ambiente endófito.

Actividades indirectas:

Inhibición de fitopatógenos desde los años 50's se propuso el uso de agentes bacterianos como biocontroladores de enfermedades vegetales (Wood y Tveit, 1955). En el caso de géneros como *Pseudomonas* los estudios claros sobre mecanismos directos e indirectos de promoción del crecimiento se propusieron a

finales de los 70's y principio de los 80's. De hecho, Kloepper y Schroth (1978), propusieron el término Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal o Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR), por sus siglas en inglés.

Un trabajo pionero fue publicado por los mismos autores donde propusieron por primera vez que cepas de *Pseudomonas fluorescens* y *Pseudomonas putida* podían quelar el hierro del medio a través de la síntesis de sideróforos y, por lo tanto, limitarlo para los demás microorganismos, incluyendo potenciales patógenos (Kloepper et al., 1980).

2.9 *Bacillus*

Clasificación:

El género *Bacillus* fue reportado por primera vez por (conh, 1972) , quien lo describió como bacterias productoras de endosporas resistentes al calor. Las especies de *Bacillus* pertenecen al Reino Bacteria; Filo Firmicutes; Clase Bacilli; Orden Bacillales y Familia Bacillaceae. Actualmente, el género incluye más de 336 especies, las cuales por su similitud genética pueden clasificarse en distintos grupos, siendo los más destacados: a) el grupo de *B. cereus*, asociado a patogenicidad, que incluye a *B. cereus-anthraxis-thuringiensis*; b) los bacilos ambientales que son caracterizados por su presencia en distintos hábitats, como el grupo de *Bacillus subtilis*, comprendido por *B. subtilis-licheniformis-pumilus*; c) el grupo de *B. clausii-halodurans*; y d) el grupo que incluye a *Bacillus* sp. NRRLB-14911-coahuile.

Ecología:

Las especies de *Bacillus* se encuentran ampliamente distribuidas a nivel mundial debido a su habilidad para formar endosporas, característica que les confiere resistencia y potencia su aislamiento en diversos hábitats, tanto ecosistemas acuáticos como terrestres, e incluso en ambientes bajo condiciones extremas (Tejera-hernandez et al, 2011). Sin embargo, el suelo es considerado el principal reservorio de este género bacteriano, debido a que la mayoría de especies de *Bacillus* son saprófitas pudiendo utilizar la gran diversidad de sustratos orgánicos presentes en el suelo, siendo ésta una matriz compleja para el

establecimiento de una gran diversidad genética y funcional de especies microbianas.

Por lo cual, múltiples especies de *Bacillus* pueden desarrollarse en los suelos, cuyos recuentos cultivables se encuentra en el intervalo de log 3 a log 6 por gramo de peso fresco de suelo, esencialmente en especies similares genéticamente al grupo de *B. subtilis* y *B. cereus*. No obstante que estudios de ARNr en suelo contradicen la abundancia relativa de especies cultivables y no cultivables de este género bacteriano (Kumar et al, 2011).

Bajo un enfoque dirigido a la sustentabilidad agrícola se han realizado escasas investigaciones con el objetivo de comprender la diversidad y dinámica poblacional específica de *Bacillus* en suelos rizosféricos, donde las comunidades bacterianas que habitan la rizósfera responden particularmente a la fertilidad del suelo y los exudados de las raíces de las plantas, los cuales varían con la fenología y genotipo vegetal, por lo que bacterias que interaccionen con las plantas y presenten capacidades asociativas, endofíticas o procesos simbióticos para adaptarse a las condiciones rizosféricas son reconocidas como potenciales inoculantes microbianos.

Rudrappa et al (2008) reportaron que la producción de biopelículas de *B. subtilis* FB17 es un mecanismo de colonización rizosférica, esto debido a su atracción por el ácido L-málico secretado por las raíces de *Arabidopsis thaliana* e inducido por el patógeno foliar *Pseudomonas syringae* pv *tomato*.

Por otra parte, Kumar et al. (2011), López-Fernández et al. (2016) y Selim et al. (2016) señalan que diversas especies de *Bacillus* pueden ser residentes de tejidos internos en plantas de uva (*Vitis vinífera*) y algodón (*Gossypium barbadense* L). Estas características tienen un papel determinante en el desarrollo, colonización y función de *Bacillus* estimulando su asociación con la planta hospedera, cuyas características de control biológico son potenciadas.

2.9.1 Principales características

Entre las características del género *Bacillus* destaca su crecimiento aerobio o en ocasiones anaerobio facultativo, Gram positivas, morfología bacilar, movilidad

flagelar, y tamaño variable (0.5 a 10 μm), su crecimiento óptimo ocurre a pH neutro, presentando un amplio intervalo de temperaturas de crecimiento, aunque la mayoría de las especies son mesófilas (temperatura entre 30 y 45 °C), su diversidad metabólica asociada a la promoción del crecimiento vegetal y control de patógenos (Tejera-Hernández *et al.*, 2011); además destaca su capacidad de producir endosporas (ovales o cilíndricas) como mecanismo de resistencia a diversos tipos de estrés (Calvo y Zúñiga, 2010; Layton *et al.*, 2011; Tejera-Hernández *et al.*, 2011)

2.9.2 Hongos

Los hongos filamentosos constituyen un grupo muy amplio. Estos pueden estar implicados durante el proceso de compostaje, participando en la degradación aeróbica de la materia orgánica debido a su alta capacidad lignocelulolítica. Asimismo, se encuentran en el suelo como parte de la microbiota normal, implicados en procesos de degradación y solubilización de compuestos orgánicos complejos y compuestos inorgánicos. En contrapartida muchas especies son causantes de enfermedades de plantas. Por lo expuesto, es importante realizar una correcta caracterización de este grupo de microorganismos, durante la utilización del compost como sustrato.

Cuadro 3 . Distribución de la microbiota durante las diferentes etapas del compostaje expresado en unidades formadoras de colonias por gramo (Haug, 1993).

Fases	Duración	Temperatura	Especies útiles	Patógenos y parásitos
Latencia	1 día	20	Bacterias, Hongos, Protozoos	Insectos, Larvas, huevos de parásitos, gérmenes patógenos, semillas de malezas
Mesófila 1	15 horas	25-30	Bacterias y hongos mesófilos y pocos termófilos	Eclosión forzada de huevos de parásitos, evolución de larvas, fuga de insectos

Termófila 1	55 horas	35-45	Hongos termófilos, sustancias antibióticas	Dstrucción de larvas de insectos, parásitos, semillas, comienzo de destrucción de patógenos
Termófila 2	12 días	65-75	Desaparición de termófilos patógenos, Aparición de bacterias termófilas y actinomicetos	Dstrucción de larvas de patógenos intestinales, coliformes, etc....
Termófila 3	15 días	75-35	Bacterias, hongos y actinomicetos termófilos	Finalización de bacterias patógenas, incluso esporuladas.
Mesófila 2	50 días	25-30	Microorganismos no patógenos.	Ausencia de patógenos

Fuente: E.Mirabelli

Numerosos estudios sobre la dinámica de la población de microorganismos se llevaron a cabo durante el siglo XX. A partir de la década de los ´90 los métodos de biología molecular han permitido describir con más detalle los microorganismos.

Ryckeboer et al. (2003) han realizado una recopilación de las especies descritas a través de técnicas dependientes de cultivo y han publicado una lista de los microorganismos aislados durante las diferentes fases del compostaje. La sucesión de estas poblaciones generalmente se asocia a la temperatura. De esta forma el proceso se ha descrito de la siguiente manera:

1.- Fase mesofílica (20-40°C) Los hongos, en particular los hongos filamentosos o mohos, y las bacterias mesófilas acidificantes son las poblaciones dominantes en los residuos orgánicos frescos. Una amplia variedad de especies han sido descritas en esta fase del proceso.

En este estadio la población de bacterias puede llegar a 100 millones de células por gramo de material. Las bacterias descritas en esta fase pertenecen a diferentes familias; *Alcaligenaceae*, *Alteromonadaceae*, *Bacillaceae*,

Burkholderiaceae, Bradyrhizobiaceae, Caryophanaceae, Caulobacteraceae, Cellulomonadaceae, Clostridiaceae, Comamonadaceae, Corynebacteriaceae, Enterobacteriaceae, Flavobacteriaceae, Flexibacteraceae, Hyphomicrobiaceae, Intrasporangiaceae, Methylobacteriaceae, Microbacteriaceae, Micrococcaceae, Moraxellaceae, Neisseriaceae, Nitrosomonadaceae, Nocardioseae, Paenibacillaceae, Phyllobacteriaceae, Propionibacteriaceae, Pseudomonadaceae, Pseudonocardiaceae, Rhodobacteraceae, Sphingobacteriaceae, Staphylococcaceae, y Xanthomonadaceae.

Uno de los géneros bacterianos predominantes en este estadio es el *Bacillus*. La diversidad de especies de este género es alta a temperaturas de hasta 50°C, sin embargo, a medida que se incrementa la temperatura disminuyen su actividad.

Con respecto a los hongos filamentosos, una alta diversidad de especies participan en este rango de temperatura (Hansgate et al., 2005). Predominando los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, seguidos de *Trichoderma*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Backusella*, *Ulocladium*, *Acremonium*, *Fusarium*, *Scopulariopsis*, *Geotrichum*, etc.

Los Actinomycetes (bacterias filamentosas) se desarrollan a tasas de crecimiento inferiores a la mayoría de las bacterias y hongos, y por tanto compiten ineficientemente cuando el nivel de nutrientes es alto. En esta fase predominan géneros de la familia *Nocardiaceae* (Hansgate et al., 2005).

2.- Fase termofílica (40-60°C) Los microorganismos mesófilos comienzan a disminuir su actividad rápidamente, una vez que se inicia la fase termófila. El incremento de la temperatura provoca una rápida transición de una microbiota mesófila a una termófila. Los microorganismos mesófilos son parcialmente eliminados a estas temperaturas y las bacterias, hongos y Actinomycetes termófilos o termotolerantes incrementan su población (De Bertoldi et al., 1983; Finstein and Morris, 1975; Waksman, et al., 1993).

Las bacterias, en especial las especies mesófilas del género *Bacillus*, sobreviven en estas condiciones a través de la formación de endosporas. Otros géneros bacterianos son capaces de engrosar la pared celular o formar una capsula exterior, protegiéndose de las condiciones adversas y permitiendo su “reactivación” cuando las condiciones sean favorables. En esta fase, los microorganismos termófilos o termotolerantes incrementan su población a valores del orden de los 100-1000 millones de células por gramo. La temperatura óptima para los hongos termófilos es de 40-50°C. Los Actinomicetes son generalmente más tolerantes que los hongos a temperaturas termófilas moderadas, y su número y diversidad se incrementa significativamente a 50-60°C (Amner et al., 1988; Fergus, 1964; Finstein and Morris, 1975; Waksman, et al., 1993; Xiao et al., 2011). Diferentes especies de la familia Streptomycetaceae, son los Actinomicetes más comúnmente aislados.

3.- Fase termofílica extrema (60-80°C) Las altas temperaturas generalmente se asocian con una dramática reducción de las diversas funciones microbianas.

La fase termófila, con temperaturas que exceden los 60°C, son habitualmente consideradas como un “suicidio microbiano”. Por lo tanto, generalmente se asume que no se deben superar los 55-60°C para lograr una rápida y eficiente descomposición. Sin embargo, la presencia y la actividad de bacterias termófilas extremas es esencial para la biodegradación y mineralización de los residuos biológicos a altas temperaturas (60-80°C). A estas temperaturas las bacterias termófilas son las únicas que se encuentran activas. La diversidad de especies disminuye pero su concentración es alta (100 a 1000 millones de células por gramo) (Dees and Ghiorse, 2001; Finstein and Morris, 1975; Finstein and Morris, 1975; Nakasaki, et al., 1985a; Sharp et al., 1991; Strom, 1985).

Una alta diversidad de bacterias heterotróficas se aislaron a partir de compost a una temperatura de 50-60°C (Fujio and Kume, 1991; Strom, 1985a; Strom, 1985b). Sin embargo, la diversidad de especies disminuye a temperaturas superiores a los 60°C. Entre los 65 y 69°C se han detectado algunas cepas de *Bacillus*

stearothermophilus (Strom, 1985a; Strom, 1985b), *B. schlegelii*, *Thermus thermophilus*, *T. aquaticus* e *Hydrogenobacter* spp.

La identificación de bacterias termófilas extremas pertenecientes al género *Thermus*, capaces de crecer sobre compuestos orgánicos a temperaturas de 50-80°C, con un óptimo de crecimiento a 65-75°C, corroboran este punto. Por lo tanto, las especies del género *Thermus* (*T. thermophilus*, *T. aquaticus*, etc.), descritas inicialmente en sitios geotermales, están probablemente adaptadas a las altas temperaturas del compost y juegan un papel importante en la biodegradación de los residuos durante la fase termófila (Beffa et al., 1996). Asimismo, las especies del género *Hydrogenobacter* han sido aisladas en estas condiciones. Estas bacterias son autotróficas, no forman esporas y crecen a 60-80°C (óptimo 70-75°C).

Obtienen su energía a través de la oxidación del azufre o del hidrógeno y sintetizan sus estructuras carbonadas a partir del CO₂ (Beffa et al., 1996). La detección de bacterias termófilas durante la fase de alta temperatura, demuestra la posibilidad de realizar el compostaje a 65-75°C por un periodo largo de tiempo, sin exceder de 80°C. Las bacterias termófilas, así como las mesófilas, actúan sobre la hemicelulosa, descomponen una variedad importante de compuestos orgánicos (carbohidratos, ácidos orgánicos, polisacáridos, proteínas, lípidos, alcoholes) y reducen el azufre inorgánico (H₂S, S₂O₃ = , SO₃ = , etc).

En esta etapa, los hongos están totalmente inactivos y su subsistencia se mantiene en estructuras de resistencia y esporas. Los Actinomycetes están a baja concentración y no juegan un papel importante en la degradación y mineralización de la materia orgánica.

4.- Fase de enfriamiento y maduración (50-20°C) El grado de maduración de un compost afecta significativamente su utilización en la agricultura. La adición de un compost inmaduro al suelo provoca una deficiencia de oxígeno, la inmovilización del nitrógeno e incrementa los problemas fitopatogénicos radiculares (Inbar et al., 1990; Zucconi et al., 1981). Sin embargo, la adición de un compost maduro beneficia la fertilidad de un suelo, su estructura, e incrementa los efectos de

control biológico (Allievi et al., 1993; Dick and McCoy, 1993; Hoitink and Grebus, 1994). Durante la fase de maduración la diversidad y el número de Actinomycetes mesófilos/termotolerantes y de hongos filamentosos capaces de degradar polímeros naturales complejos (lignina, hemicelulosa, celulosa), se incrementa significativamente (De Bertoldi et al., 1983; Finstein and Morris, 1975; Waksman, et al., 1993). La población de bacterias termófilas disminuye 1 o 2 órdenes logarítmicos en comparación con la población presente durante la fase termogénica (10^8 - 10^{10} ufc/g), sin embargo, la diversidad taxonómica y metabólica se incrementa. En esta fase las bacterias representan el 80% del recuento total de microorganismos (10^9 - 10^{11} ufc/g) y una pequeña proporción corresponde a bacterias esporuladas. Los Actinomycetes y los hongos poseen una población de 10^7 - 10^8 ufc/g (Beffa et al., 1996). Estos microorganismos son importantes en la degradación de la celulosa, hemicelulosa, quitina y proteínas. La lignina es degradada principalmente por hongos filamentosos. La mayoría de los microorganismos presentes en esta fase e implicados en el ciclo del carbono, poseen actividad proteolítica, amonificante, amilolítica y celulolítica. Asimismo, se han descrito especies fijadoras libres de nitrógeno (*Azotobacter*, 10^3 - 10^5 ufc/g), denitrificadoras, y sulfato reductoras. Esta diversidad microbiana juega un papel fundamental en la estabilidad del compost (Beffa et al., 1996). Las bacterias mesófilas que permanecieron inactivas durante la fase anterior y que resistieron las altas temperaturas, vuelven a estar metabólicamente activas y son capaces de recolonizar el sustrato. La diversidad y cantidad de bacterias capaces de “reactivarse”, depende del número de especies existentes con capacidad de formar endosporas o cápsulas. El tamaño de la población, el número de especies y la actividad metabólica de las bacterias mesófilas se incrementa. Esta respuesta favorece; la descomposición de los compuestos orgánicos, la oxidación y mineralización del nitrógeno inorgánico y los compuestos azufrados (producción de nitratos y sulfatos, respectivamente), la formación de compuestos del humus (exopolisacáridos) a través de la polimerización de compuestos orgánicos simples, la fijación del nitrógeno atmosférico, la supresión de fitopatógenos, la mineralización del hierro, manganeso y fósforo, la capacidad de intercambio

catiónico y la formación de agregados minerales. Asimismo, contribuye a la degradación de compuestos orgánicos tóxicos (pesticidas) y a la disminución de la cantidad de metales pesados a través de la formación de sales insolubles.

2.9.3 Tipos de compostaje

2.9.3.1 Compostaje aeróbico:

El proceso de biodegradación de una mezcla de sustratos orgánicos realizado por una comunidad microbiana compuesta de varias poblaciones dentro de un ambiente con provisiones de oxígeno y en estado sólido se refiere al compostaje aeróbico (Diaz et al., 2007).

El accionar de estos microorganismos eleva la temperatura en la masa de compostaje dando paso a una serie de fases y con ello diversas poblaciones de microorganismos (Mirabelli, 2008). El proceso comienza con la oxidación de la materia orgánica fácilmente degradable: ésta primera fase es llamada descomposición. La segunda fase, estabilización, incluye no solo la mineralización de las moléculas lentamente degradables, sino también incluye procesos más complejos tales como la humificación de los compuestos ligno-celulosos (Diaz et al., 2007)

2.9.3.2 Compostaje anaeróbico

La bio-conversión anaeróbica de los sustratos orgánicos es considerada como la solución biotecnológica más común debido a los beneficios de recuperación económicos y de energía (Karthikeyan y Visvanathan, 2013); además, beneficios ambientales como mitigación de gases efecto invernadero y calentamiento global (Jha et al., 2011). La digestión anaeróbica es un proceso de descomposición de la materia orgánica por un consorcio microbiano en un ambiente libre de oxígeno para producir energía renovable tal como metano e hidrógeno y también obtener un fertilizante rico en nutrientes (Chen et al., 2008; Asia et al., 2006). En la ausencia del oxígeno, las multifacéticas actividades

coordinadas de la bacteria anaeróbica Archae básicamente incluyen la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, los cuales son procesos básicos de la descomposición del metano (Li et al., 2011)

2.9.3.3 Técnica de elaboración de las compostas aeróbicas

El compostaje ocurre naturalmente después de algún tiempo, para ser eficiente requiere el control de distintos factores tales como humedad, aireación y temperatura, entre otros; y así, evitar molestos problemas como olores y polvo, para finalmente obtener un producto agrícola de buena calidad (Bernal et al., 2009). Uno de los primeros esfuerzos documentados sobre la aplicación del compostaje en el manejo de residuos orgánicos fue desarrollado en India en 1933. En este tiempo Sir Albert Howard, en colaboración con Jackson, Wad y otro trabajador desarrollaron los procedimientos de compostaje moderno en un método conocido como “Proceso Indore”, el cual en un inicio solo usaba estiércol de animales apilado a campo abierto durante 6 meses (Diaz et al., 2007). A esta técnica se le han desarrollado o incorporado mejoras para fomentar la activación de microorganismos, reducción en tiempo del proceso o evitar emisiones de gases efecto invernadero; tal es el caso de El Kader et al. (2007) que compararon voltear, compactar y adicionar agua a las pilas de compost de estiércol de vaca y pavo para reducir las emisiones de amoníaco (NH_3) y óxido nitroso (N_2O).

2.9.3.4 Factores a considerar en la elaboración de la composta

Todos los sustratos disponibles para el compostaje son de origen animal, vegetal y microbiano; generalmente los materiales provenientes de las plantas son en mayor cantidad, mientras que los componentes animal y microbiano son solo la menor fracción de algunas mezclas, pero usualmente son la fracción más rica en nutrientes (Diaz et al., 2007)

La importancia del origen de los sustratos está en relación directa con la peculiaridad de las características físicas y químicas (Ruíz, 2009). Algunas de las características físicas más importantes de los sustratos son principalmente los relacionados con el tamaño de partícula y el contenido de humedad del material

(Díaz, et al., 2007). El tamaño y la distribución de las partículas son críticos para el balance del área superficial de crecimiento de los microorganismos y la permanencia de la adecuada porosidad para la aireación (Bernal et al., 2009); el tamaño ideal de las partículas es de 1-5 cm (Ruíz, 2009; CIB, 2013) y el porcentaje del espacio poroso lleno de aire en las pilas de compostaje está en el rango de 35-50% (Bernal et al., 2009). El contenido de humedad óptima para un amplio rango de sustratos a ser composteados generalmente es del 50-60% (Bernal et al., 2009; Díaz et al., 2007; Mirabelli, 2008). Las características químicas de los sustratos están relacionadas con los nutrientes de los materiales, este tema se citará en el apartado de relación carbono/nitrógeno. Existen residuos no recomendados para el compostaje tales como residuos sanitarios, hospitalarios, infecciosos, peligrosos, animales muertos por zoonosis o enfermedades de alto riesgo, lodos de plantas de tratamiento de agua de zonas industriales y aquellos determinados por las autoridades competentes (i.e. normas oficiales mexicanas) (Ruíz, 2012).

2.9.3.4.1 Temperatura

La temperatura es uno de los factores más importantes que determinan la velocidad de las reacciones bioquímicas en el compostaje y una maduración adecuada de las compostas (Hernández et al., 2013). Díaz et al. (2007) señalan que el compostaje es un proceso biooxidativo de descomposición microbiano de mezclas de materia orgánica y por lo tanto un proceso exotérmico que produce relativamente una gran cantidad de energía y solamente el 40-50% de esta puede ser utilizada por los microorganismos para la síntesis de ATP; la energía remanente se pierde como calor en la masa de compostaje. La evolución de la temperatura en el curso del compostaje es el resultado de un balance entre el calentamiento debido a las actividades de los microorganismos y las pérdidas debidas a los intercambios con el medio exterior (Ruíz, 2009). Los cambios de temperatura en el proceso de producción de composta determinan la abundancia y diversidad de los grupos microbianos predominantes (Bernal et al., 2009), así

como también en función de la composición del sustrato y de la naturaleza de los intercambios térmicos (Ruíz, 2009). Esta actividad microbiana, divide el proceso en fases: mesófila, termófila, de enfriamiento y maduración; Oviedo et al. (2014) reportaron este comportamiento típico de fases secuenciales de temperatura en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. El sobre calentamiento inicial no debe sobrepasar 60- 70°C (Diaz et al., 2007). Las altas temperaturas son capaces de eliminar patógenos (Szavobá et al., 2010), pero también son capaces de terminar con la flora benéfica y desnaturalizar a las enzimas responsables de la degradación (Acosta et al, 2012b). Esta condición al igual que la humedad y el pH, determinan el éxito en el proceso de compostaje aeróbico. Por otro lado, dependiendo del tratamiento que se le dé a la pila del compost serán las variaciones de temperatura, Ahn et al. (2011) reportaron que después de cada volteo de la pila había un descenso en la temperatura pero seguidamente regresaba a un ligero nivel más bajo que la temperatura anterior al volteo; este fenómeno también fue reportado por otros autores. Brito et al. (2008) reportaron temperaturas termófilas (>65°C) durante un mes del proceso de compostaje de la fracción sólida de estiércol de ganado bovino en todos sus tratamientos. Costa et al. (2014) reportaron temperaturas más bajas en las hileras de compostaje que contenían mayor cantidad de cama de ovejas, ya que las características granulométricas y el tamaño de partícula de este material contribuía a promover mayor aireación y retenía poco calor en la hilera de compostaje.

2.9.3.4.2 Humedad

El agua es esencial para todas las actividades microbiológicas y debe estar presente en cantidades apropiadas en todo el ciclo de compostaje; el contenido óptimo en el material inicial varía, y esencialmente depende sobre el estado físico y tamaño de las partículas y del sistema de compostaje usado (Diaz et al., 2007). El material a compostear debe tener entre un 50-60% de humedad, como regla general, el óptimo de la actividad microbiana se logra cuando la máxima cantidad de agua, no restringe la utilización del oxígeno (Mirabelli, 2008). Bernal et al.

(2009) comentan que la humedad varía de acuerdo al desecho a compostear. Oviedo et al. (2014) reportaron que la frecuencia de volteo de las pilas de biorresiduos de origen municipal con alto contenido de humedad inicial favoreció a la reducción de la misma y permitió mayor degradación de la materia orgánica. Humedad en un rango menor al 30% inhibe la actividad bacteriológica, también un exceso de humedad mayor al 65% resulta en una lenta descomposición (Bernal et al., 2009), producción de olor en bolsas anaeróbicas y pérdida de nutrientes (Trautmann, 2000).

Kulcu y Yaldiz (2007) reportaron una humedad entre el 64- 65% al inicio del proceso de compostaje de estiércol de cabra y al final el contenido de agua tuvo variaciones de acuerdo a la proporción de desechos utilizados en las mezclas composteadas durante 21 días; la mezcla de 45% estiércol de cabra, 45% de paja de trigo y 10% de conos de pino tuvo una pérdida mayor cerca del 45%. Un producto final que esté bien humificado, debe poder retener hasta una vez y media su propio peso en agua (Mirabelli, 2008).

2. 9.3.4.3 Aireación

La aireación es uno de los factores más importantes del proceso de compostaje porque éste es básicamente una transformación aeróbica de la materia orgánica donde el oxígeno es consumido y se producen gases como vapor de agua y dióxido de carbono (El Kader et al., 2007), además sirve para el adecuado control de la humedad por lo que resulta muy importante la selección del método de aireación y depende de la naturaleza del sustrato, siendo los más comunes el volteo de pilas o la aireación forzada (Oviedo et al., 2014). Bernal et al. (2009) en su revisión de literatura comentan que la aireación controla la temperatura, elimina el exceso de humedad y dióxido de carbono, además provee oxígeno para los procesos biológicos. Kulcu y Yaldiz (2007) comentaron que el principal problema de los sistemas de aireación es que la distribución del oxígeno no es homogénea en la pila de compostaje y eso podría provocar acumulación de dióxido de carbono y condiciones anaeróbicas dentro de la pila. Por tal razón,

estos autores evaluaron diferentes proporciones de conos de pino agregados a las mezclas de estiércol de caprino con paja de avena para determinar la proporción de mezcla óptima para valores adecuados de espacio de aire libre para el compostaje, encontrando que 10% de conos de pino, 45% de estiércol caprino y 45% de paja de avena fue la mejor. Lazcano et al. (2008) compararon la efectividad del compostaje agregando aire forzado a la trinchera de estiércol contra vermicompostaje para la estabilización biológica de estiércol de vaca, encontrando que el compostaje tuvo una mayor biomasa y actividad microbiana ($2.7 \cdot 10^4$ y $4.8 \cdot 10^3$ mg CO₂ kg⁻¹ MO, respectivamente) que el vermicompostaje ($2.5 \cdot 10^4$ y $4.2 \cdot 10^3$ mg CO₂ kg⁻¹ MO, respectivamente). Guo et al. (2012) concluyeron que la tasa de aireación fue el mejor factor que influenció la estabilidad de compost obtenido de la mezcla de heces de cerdo y paja de maíz. Por otro lado, demasiada oxigenación puede provocar pérdidas de nitrógeno por volatilización, Cook et al. (2014) reportaron mayores pérdidas de nitrógeno total en las pilas de compostaje de purines de cerdo volteadas más frecuentemente durante el otoño.

2.9.4 Relación carbono/nitrógeno

El balance nutricional es principalmente definido por la relación carbono/nitrógeno (C/N), el cual es requerido por los microorganismos como fuente de energía (carbono orgánico degradable) y nitrógeno para su desarrollo y actividad (Bernal et al., 2009). La relación C/N para iniciar el compostaje, debe estar comprendida entre 30 a 45/1 (Mirabelli, 2008). La adecuada relación C/N para el compostaje está en el rango de 25-35, porque está considerado que los microorganismos requieren treinta partículas de carbono por una de nitrógeno (Bernal et al., 2009; Diaz et al., 2007). Alta relación C/N hace el proceso más lento porque hay un exceso de sustrato a degradar para los microorganismos. Pero con baja relación C/N hay un exceso de nitrógeno por carbono degradable y nitrógeno inorgánico es producido en exceso y puede ser perdido por volatilización de amonio (NH₄⁺) o por lixiviación desde la masa del compostaje (Diaz et al., 2007; Mirabelli, 2008).

Sin embargo, una baja relación C/N puede ser corregida adicionando un agente que aumente el volumen en la provisión de carbono orgánico degradable (Diaz et al., 2007). La relación C/N indica el grado de descomposición de un desecho, como el carbono es perdido como CO₂ durante la biooxidación, mientras el nitrógeno es perdido a una tasa menor, y por tanto mayor descomposición de un desecho, menor relación C/N (Lazcano et al., 2008). El estiércol bovino tiene un alto contenido de carbono mientras que el estiércol de pavo tiene un alto contenido de nitrógeno, por este contraste en la proporción C/N estos dos estiércoles pecuarios fueron escogido por El Kader et al. (2007) para evaluar las emisiones de gases (amoníaco y óxido nitroso) con diferentes técnicas de compostaje tales como: volteo, compactación y adición de agua. La compactación y adición de agua pueden usarse para mejorar el control de las emisiones después del volteo.

2. 9.5 Maduración, estabilización y contenido nutricional de la composta

El principal requerimiento de un compost para ser usado seguramente en el suelo es un alto grado de estabilización y maduración, los cuales implican un contenido estable de MO y la ausencia de compuestos fitotóxicos, plantas y microorganismos patógenos (Bernal et al., 2009).

2. 9.6 Microorganismos que intervienen en la descomposición de sustancias carbonadas

- **Almidon**

El almidon desaparece cuando se expone a la actividad de la comunidad del suelo y los compost. Su descomposicion se realiza a mayor velocidad que en la celulosa, hemicelulosa y varios otros polisacáridos.

En condiciones limitadas y provision de oxigeno, ocurren fermentaciones y no oxidaciones completas y puede generar acido lactico, acetico y butírico. El proceso es continuo a buen ritmo aun bajo condiciones de anaerobiosis total, pudiendo liberarse una apreciable cantidad de metano .

Intervienen en la descomposición de este compuesto, algunos microorganismos tales como:

Bacterias: Bacillus, Clostridium, xytophaga, flavobacterium, pseudomonas.

Actinomicetes: Nocardia, Streptomyces

Hongos: Aspergillus, Fomes, Fusarium, rhizopus

El almidón es un excelente proveedor de carbono para la mayoría de los actinomicetes (25-95%)

El compostaje de sustancias ricas en almidón realizado sin una aireación deficiente y con grandes cantidades de material, puede generar gases ricos en amoníaco que pueden ser muy tóxicos a las lombrices, especialmente si se utilizan en gran proporción en los criaderos alimentados por residuos familiares, donde son comunes trozos enteros de papas, zanahorias, batatas etc...

- Celulosa

Constituye el 15% del peso seco de las leguminosas y gramíneas jóvenes y más de un 50% en los materiales leñosos.

El número de especies que intervienen, no es muy numeroso, pero sí muy variado. En ambientes alcalinos dominan los actinomicetes y en ambientes ácidos los hongos.

- Hemicelulosas

Cuando los restos vegetales se incorporan al compost, la fracción de estas sustancias desaparecen inicialmente a una tasa muy rápida, pero la degradación posterior parece más lenta.

La destrucción se acelera con mayor aireación, siendo apropiado una adecuada cantidad de N para satisfacer la relación C/N.

La putrefacción de paja y estiércol parece consistir en cepas de bacillus. A 65 grados centígrados los termófilos son muy eficientes.

- Lignina

Es el tercer constituyente más abundante en los tejidos vegetales, vasos de conducción, tejidos de sostén como las paredes secundarias y algo también en hongos: Humicola, Aspergillus y gliocadium.

Representa un 60% de la celulosa, con la cual esta asociada.

- Taninos

Compuestos muy abundantes especialmente en las coníferas. Una alta proporción de estos compuestos puede hacer mas lento el proceso de descomposición del resto de los residuos del compost, por la toxicidad provocada a los organismos o por formación de complejos resistentes en el sustrato.

- Quitina

Es el polisacárido mas común en la naturaleza cuya unidad básica es un grupo amino y un azúcar: glucosamida, constituyendo un elemento muy importante del exoesqueleto de los insectos, paredes de algunos hongos y algas.

2.9.7 Normatividad

En México la regulación y vigilancia gubernamental sobre el uso y manejo de excretas animales es escasa y confusa, ya que solo se especifican ciertas normas sobre descargas de contaminantes al agua, restando importancia a emisiones a la atmósfera y contaminación del suelo (Pinos et al., 2012).

La Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal, es uno de los grandes esfuerzos por implementar regulaciones en este tenor, sirviendo como base para la elaboración de composta y características generales que deben cumplir los productos obtenidos.

De la misma manera, la Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS-2006, que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelo elaborados a partir de residuos orgánicos, emitida por la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, es otro apoyo para requisitar las características fisicoquímicas y sanitarias de los mejoradores de suelo obtenidos a partir del compostaje de residuos orgánicos.

Cuadro 4. Características generales que debe cumplir los tipos de compostas.

Parámetro	TIPO DE COMPOSTA		
	A	B	C
Uso recomendado	Sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta	Agricultura ecológica y reforestación	Paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación
Humedad	25-35 % en peso		25-45 % en peso
pH	6.7 – 7.5	6.5 – 8	
Conductividad eléctrica	< 4 dS/m	< 8 dS/m	< 12 dS/m
Materia orgánica	> 20% MS		> 25 % MS
Carbono total	Debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado		
Nitrógeno total % MS			
Relación C/N	< 15	< 20	< 25
Macronutrientes (NPK) En % MS	De 1% a 3% en cualquiera de ellos y su suma \leq 7%: portará la leyenda “Composta -mejorador de suelos. Si cualquiera excede 3% o la suma es mayor a 7% Debe portar la leyenda “Composta para nutrición vegetal” y se indicarán las cantidades para cada macronutriente.		
Granulometría	\leq 10mm	\leq 30 mm	
Fitotoxicidad (IG)	IG \geq 85 %	IG \geq 75 %	IG \geq 60 %
Diferencia de temperatura con el ambiente medida a una profundidad \geq 50 cm	\leq 10°C		\leq 15°C

Fuente: Extraído de NADF-020-AMBT-2011

Cuadro 5. Requisitos químicos y sanitarios para los mejoradores de suelo

Características	Método de determinación	Resultados
Parámetros Químicos		
pH	NMX-AA-025-1984	6.5 A 8.0
Materia orgánica	NMX-AA-021-1985	mayor a 15%
Relación carbono-nitrógeno	NMX-AA-067-1985	menor a 12
Fosforo	NMX-AA-094-1985	mayor a 0.1% ó 1000 partes por millón
Potasio	Acetato de amonio pH 7 Anexo I	mayor a 0.25% ó 2,500 partes por millón
Relación potasio- sodio	Extracción con acetato de amonio pH 7 por absorción atómica o flamometría Anexo I	mayor a 2.5
Parámetros microbiológicos		
Hongos fitopatógenos	Siembra en agar dextrosa papa Anexo II	Ausente
Huevos de helmintos g en base seca ⁽¹⁾	Anexo III	Menor a 10
Coliformes fecales NMP ⁽²⁾ /g en base seca	Anexo IV	Menor a 1000
Salmonella spp G en base seca	Anexo V	Menor a 3

(1) Huevos de helmintos viables; (2) Número más probable. Fuente: Extraído de NTEA-006-SMA-RS-2006

2.9.8 Utilización de las compostas

El objetivo de la producción de compostas es por un lado, reducir la fracción orgánica de los residuos y por el otro producir humus con el que se pueden enriquecer los suelos de cultivo (Ruíz, 2009).

El uso de las compostas brinda beneficios que se pueden clasificar de acuerdo con Labrador (1996) de la siguiente manera:

En el suelo:

- Mejora la estructura permitiendo una mayor aireación e infiltración del agua.
- Retiene mayor humedad y facilita el trabajo de la tierra.
- Evita la compactación del suelo.
- Incrementa las poblaciones microbianas benéficas y la actividad biológica del suelo.
- Aumenta el contenido de humus en el suelo.
- Disminuye la temperatura del suelo, donde ésta es muy alta.

En las plantas:

- Facilita la absorción de nutrimentos.
- Proporciona nitrógeno, fósforo, potasio y microelementos como el hierro, cobre, zinc y magnesio necesarios para su desarrollo.
- Favorece el crecimiento y la resistencia a plagas y enfermedades; los frutos y semillas son más y de mayor calidad.
- Puede ser usada como medio de trasplante y producción de plántula.

Para el hombre:

- Se aprovechan los restos orgánicos para obtener un producto final muy útil para el desarrollo de las plantas.
- No se genera contaminación en el proceso, y se reduce el volumen de residuos domésticos.

- Hay un ahorro en fertilizantes químicos; al tener plantas más fuertes el requerimiento es menor, significando un ahorro económico y cuidado al ambiente.

Sin embargo también existen desventajas que se derivan de los costos de instalación y mantenimiento, requerimientos de un agente de carga y requerimientos de áreas grandes para almacenamiento y operación (Bernal et al., 2009).

Parkinson et al. (2004) resalta que el compostaje de estiércoles es justificable cuando éstos necesitan una estabilización parcial y también cuando se produce compost de alta calidad, ya que compensa los costos de producción.

III . JUSTIFICACION

En la actualidad el planeta Tierra está viviendo los estragos del cambio climático situación que altera de manera importante las diferentes actividades económicas de la humanidad, siendo las actividades económicas primarias las más afectadas resaltando en el campo la agricultura y ganadería, donde las alteraciones del clima han provocado un sinnúmero de pérdidas en la agricultura, dificultades para cultivar diferentes semillas ante las inclemencias del clima entre otras situaciones que repercuten en la ganadería principalmente, ya que se alteran los costos para la alimentación del ganado y se atraviesa la escasez de forrajes para este fin en las diferentes regiones del mundo.

Lo anterior genera la demanda de nuevas tecnologías que permitan manejar eficientemente los recursos naturales ante la presencia de los cambios climáticos. Una alternativa técnica y económicamente viable es la elaboración de compost y vermicompost hecha a partir de estiércol equino y estiércol bovino.

Por lo anterior, la presente propuesta plantea probar cuál de las dos alternativas de estiércol es la más viable para la alimentación y resultados de vermicompost de eisenia foetida.

El sur del estado de México, se ubica en una región donde las condiciones medioambientales pertenecen a trópico seco, donde se tiene una época seca bien definida que va de noviembre a Junio (siete meses), época en la que la elaboración de compost sería la más adecuada por ser al aire libre y ausencia de agua de lluvia por lo tanto la elaboración de vermicompost es una alternativa de solución y beneficios a ciertos cultivos que necesiten de nutrientes beneficios que este pueda aportar.

La importancia de los abonos orgánicos(vermicompost) y su protagonismo en el rescate de los suelos es respaldada continuamente a partir de investigaciones que

le atribuyen a este producto muchos efectos positivos, como aumento en el intercambio catiónico, aporte nutritivo, y estabilidad estructural.

Escobar, Monsalve y Medina (2009) quienes recomiendan el uso de este compuesto para el manejo de suelos altamente degradados ya que han podido constatar que la adición de materia orgánica llamada lombricompost o vermicompost le restituye al suelo su equilibrio y le devuelve en alguna medida sus condiciones iniciales transformadas por los procesos agrícolas.

Algunos beneficios que trae consigo el uso del vermicompost son los siguientes:

- Ayudan a mantener y aumentar el contenido de la materia orgánica en los suelos.
- Promueven el reciclaje de nutrientes.
- Mejoran la disponibilidad de los nutrientes en los suelos ácidos.
- Incrementan la capacidad de intercambio catiónico del suelo.
- Estabilizan la reacción del suelo, debido a su alto poder de regulación (buffer).
- Mejoran las propiedades físicas del suelo: estructura, porosidad, retención de humedad.
- Reducen la erosión hídrica y eólica del suelo.
- Aportan microorganismos benéficos, enzimas y otros metabolitos que participan en la transformación de la materia orgánica.
- Son fuente de fitohormonas que aportan al desarrollo y crecimiento de las plantas.

Se ha demostrado que la adición del vermicompost a los suelos y sustratos de cultivo incrementa considerablemente el crecimiento y la productividad de una gran cantidad de cultivos hortícolas tales como el tomate, la lechuga, los pimientos, los ajos, las fresas, algunas plantas medicinales, algunas leguminosas como el garbanzo verde, algunas gramíneas como el sorgo y el arroz, algunas hierbas aromáticas como la albahaca, algunos frutales como el plátano y la

papaya, y algunas plantas ornamentales como los geranios, los taje, las petunias, los crisantemos y las flores de pascua (Arancon et al. 2008)

A diferencia de los fertilizantes minerales, el vermicompost constituye una fuente de nutrientes de liberación lenta, que se van poniendo a disposición de la planta a medida que ésta los va necesitando. Además, la adición de vermicompost puede producir una mejora significativa en las propiedades físicas tanto de los sustratos artificiales de cultivo como del suelo.

Por otra parte, la aparición de otros trabajos ha puesto de manifiesto que los efectos del vermicompost podrían no reducirse a los meramente físicos y/o químicos y señalan la posible existencia de mecanismos biológicos de estimulación del crecimiento vegetal. Scott (1988) observó que la adición de pequeñas dosis de vermicompost al medio de cultivo de las especies ornamentales ***Chaemocypris lawsonian***, ***Elaeagnus pungens***, ***Cupressocypris leylandii***, ***Phyracantha spp.***, ***Cotoneaster conspicus*** y ***Viburnum bodnantense*** producía incrementos significativos en el crecimiento respecto a un medio control suplementado con una dosis de nutrientes equivalente.

Edwards & Burrows (1988) señalaron que el crecimiento de varias especies ornamentales, cultivadas en los sustratos originados tras el procesamiento de residuos orgánicos por la especie de lombriz ***Eisenia fetida***, fue mucho mayor de lo esperable para ser causado únicamente por la modificación en la disponibilidad de nutrientes por la acción de las lombrices. Señalaron además que estos efectos se mantenían aun cuando el vermicompost era diluido en proporción 20:1 con otros materiales de cultivo, y el contenido de nutrientes era igualado al de los fertilizantes minerales. Además, el patrón de crecimiento de las plantas, que incluía alteraciones en el desarrollo foliar, en la elongación de la raíz y del tallo, y floración, apuntaba a la posible existencia de algún factor biológico distinto al del aporte de nutrientes, como la producción de sustancias capaces de influenciar el

crecimiento vegetal (ácidos húmicos, enzimas libres), como responsables de estos efectos.

IV . HIPÓTESIS

El vermicompost de *Eisenia foetida* a base de estiércol precompostado de equino presenta mayor contenido de microorganismos benéficos que el vermicompost a base de estiércol precompostado de bovino, lo anterior debido al alto contenido de fibra por la naturaleza de alimentación.

V. OBJETIVOS

5.1 General

- Evaluar las características microbiológicas del compost y vermicompost de *Eisenia fétida*, alimentadas con estiércoles pecuarios, como estrategia del manejo de estiércol equino y bovino para la producción de abonos orgánicos

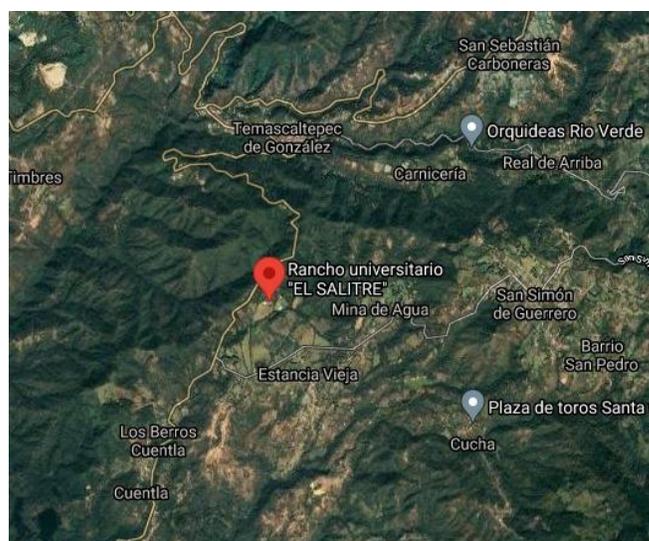
5.2 Específicos

- Describir las Etapas de producción del proceso de compostaje y vermicompstaje
- Identificar los microorganismos benéficos presentes en los procesos de compost y vermicompost.

VI. MATERIALES Y METODOS

6.1 Localización del área experimental

Los estiércoles se recolectaron en los corrales del rancho del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, localizado en el municipio de San Simón de Guerrero (100°6'27" O y 19°2'8" N), en el sur del Estado de México. El estiércol equino contiene paja de avena (20 %) y el estiércol de bovino rastrojo de maíz (10 %).



6.2 Proceso del compostaje

De cada tipo de estiércol se pesaron 1,200 kg en una báscula línea industrial (marca: Nuevo León® S.A. de C.V) y se formaron 6 pilas cónicas de 100 kg; el Estiercol bovino fue de 0.8 m de alto y 1.0 m de diámetro en la base, y el Estiercol equino 1.0 m x 1.0 m. Las pilas se humedecieron al 80 % con agua potable y se mantuvo durante todo el proceso; se acomodó sobre una película plástica de polietileno bajo la sombra de árboles de *pinus*. Se utilizaron un medidor de humedad (Kelway®).

Las pilas se voltearon los días 15 y 30 después de iniciado el compostaje; se utilizó una pala Trupper® redonda (20 3/8" x 11 1/2"). De cada pila se tomaron al azar dos muestras de 1 kg de composta a diferentes profundidades, las cuales se identificaron y colocaron en bolsas de plástico de cierre hermético (Ziplock®, 27 x 28cm), se depositaron en una hielera y se trasladaron al laboratorio para su análisis.



FIGURA 1. PILAS DEL COMPOSTAJE



FIGURA 2. MEDICION DE TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD ELECTRICA



FIGURA 3. PILAS DE VENTILACION CON 2 METODOS : MANUAL Y CON TUBOS



FIGURA 4 . VOLTEO MANUAL



FIGURA 5. METODO DE VENTILACION POR TUBOS

6.3 Proceso de vermicompostaje

De cada compost se pesaron 240 kg en una báscula industrial; todo el compost se dividio en cuatro partes de 60 kg, cada una se colocó por separado en un vermirreactor (2.5 m x 1.0m x 0.90m) construidos con bloques de cemento. Cada uno se inoculó con 80 lombrices cliteladas de *Eisenia fetida* (Leduc, Whaen, Sunahara, 2008: 221) y se cubrió con una película plástica negra (polietileno). Cuando las lombrices consumieron totalmente las compostas (Ce y Cb), 60 días después de la inoculación, el vermicompost de cada vermirreactor se homogeneizó utilizando una pala Trupper® (20 3/8"x 11 1/2") y se tomó al azar una

muestra de 1 kg en cada vermirreactor. La identificación y traslado de las muestras son similares al de las compostas.

6.4 Análisis microbiológico

Para el conteo de bacterias (aeróbicas, anaeróbicas y nitrificantes) y hongos (*Trichoderma* sp. y *Aspergillus* sp.), cada muestra se suspendió en agua destilada estéril y se centrifugó para ser sometida a dilución seriada (10⁻⁵). Alícuotas de 100 µl fueron diluidas en placas de medio BK (bacilos de Koch) para identificar la presencia de mycobacterias y en medio ELMAR; PDA (agar papa dextrosa) y PDAAL, respectivamente, para la obtención de colonias de hongos y bacterias. Las cajas petri fueron incubadas a 28 °C. Para la cuantificación de actinomicetos la muestra se homogeneizó y se añadió una solución tamponada, después se hicieron diluciones en serie y se incubaron a temperatura ambiente por 2 horas. Las diluciones se sembraron en agar nutritivo y se incubaron a 30 °C (Knoop, Figueiredo, Lopes, Shiedeck, 2015: 59). La identificación de especies se realizó mediante observación morfológica, tinciones y exposición a la luz UV.

6.5 Análisis estadístico

Los datos de las variables físicas, químicas y microbiológicas se reportaron en promedios. Para analizar las variables de dinámica se utilizó un diseño completamente al azar a través de un ANOVA, donde los tratamientos son los tipos de vermicompost. Se emplearon el comando del modelo general lineal (GLM)

del programa MINITAB reléase 12.21, y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Características físicas y químicas de los compost y vermicompost

Las características físicas y químicas de los compost y vermicompost se presentan en el cuadro 1. El pH entre las compostas presentó variación, el estiércol de equino presentó menor pH (7.7) respecto al estiércol de bovino que presentó mayor pH alcalino (9.2).

La alcalinización en el compost es resultado de la producción amoniacal y la liberación de bases (Ruíz 2012).

Valores alcalinos en el pH (7.5 a 8.5) del compost de la fracción sólida de bovinos fueron reportados por Brito, Mourao, Coutinho, Smith, (2008) atribuidas al efecto de amortiguamiento de los bicarbonatos.

Roca et al., (2009) indican que el aumento de pH de un sustrato orgánico se debe a la actividad de los microorganismos que descomponen la materia orgánica y por la liberación de iones hidroxilo en el medio.

La actividad de las lombrices modifica el pH de los sustratos haciéndolos ligeramente alcalinos, lo cual quizá se deba a la excreción de amonio en el interior del intestino o a la acción de las glándulas calcíferas que liberan Ca para equilibrar su pH (Ferrera, Alarcón, 2014).

En este trabajo el valor de pH fue alcalino en ambos vermicompost (Ve 8.4 y Vb 8.7).

Durán (2006) reporto similares valores de pH de 7.8 en vermicompost de estiércol bovino, relacionado con la función de las glándulas calcíferas localizadas alrededor del esófago de la lombriz, las cuales secretan carbonato cálcico y producen una digestión alcalina, obteniéndose valores de pH alcalinos.

Los resultados de Conductividad eléctrica de la vermicomposta equina se encuentra dentro de los valores reportados por la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 para Conductividad eléctrica (≤ 4 dS m⁻¹), sin embargo, en el Vermicompost

equino, la Conductividad eléctrica rebasa los valores (6.1 dS m⁻¹) lo cual se relaciona con la suplementación con sales minerales que recibieron los bovinos.

La Conductividad eléctrica del compost disminuyó con el efecto del vermicompostaje; la Conductividad eléctrica del Compost equino fue mayor (2.5 dS m⁻¹) respecto al valor del Vermicompost equino (1.9 dS m⁻¹). En el Compost bovino la Conductividad eléctrica fue de 12.2 presentando la misma tendencia de disminución en el vermicompost bovino (6.1).

Cáceres et al., (2006) reportaron valores altos (4.7 dS m⁻¹) en Conductividad eléctrica al final del proceso de compostaje de la fracción sólida de estiércol bovino, atribuyéndolo a la suplementación que recibieron los animales, la cual contenía sales minerales.

Hernández *et al.* (2006) reportan valores de Conductividad eléctrica inferiores a los presentados en este trabajo (3.13 dS m⁻¹) en el estiércol de bovino composteado a diferentes niveles de humedad.

Galindo *et al.* (2014) mencionan que un descenso en la Conductividad eléctrica se debe al lavado de nutrientes (lixiviado) por un exceso de humedad.

Resultados similares de Conductividad eléctrica en la Vermicompost equino (1.9 dS m⁻¹) reportaron Rotondo *et al.* (2009) en un estudio realizado en vermicomposta elaborada con una mezcla de residuos de casa y composta de equino, registrando valores de Conductividad eléctrica de 0.42dS m⁻¹.

La Densidad aparente en el Compost equino fue de 0.3 g.cm⁻¹ y en Vermicompost equino de 0.4 g.cm⁻¹; resultados similares de Densidad aparente en Vermicompost equino reportaron Rotondo *et al.* (2009) para vermicompost de equino (0.42 g. cm⁻¹), este valor es atribuido a la porosidad del material inicial (estiércol).

La Densidad aparente del Compost bovino (0.4 g/cm⁻¹) y Vb (0.6 g.cm⁻¹). La Densidad aparente del vermicompost de bovino (Vb) presentó menor densidad aparente a la reportada por Domínguez (2013) (0.95 g/cm¹) en la composta de

una mezcla de estiércol de bovino al 50 % más cachaza de caña de azúcar, debido a un mayor tamaño de partícula, lo que hace más tardado el proceso de fragmentación que realiza la lombriz.

Cuadro 6. Características físicas y químicas de composts elaborada con estiércol equino y bovino y vermicomposts de Eisenia fétida alimentada con composta de equino y bovino (Ve y Vb),

Sustrato organico	Compost		Vermicompost	
	Ce	Cb	Ve	Vb
Parametro				
Ph	7.7	9.2	8.4	8.7
CE ds ⁻¹	2.5	12.2	1.9	6.1
Da (g/cm ³)	0.3	0.4	0.4	0.6
MO (%)	71.2	66.4	73.7	67.1
Co (%)	24.9	38.5	21.3	38.9
C/ N	27.6	21.4	16.3	12.5
Nt	0.9	1.8	1.3	3.2
P (ppm)	2,480	6,560	1,920	7,440
CL (ppm)	2,836	19,852	2,836	6,381
Na (ppm)	1,460	9,700	1,070	4,000
Ca (ppm)	9,800	27,200	3,500	42,200
Mg (ppm)	2,600	10,200	1,800	10,800
Fe (ppm)	3,000	3,050	2,360	3,260
Zn (ppm)	51	340	46	460
Cu (ppm)	10	51	3	46
Mn (ppm)	245	480	148	680
B (ppm)	1,020	1,320	180	207.5
K (ppm)	12,000	35,000	8,000	17,200

CE: conductividad electrica

Fe: hierro

Da: densidad aparente

Zn : zinc

MO: materia organica	Cu: cobre
Co: carbono organico	Mn: manganeso
Nt: nitrogeno total	B: boro
C/N : relacion carbono nitrogeno	K: potasio
P: fosforo	ppm: partes por millon
Cl: cloro	Ce: compost equino
Na: sodio	Cb: compost bovino
Ca: calcio	Ve: vermicompost equino
Mg: magnesio	Vb: vermicompost bovino

La relación C/N de los compost (Compost equino y Compost bovino) presentó disminución con respecto al vermicompost. La relación de C/N del compost equino (Ce) fue de 27.6 y del Vermicompost equino fue de 16.3. El Compost bovino presentó una C/N 21.4 y el Vermicompost bovino de 12.5.

Costa *et al.* (2014), reportaron mayores relaciones C/N (34 y 28) a lo encontrado en los dos compost evaluados en este trabajo, en compostas de estiércol ovino que contenía paja como cama y estaba mezclado con estiércol bovino en proporción 0:100 y 25:75., Gupta, Garg (2009) reportan relación C/N de 11.3 en el vermicomposteo de estiércol de vaca, relacionándolo a la microbiota que aportan las lombrices que, entre mayor sea el consumo de nitrógeno y carbono, aumentará este valor.

El Vermicompost bovino, presentó mayor cantidad de macronutrientes y micronutrientes respecto al compost.

El Vermicompost equino presentó menor contenido de macro (P, K) y micronutrientes (Na, Ca, Mg, Fe), lo cual indica que con el proceso de vermicompostaje los nutrientes disminuyeron.

Garg, Chand, Chillar, Yadav (2005), reportaron menor valor de P (fosforo) al reportado en este trabajo (0.70 ppm) en la vermicomposta de estiércol de equino, y lo atribuyen al material o sustrato del que se elabora la vermicomposta.

Cook *et al.* (2015) reportaron un incremento en Al, Ca, Fe, K y S, así como una disminución en la concentración de N, P, Mg y Zn en algunos de sus tratamientos en el compostaje de una mezcla de purines de cerdo con aserrín, durante dos estaciones del año (otoño y verano).

Hernández *et al.* (2006), mencionan el contenido de P, K y Ca en la vermicomposta, dependen del sustrato orgánico con el cual es alimentada la lombriz reportando en vermicompost de estiércol de bovino valores en ppm de Ca (3380), Mg (5120), Zn (1.7), Fe (0.80), Mn (6.5), Cu (1.02), siendo valores menores a los obtenidos en este trabajo.

Eulloque (2013) menciona que los iones metálicos, principalmente Zn, Fe, Mn y Cu en el vermicomposteo tienden a generar reacciones con otros compuestos tales como metales pesados o compuestos tóxicos, participando en su inmovilización y degradación o persistencia al ser aplicados en el suelo.

El contenido de Cloro se encuentra relacionado directamente con la Conductividad eléctrica, ya que nos habla del contenido (toxico o benéfico) de sales que están presentes en el vermicompost.

La norma mexicana para humus de lombriz (NMX-109-SCFI-2008) especifica que éste debe estar libre de cualquier metal o ion metálico que pudiera representar cierto nivel de toxicidad al ser aplicado al suelo, ya que podría repercutir en la fertilidad y recuperación de este. En este trabajo el valor de Cu en el vermicompost de bovinos, rebasó los valores permitidos.

7.2 Características microbiológicas del vermicompost

Las características microbiológicas de las vermicompost de *E. fetida* alimentada con composta de estiércol equino (Ve) y con composta de estiércol bovino (Vb) se presentan en el cuadro 3.

En este trabajo el Vermicompost equino presentó mayor cantidad de bacterias, hongos y actinomicetos. Los hongos se encuentran en mayor cantidad cuando los componentes de la celulosa, hemicelulosa y lignina son degradados más lentamente (De Boer, Folman Summerbell Boddy, 2005).

En este trabajo el Ve presentó mayor relación C/N lo que se relaciona con el mayor contenido de actinomicetos.

Cuadro 7. Características microbiológicas de vermicompost de *Eisenia fétida* elaborados a partir de estiércol equino (Ve) y estiércol bovino (Vb)

			Ve		Vb
Bacterias UFC/g o ML de muestra					
Aerobicas			26,266,667		19,600,000
Anaerobicas			260,000		73,333
Nitrificantes			4,000,000		1,366,667
<i>Pseudomonas flouroscentes</i>			333,333		266,667
<i>Bacillus spp.</i>			1,170,000		1,426,667
Hongos propagulos/g o ml de muestra					
<i>Aspergillus sp.</i>			14,333		4,667
Actinomicetes propagulos/g o ml de muestra					
<i>Actinomicetes</i>			6.066,667		1,200,000
UFC: unidades formadoras de colonias, g: gramos :, mL: mililitros					

Bollo (2001) Menciona que la abundancia microbial de las vermicompostas está dada principalmente por el mismo proceso de elaboración, en donde los sustratos pasan a través del tracto digestivo de la lombriz, la cual posee una flora microbial

de bacterias y hongos que alcanza unos 500,000 millones de microorganismos, enriqueciéndose de éstos, pero adicional a este paso el proceso de vermicompostaje, a diferencia del compostaje, no alcanza la etapa termófila donde hay muerte de una gran población de microorganismos y ocurre una selección.

Durán et; al (2006) realizaron un estudio de caracterización de vermicompost (con lombriz *Eisenia fetida*) de cinco sustratos: desechos domésticos, estiércol de vacuno, residuo de banano, follaje de ornamentales y broza de café; reportaron contenidos de bacterias, hongos y actinomicetos de 1,8000000, 5,1000 y 2,200000 (UFC), respectivamente, y hacen mención de la riqueza microbial del vermicompost sobre otros sustratos en lo que respecta a su actividad supresora de enfermedades en el suelo y las ventajas que están relacionadas directamente con una mayor población de microorganismos benéficos.

Pérez, et; al 2008 caracterizaron fisicoquímicamente y biológicamente a diversas enmiendas orgánicas (vermicompost, bocashi) y encuentra un mayor número de hongos, levaduras y actinomicetes benéficos en el vermicompost y lo asocian a las temperaturas bajas en los vermirreactores al ser cubiertos en la superficie, al tamaño de la partícula del sustrato y al contenido de azúcares que excreta la lombriz y que favorecen el incremento de la población microbiana.

Aira et; al (2009) evalúan la actividad microbiana del estiércol de cerdo vermicompostado por distintas especies de lombrices y muestran a *E. fetida* como una de las especies que poseen mayor número de microorganismos en el intestino, los cuales formarán parte de sus deyecciones, lo que al final del proceso se verá reflejado en una enmienda de mayor valor agronómico.

7.3 Comparacion de cuadros y descripcion sobre bacterias y hongos

se realizó una comparación de la cual se describen las características microbiológicas de composta tanto equina como bovina y del cual podemos observar en bacterias la gran cantidad que tiene la composta de equino en relación a bajas bacterias de la composta bovina como lo son las bacterias aerobicas, anaeróbicas, nitrificantes, pseudomonas fluorecentes y *bacillus sp* y de lo contrario en hongos se encuentra mas rica la composta bovina.

Cuadro 8. Características microbiológicas de compost Equino y Bovino

COMPARACION DE CARACTERISTICAS MICROBIOLOGICAS DE COMPOSTA DE <i>Eisenia Foetida</i> EN ESTIERCOL BOVINO Y EQUINO		
CARACTERISTICAS	C. EQUINA	C. BOVINA
BACTERIAS	UFC/ gr o Ml de muestra	UFC/ gr o Ml de muestra
Bacterias aerobicas	40,200,000	3,900,000
Bacterias anaerobicas	7,280,000	150,000
Bacterias nitrificantes	2,300,000	133,333
Pseudomonas fluorecentes	600,000	0
Bacillus sp.	9,080,000	286,667
HONGOS	P./gr	P./gr
Trichoderma sp.	0	0
Aspergillus sp	4,000	4,000
Actinomicetos		
Actinomicetos	200,000	500,000
UFC: unidades formadoras de colonias, gr: gramos, Ml: mililitros, P: propagulos		

La comparación de la composta de las dos especies en relación a la vermicomposta existe una comparación significativa en los resultados ya que en

bacterias aerobicas de la vermicomposta equina contiene un 100% en relación a un 74.61% en la vermicomposta bovina igualmente en bacterias aerobicas.

En bacterias anaeróbicas existe un comportamiento en vermicomposta bovina de 28.20% en relación al 100% de la vermicomposta equina.

Por tal motivo se ve reflejado una relación significativa en los resultados de las vermicompostas .

Cuadro 9. Comparacion de características microbiológicas de composta y vermicomposta en estiércol bovino y equino

COMPARACION DE CARACTERISTICAS MICROBIOLÓGICAS DE COMPOSTA Y VERMICOMPOSTA EN ESTIERCOL BOVINO Y EQUINO				
CARACTERISTICAS	C. EQUINA	C. BOVINA	V.EQUINA	V. BOVINA
BACTERIAS	UFC/ gr o MI			
Bacterias aerobicas	40,200,000	3,900,000	26,266,667	19,600,000
Bacterias anaerobicas	7,280,000	150,000	260,000	73,333
Bacterias nitrificantes	2,300,000	133,333	4,000,000	1,366,667
Pseudomonas fluorecentes	600,000	0	333,333	266,667
Bacillus sp.	9,080,000	286,667	1,170,000	1,426,667
HONGOS	P./gr	P./gr	P./gr	P./gr
Trichoderma sp.	0	0	0	0
Aspergillus sp	4,000	4,000	14,333	4,667
Actinomicetos				
Actinomicetos	200,000	500,000	6,066,667	1,200,000
UFC: unidades formadoras de colonias, gr: gramos, MI: mililitros, P: propagulos				

CONCLUSIONES

Los tratamientos considerados (compostaje y vermicompostaje) mostraron diferencias importantes en la eficiencia en términos de la estabilización biológica del estiércol. Hubo claras diferencias en la composición microbiana y consecuentemente en el metabolismo degradante del compost y el vermicompost; además, las lombrices de tierra lograron modificar la actividad degradante del estiércol en un grado mucho mayor que en el compostaje, reduciendo con esto su grado de contaminación a la atmosfera y convirtiéndolo en un sustrato más adecuado para fines agronómicos.

Por tal motivo se vio reflejado la gran cantidad de microorganismos que se encuentran en las vermicompostas como en compostas de equinos en relación a la mínima cantidad en bovinos.

VIII. LITERATURA CITADA

- Arancon N. Q., C. A. Edwards, A. Babenko, J. Cannon, P. Galvis y J. D. Metzger. 2008. Influencias de los vermicomposts, producidos por lombrices y microorganismos del estiércol de ganado, desperdicios de alimentos y desperdicios de papel, en la germinación, crecimiento y floración de petunias en invernadero. *Ecología aplicada al suelo*. 39: 91–99
- [Bacterias nitrificantes La importancia de las bacterias nitrificantes \(garynevillegasm.com\)](http://garynevillegasm.com)
- Caballero Mellado, J., Onofre-Lemus, J., Estrada-de los Santos, P. & Martínez-Aguilar, L. 2007. The tomato rhizosphere, an environment rich in nitrogen-fixing Burkholderia species with capabilities of interest for agriculture and bioremediation. *Appl. Environ. Microbiol.* 73:5308-5319.
- Edwar C. A. e I. Burrows. 1988. El potencial de los composts de lombrices de tierra como medio de crecimiento de plantas. Páginas. 211–219. En: C. A. Edwards y E. F. Neuhauser (Eds.). *Lombrices de tierra en la gestión de residuos y medioambiental*. SPB Academic Publishing, La Haya.
- Escobar, H., Monsalve, O., y Medina, A. (2009). Efecto de la incorporación de Lombricompuesto sobre la producción y calidad de un cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Suelos Ecuatoriales*, Vol. 39(1), p.53. Recuperado de: <https://sites.google.com/site/suelosecuatoriales/download-articulos/volumen-39-1>
- Fabián 2008. *LOMBRICULTURA para pequeños emprendedores: Manual teórico practico para el manejo comercial de la lombriz roja californiana* editorial la quimera.
- https://www.naturland.de/images/SP/Productores/06_2011_Vermikompost_Homepage_ES.pdf

- Luis martinez, 1997, el estiércol y las practicas agrarias respetuosas con el medio ambiente, agrónomo, ministerio de agricultura pesca y alimentacion de la secretaria general de estructuras agrarias.
- Morales, M. J. C.; Fernández, R. M. V.; Montiel, C. A. y Peralta, B. B. C. 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *BIOTecnia*. 11(1):19-26
- Olivares C. M. A., Hernández R. A., Vences C. C., Jaquéz B. J., Ojeda B. D. 2012. Lombricomposta y composta de estiercol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia, UJAT*, 28 (1): 27-37.
- Programa de Ecología Molecular y Microbiana, Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno, UNAM, Ap. P. 565-A, Cuernavaca, Mor., México.
- Rodríguez 2002. Curso de producción animal 1 y de introducción a la producción animal. FAV. UNRC. Buenos aires. argentina
- Rodríguez-Salazar, J., Suárez, R., Caballero-Mellado, J., & Iturriaga, G. 2009. Trehalose accumulation in *Azospirillum brasilense* improves drought tolerance and biomass in maize plants. *FEMS Microbiol. Lett.*
- Scott, M. A. 1988. El uso de desechos animales digeridos por lombrices como complemento de la turba en compost sin costuras para plantas de vivero resistentes. Páginas. 231-229. En: C. A. Edwards y E. F. Neuhauser (Eds.). *Lombrices de tierra en la gestión de residuos y medioambiental*. SPB, La Haya.
- Schuldt, M. 2006. *Lombricultura: teoría y práctica*. Mundi-Prensa, España. 307 p
- Soto, G. 2003. Abonos orgánicos: el proceso de compostaje. In: Gloria Meléndez y Gabriela Soto (eds.) *Taller de abonos orgánicos*. Centro de

Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. pp 30 – 57

- Vargas M. R. N.; Domínguez, M. J. y Mato de la Iglesia, S. 2008. Vermicompostaje. In. Compostaje. Moreno, C. J. y Moral, H. R. Ediciones Mundi-Prensa. España. 570 p.
- Vargas, M. R. N. 2010. Vermicompostaje en el reciclado de residuos agroindustriales. In: XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, 17-19 de noviembre del 2010. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. 43 p.