

Sucesión bacteriana del género *Bacillus* en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol

Bacillus bacterial succession during composting and vermicomposting using different manure sources

ANTONIO DE LA MORA-COVARRUBIAS¹, FRANCISCO J. VÁZQUEZ-GONZÁLEZ²
Y JOSÉ VALERO-GALVÁN¹

Recibido: Enero 9, 2016

Aceptado: Febrero 16, 2016

Resumen

Las especies del género *Bacillus* ejercen un efecto positivo en las plantas debido a que inducen la producción de sideróforos, fitoestimulantes y biosurfactantes, así como compuestos con actividad inhibitoria para fitopatógenos. El objetivo del trabajo fue determinar la abundancia y diversidad de la comunidad de *Bacillus* en el proceso de compostaje en tres diferentes estiércoles y clarificar el rol de *Eisenia foetida* en la colonización de esta bacteria en los lixiviados de lombricomposta. Se estableció un experimento con nueve tratamientos considerando tres fuentes de estiércol (vacuno, ovino y porcino), los lixiviados del compostaje natural y los lixiviados de lombricompostaje con *Eisenia foetida*. Para la identificación del género *Bacillus* se emplearon cultivos bacterianos de 48 h en agar y caldo nutritivo y se identificaron por las características morfológicas, físico-químicas y microbiológicas. Se estimó la cantidad máxima de unidades formadoras de colonias en estiércol crudo de ganado ovino en el orden de 62.33×10^5 UFC/g de estiércol, abundancia que se redujo a 7.00×10^4 UFC/ml en el lixiviado de composta. En estiércol crudo se aislaron 33 cepas distribuidas en 11 especies, en lixiviados de lombricomposta 24 cepas en 8 especies y en lixiviados de composta solo 18 cepas en 5 especies. Las especies más abundantes fueron *B. Sporosarcina pasteurii* y *B. Paenibacillus alvei*. Se demostró que el lixiviado de lombricomposta posee mejor uniformidad y diversidad bacteriana, por lo que debería dársele mayor uso agrícola.

Palabras clave: conteo, especies, identificación.

Abstract

Species of the genus *Bacillus* have a positive effect on plants due they induce the production of siderophores, phytoestrogens and biosurfactants as well as compounds with inhibitory activity to phytopathology. The objective of this study was to determine the abundance and diversity of *Bacillus* community in the composting process in three different manures and clarify the role of *Eisenia foetida* in the colonization of this bacterium in vermicompost leachates. An experiment was established with nine treatments considering three sources of manure (cattle, sheep and pigs), natural compost leachate and vermicomposting leachates with *Eisenia foetida*. To identify the genus *Bacillus* bacterial cultures were used for 48 h made of agar and nutrient broth and identified by morphological, physico-chemical and microbiological characteristics. The maximum number of colony forming units in raw manure of sheep was calculated in the order of 62.33×10^5 CFU/g of manure, abundance was reduced to 7.00×10^4 CFU/ml in the leachate of compost. Over 33 strains belonging to 11 species were isolated from the raw manure, 24 strains from 8 species were found in the vermicompost leachate and only 18 strains from 5 species in the leachate compost. The most abundant species were *B. Sporosarcina pasteurii* and *B. Paenibacillus alvei*. It was shown that vermicompost leachate has better uniformity and bacterial diversity which should be given greater agricultural use.

Keywords: Count, species, identification.

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Anillo envolvente del PRONAF y Estocolmo s/n. Ciudad Juárez, Chihuahua. México. 32315.

² El Colegio de Chihuahua. Anillo envolvente del PRONAF y Calle Partido Díaz s/n. Ciudad Juárez, Chihuahua. México, 32315. Tel. 011-521-(656)-639-0397.

⁴ Dirección electrónica del autor de correspondencia: fjvazque@uacj.mx.

Introducción

La agricultura moderna exige una mayor disponibilidad de insumos para aumentar la rentabilidad de los cultivos, lo que se logra generalmente con enmiendas orgánicas y abonos químicos. Actualmente hay una tendencia mundial para el uso de métodos en la agricultura sostenible, disminuyendo el empleo de agroquímicos sintéticos, lo que contribuye a la protección del medio ambiente y del hombre (Gómez *et al.*, 2004).

El aprovechamiento de los residuos urbanos, agropecuarios e industriales sólidos, de naturaleza orgánica fermentable, puede suponer una considerable fuente de energía, materia orgánica, fertilizantes, oligoelementos, bacterias beneficiosas y recursos en general para la agricultura, sin embargo, su utilización debe ser cuidadosamente estudiada para aplicar técnicas que faciliten su aprovechamiento. En el caso específico de los estiércoles de diferentes ganados, su incorporación al suelo puede representar una fuente potencial de nutrientes disponibles para las plantas cuando son reciclados mediante el compostaje (Olivares-Campos *et al.*, 2012).

El compostaje es un proceso biológico de descomposición aerobia que combina fases mesófilas y termófilas, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia orgánica biodegradable (Gómez *et al.*, 2004). Este proceso se identifica como lombricompostaje cuando consiste en la bio-oxidación y estabilización de los sustratos orgánicos a través de la acción mineralizadora conjunta de diversas especies de lombrices y microorganismos (Duran y Henríquez, 2007). Existe la creencia de que ambos procesos biotecnológicos son excelentes para elaborar abonos orgánicos, pero que, en el caso del lombricompostaje, el material obtenido está enriquecido química y biológicamente (Olivares-Campos *et al.*, 2012).

Dentro de los principales microorganismos encontrados en la materia orgánica se encuentran las bacterias y los hongos, ambos grupos son fundamentalmente organismos mineralizadores, tienen funciones específicas

en los ciclos de los elementos como degradación de celulosa, almidón, lignina, fijación de nitrógeno atmosférico, proteólisis, amonificación y nitrificación (Bello, 2008).

El género *Bacillus* comprende un grupo de especies de bacterias filogenética y fenotípicamente heterogéneas. Incluye más de 100 especies y sus miembros se consideran ubicuos. Se caracterizan por ser gram positivas, con forma bacilar, aerobias estrictos o anaerobias facultativas que en condiciones estresantes forman una endospora central, que deforma la estructura de la célula. Esta forma esporulada es resistente a la desecación, a los desinfectantes y a las altas temperaturas, por lo que es posible encontrarla aun después de las fase termófila del compostaje (Kokalis-Burelle *et al.*, 2006; Bagge *et al.*, 2010; Tejera-Hernández *et al.*, 2011).

El género *Bacillus* posee una amplia diversidad de propiedades bioquímicas y ejerce un efecto positivo en las plantas, tanto de manera directa como indirecta (Rojas *et al.*, 2013), los primeros se refieren a la manera en que participa en el crecimiento vegetal mediante la producción de compuestos fitoestimulantes (Arkhipova *et al.*, 2005), por su actividad enzimática nitrogenasa para fijar el nitrógeno atmosférico al suelo (Morot-Gaudry, 2001; Ooi *et al.*, 2008), la producción de lipopéptidos que actúan como biosurfactantes permiten la solubilización de minerales como el fósforo, dejándolo accesible para ser absorbido por la planta (Rengel-Marschner, 2005; Rajankar *et al.*, 2007; El-Yazeid y Abou-Aly, 2011), productores de sideróforos para el aprovechamiento del hierro (Dertz *et al.*, 2006). Los beneficios

indirectos se refieren a la capacidad de *Bacillus* para la síntesis de compuestos con actividad inhibidora de fitopatógenos (Reinoso *et al.*, 2006; Reinoso *et al.*, 2007). En las últimas décadas se han evaluado a las especies del género *Bacillus* como antagonista de hongos fitopatógenos de interés económico, ya que presentan diferentes propiedades inhibidoras como la antibiosis, la competencia (Cook y Baker, 1983) y el micoparasitismo mediado básicamente por la lisis de la pared celular por acción enzimática (Lecuona, 1996). También las especies de *Bacillus* pueden mejorar el desarrollo vegetal y las capacidades de las plantas para resistir periodos más largos de sequía (Compant *et al.*, 2005) y reducción de enfermedades en las plantas (Kokalis-Burelle *et al.*, 2006). En función de todas las ventajas descritas, el objetivo de la presente investigación fue determinar la abundancia y diversidad de la comunidad del género *Bacillus* antes y después del proceso de compostaje de diversas fuentes de estiércol, y clarificar el rol de *Eisenia foetida* en la colonización de esta bacteria en los lixiviados de lombricomposta.

Materiales y métodos

El estiércol de ganado utilizado fue proporcionado por el rancho escuela de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. El proceso de semicompostaje y lombricompostaje se realizó en recipientes de plástico de 0.5 m de largo, 0.3 m de ancho y 0.5 m de altura con perforaciones de 2 cm de diámetro en la parte inferior. Los recipientes se taparon con tela de malla fina para evitar la entrada de animales y permitir la aeración. Se depositaron 7 kg de estiércol por recipiente con una humedad del 60 al 70%, la cual se midió al tomar con el puño el estiércol húmedo y comprimiendo para formar una gota de agua debajo de la mano. Para el caso del tratamiento de semilombricompostaje, el estiércol fue precompostado 30 días antes de la inoculación con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) con el fin de proveer condiciones adecuadas para su desarrollo. Pasado ese tiempo se incorporó al

estiércol 1 kg de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), todas ellas adultas, distribuidas en los diferentes tratamientos (Ferruzi, 1986; Bollo, 1999).

Se estableció un experimento con tres repeticiones para nueve tratamientos denominados EV (estiércol vacuno crudo), EO (estiércol ovino crudo), EP (estiércol porcino crudo), LXCv (lixiviado de composta de estiércol vacuno), LXCO (lixiviado de composta de estiércol ovino), LXCP (lixiviado de composta de estiércol porcino), LXLV (lixiviado de lombricomposta de estiércol vacuno), LXLO (lixiviado de lombricomposta de estiércol ovino), LXLP (lixiviado de lombricomposta de estiércol porcino).

Los recipientes con los sustratos respectivos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar dentro del invernadero de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). La humedad del 70% del material se mantuvo en los recipientes de plástico mediante riegos cada 48 horas, con el fin de mantener un ambiente apropiado para el desarrollo de las lombrices y permitir la descomposición de los materiales en forma adecuada. El periodo total de semicompostaje fue de 90 días y para el semilombricompostaje fue de 120 días; 30 días de precomposteo, 60 para que la lombriz realizara su reproducción y degradación orgánica junto con la acción bacteriana en los siguientes 30 días hasta lograr un pH mayor de ocho y un lixiviado café oscuro.

De los estiércoles crudos tomados al inicio del estudio se determinaron las unidades formadoras de colonia (UFC) por gramo y se seleccionaron las cepas que presentaron diferencias morfológicas que fueron conservadas en glicerol a -80 °C. Después de 90 días de inicio del precomposteo se disecaron las lombrices, los lixiviados se procesaron después de 100, días una vez alcanzado su aspecto café oscuro y un pH mayor de 8.0. Las cepas almacenadas fueron activadas en agar nutritivo y se realizaron las pruebas bioquímicas, físicas y microbiológicas,

bajo condiciones controladas en el laboratorio de genética aplicada de la UACJ. El aislamiento de bacterias para el conteo de las UFC del género *Bacillus* presentes en el estiércol crudo se llevó a cabo por medio de la dilución aséptica de 1 g de peso seco de estiércol en 100 mL de agua peptona estéril, con agitación vigorosa durante 30 s. Después de realizar las diluciones y someterlas a un tratamiento térmico de 80 °C durante 15 min en baño maría, se tomó 1 µL de la dilución tratada, se sembró con asa de nicromo en cajas Petri con medio de agar nutritivo (MCD-LAB) y fueron incubadas durante 24 h a 37 °C, seguidas de otras 24 h a temperatura ambiente, para realizar el conteo de las unidades formadoras de colonias (UFC), posteriormente fueron seleccionadas las cepas que presentaron diferencias morfológicas, se sembraron en caldo nutritivo (MCD-LAB), se centrifugaron, se suspendieron en glicerol al 20% y se conservaron a -80 °C hasta su posterior uso. De los lixiviados se tomó 1 mL, el cual se diluyó 1:10 con agua peptona estéril, se pasteurizó a 80 °C durante 15 min en baño maría y se depositó en caja Petri con agar nutritivo para su proceso final según la metodología descrita por Sánchez *et al.* (2011).

De manera paralela, se realizó disección a tres lombrices adultas por tratamiento de lombricompostaje, separando la faringe, el buche y el intestino. Cada estructura fue depositada en un 1 mL de agua peptonada y se llevó a cabo el mismo procedimiento ya descrito para el conteo, resiembra y conservación de colonias de *Bacillus*.

Se emplearon las cepas de *Escherichia coli* y *Proteus vulgaris*, proporcionados por el cepario de la Academia de Microbiología de la UACJ para estandarizar las reacciones bioquímicas a utilizar en la identificación de los aislados. Todas las colonias se caracterizaron morfológica, físico-química y microbiológicamente según las pruebas descritas por Holt (2009). Para la identificación del género *Bacillus* se emplearon cultivos bacterianos de 48 h en agar y caldo nutritivo y se realizaron las siguientes pruebas: Tinciones de Gram y

Fulton-Schaeffer para determinar el diámetro del bacilo y tipo de espora; prueba de la catalasa (Becton-Dickinson); amilasa (JALMEK); hidrólisis de gelatina; ureasa; reducción de nitrato a nitrito (Becton-Dickinson), NaCl al 6.5%, pH ácido y alcalino, Voges-Proskauer-Rojo de metilo (MCD_LAB y Becton-Dickinson); citrato de Simmons; producción de ácidos a partir de glucosa (Becton-Dickinson); xilosa (GOLDEN BELL), manitol y arabinosa (JALMEK) y anaerobiosis (ANA-PAK-SYSTEMS).

Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza con post prueba de Tukey a una significancia de 0.05 con el paquete estadístico MINITAB v14. El análisis de diversidad bacteriana fue llevado a cabo con el paquete estadístico PAST 2.0 para obtener los índices de riqueza y uniformidad de especies.

Resultados y discusión

Los resultados relativos a la abundancia de bacterias, tanto en los sustratos crudos como semicomposteados y en las diferentes secciones del sistema digestivo de la lombriz *Eisenia foetida*.

El Cuadro 1 muestra los resultados relativos a la abundancia de bacterias del género *Bacillus* expresada en UFC/g en los estiércoles empleados, y su comparación mediante un ANOVA con post prueba de Tukey. La mayor abundancia de colonias de *Bacillus* la presentó el estiércol crudo de ovino con un promedio de 62.33×10^5 UFC/g. Si bien existen estudios donde se obtuvieron valores muy por encima de lo estimado, como es el caso de Escobar y Solarte (2015), quienes reportaron *Bacillus* en estiércol de porcino de 1.0×10^8 UFC/ml; Duran y Henríquez (2007) reportaron concentraciones en lixiviados de lombricompostaje de ganado vacuno de 1.8×10^7 UFC/ml; y Bello (2008) indicó valores de 32×10^7 UFC/ml en estiércol de ganado bovino, debe de hacerse la aclaración que en este trabajo sólo se consideraron a las bacterias formadoras de esporas y no del total de bacterias presentes en el estiércol. Este resultado podría hacer pensar que el estiércol

de ovino sería la mejor opción para usarse como mejorador de suelos agrícolas, sin embargo, habría que tomarlo con cautela, los estiércoles crudos representan peligros en los suelos agrícolas al provocar contaminación por plagas y enfermedades, además de ocasionar desbalances nutricionales en los cultivos. Sin embargo, cuando el estiércol es pasado por el proceso de semicompostaje (sea de manera natural o con lombriz) se puede observar que el número de UFC/ml en los lixiviados disminuye considerablemente y se estabiliza, oscilando entre 7 y 12.44×10^4 UFC/ml, siendo ligeramente mayor en los lixiviados de semilombricomposta.

Cuadro 1. Comparación del promedio de unidades formadoras de colonias (UFC) de los diferentes tratamientos de acuerdo con la fuente de estiércol evaluada.

Fuente	Estiércol UFC X $10^5/g$	Lixiviado de lombricomposta UFC X $10^4/ml$	Lixiviado de composta UFC X $10^4/ml$
Porcino	12.77±8.58 ^a	8.11±3.82 ^a	10.20±6.57 ^a
Vacuno	35.77±14.53 ^b	12.17±3.45 ^b	7.00±2.08 ^a
Ovino	62.33±27.53 ^c	12.44±3.85 ^b	9.83±2.72 ^a

Letras diferentes muestran diferencia significativa con la Post prueba de Tukey.

Las medias de UFC obtenidas del aparato digestivo en las lombrices según el sustrato y analizadas con la post prueba de Tukey no mostraron diferencia significativa (Cuadro 2). No obstante, al igual que en los sustratos evaluados de manera independiente, también las lombrices que consumieron estiércol ovino mostraron un ligero aumento en la abundancia de *Bacillus*. Idowu *et al.* (2005) evaluaron a las bacterias en el tracto digestivo de la lombriz *Libyodrilus violaceus* en suelos de cultivo y encontraron densidades de 0.9, 1.3 y 1.6×10^4 UFC/ml en faringe, buche e intestino respectivamente, con predominancia del género *Bacillus*, lo que corroboraría que es la parte posterior del tracto digestivo la que acumula mayor cantidad de bacterias quizá por ofrecer mejores condiciones para su crecimiento (Valle-Molinares *et al.*, 2007). Para Picon *et al.* (2014) existen especies de *Bacillus* denominadas endógenas, que forman parte únicamente del

tracto digestivo de la lombriz y se mantienen asociadas de manera íntima a la pared interna del intestino y no se encuentran en el suelo o en la rizosfera, lo que explica de alguna manera la reducción de la abundancia comparada con los sustratos evaluados. Las UFC presentan desviaciones estándar mayores que las medias debido a que la distribución de *Bacillus* en el aparato digestivo no es uniforme con valores de 0 a 547, por lo cual no presenta valores estadísticos significativos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación del promedio de unidades formadoras de colonias (UFC de *Bacillus* x $10^3/ml$) para cada uno de los órganos de la lombriz *Eisenia foetida* de acuerdo con la fuente de estiércol evaluada.

Fuente	Faringe	Buche	Intestino
Porcino	13.0±22.42 ^a	6.1±7.27 ^a	30.55±48.48 ^a
Vacuno	21.4±30.32 ^a	14.4±9.84 ^a	12.11±11.85 ^a
Ovino	29.3±31.0 ^a	154.55±218.05 ^a	39.1±18.22 ^a

Letras diferentes muestran diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Con relación a la diversidad del género *Bacillus* en los sustratos, se aislaron 75 cepas distribuidas en 14 especies (Cuadro 3). Separadas por tipo de fuente, se aislaron 24 cepas de estiércol vacuno en 10 especies, 26 de ovino en 10 especies y 25 de porcino en ocho especies. Sosa *et al.* (2004) reportaron en su estudio siete cepas en estiércol vacuno, 12 cepas de caprino y siete de porcino, además de 19 cepas en gallinaza y siete en estiércol equino. Como puede apreciarse, no existe un patrón definido en cuanto al número de cepas que prácticamente son equitativas así como en el número de especies por fuente de estiércol. Sin embargo, si agrupamos las cepas y las especies en tres categorías (Cuadro 5) podemos apreciar claramente una reducción de casi el 50% en el semicompostaje con relación a los sustratos crudos, lo que en este sentido le da más ventaja al método de lombricomposta.

Se encontró una especie exclusiva el *B. Paenibacillus popilliae* presente sólo en lixiviado de semicompostaje de estiércol vacuno, *B. circulans* sólo en lixiviado de semilombri-

composta de estiércol ovino, *B. coagulans* en estiércol crudo de ovino y *B. megaterium* presente exclusivamente en estiércol crudo de porcino.

La especie más abundante y recurrente fue *B. Sporosarcina pasteurii* ya que se encontró en todos los sustratos, excepto en el estiércol ovino crudo y semilombricompostado, y el segundo lugar fue para *B. Paenibacillus alvei* quien no se encontró en los lixiviados de semicomposta de ningún estiércol. Sin embargo, estas dos especies no han sido asociadas frecuentemente al estiércol.

La literatura muestra datos muy diversos sobre las especies de *Bacillus* en estiércol. Bagge *et al.* (2010) encontraron comúnmente a las especies *B. cereus*, *B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. sphaericus* y *B. Paenibacillus polymyxa* en estiércol vacuno antes y después de someterlo al proceso de digestión. *B. megaterium* fue aislado únicamente después de la digestión. Escobar *et al.* (2012) encontraron que las especies más comunes en estiércol vacuno fueron *B. sphaericus*, *B. subtilis* y *B. laterosporus* aunque no muy abundantes. Yi *et al.* (2012)

reportaron ocho especies presentes en estiércol porcino (*B. subtilis*, *B. cereus*, *B. thuringiensis*, *B. anthracis*, *B. megaterium*, *B. licheniformis*, *B. pumilus*, and *B. circulans*). La especie predominante fue *B. subtilis*.

Cuadro 4. Distribución de cepas y especies del género *Bacillus* por tipo de sustrato sin considerar la fuente de origen del estiércol.

	Sustrato		
	Estiércol crudo	Lixiviado de semilombricomposta	Lixiviado de semicomposta
Número de cepas	33	24	18
Número de especies	11	9	6

En la lombriz se obtuvieron 23 cepas de siete especies (Cuadro 5), de las cuales 10 cepas fueron en estiércol vacuno de cinco especies, siete cepas en estiércol ovino de cinco especies y seis cepas en estiércol porcino de tres especies. Estos resultados coinciden con los de Brito-Vega y Espinoza-Victoria (2009) quienes encontraron un total de 28 cepas de *Bacillus* spp. en *Eisenia foetida*, considerando este género como el microorganismo más abundante.

Cuadro 3. Número de especies y cepas de *Bacillus* aisladas de diversas fuentes de estiércoles crudos y semicompostados.

Fuente	<i>B. polymyxa</i>	<i>B. macquariensis</i>	<i>B. licheniformis</i>	<i>B. micooides</i>	<i>B. alvei</i>	<i>B. cereus</i>	<i>B. pasteurii</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>B. coagulans</i>	<i>B. sphaericus</i>	<i>B. megaterium</i>	<i>B. pantothen ticus</i>	<i>B. circulans</i>	<i>B. popilliae</i>	Total de especies
EV	1	2	1	1	2	1	1	1							8
LxLV	2		1		3	1	1								5
LxCV							3			2				1	3
EO	4	2	2	1	1				1						6
LxLO					2	1		3				2	1		5
LxCO				1			2					3			3
EP	2			1	3		4			1	1				6
LxLP				1	1	1	3					1			5
LxCP						1	4			1					3
Total de cepas	9	4	4	5	12	5	18	4	1	4	1	6	1	1	

Con relación a las especies encontradas en el tracto digestivo de la lombriz se puede apreciar que *B. subtilis* sólo aparece en aquellas alimentadas con estiércol porcino, no obstante, es este sustrato el que obtiene el número más bajo de especies totales comparadas con el estiércol de vacuno y ovino. Valle-Molinares *et al.* (2007) identificaron siete especies de *Bacillus* en el tracto digestivo de *Onychochaeta borincana* que fueron *B. insolitus*, *B. megaterium*, *B. brevis*, *B. pasteurii*, *B. sphaericus*, *B. thuringiensis* y *B. pabuli* todas ellas consideradas bacterias típicas del suelo. Méndez *et al.* (2003) mencionan que algunas bacterias generan una relación de mutualismo al pasar por el tracto digestivo de la lombriz y propusieron la presencia de una relación simbiótica entre *O. borincana* y *B. cereus*.

Cuadro 5. Número de especies y cepas de *Bacillus* aisladas de *Eisenia foetida* alimentada con diferente fuente de estiércol animal.

Estiércol	<i>B. polymyxa</i>	<i>B. alvei</i>	<i>B. cereus</i>	<i>B. pasteurii</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>B. sphaericus</i>	<i>B. pantothenicus</i>	Total de especies
Vacuno	1	4	1	2		2		5
Ovino		2	1	1		2	1	5
Porcino	2				1		3	3
Total de cepas	3	6	2	3	1	4	4	

Prácticamente las 14 especies aisladas en esta investigación han sido reportadas en la literatura como benéficas sin presentar ningún riesgo para la salud humana. *B. subtilis*, *B. megaterium*, *B. mycoides*, *B. licheniformis*, *B. circulans*, *B. cereus*, y *B. polymyxa* son las especies que se han aislado con mayor frecuencia de la rizosfera o los tejidos internos de plantas, ya que favorecen su crecimiento y ejercen un efecto antagónico contra una gran variedad de hongos fitopatógenos (Nieto *et al.*, 1990; Rajankar *et al.*, 2007; Reinoso *et al.*, 2007; El-Yazeid y Abou-Aly, 2011) mientras que *B. sphaericus* y *B. popilliae* generan toxinas contra dípteros y coleópteros respectivamente (McSpadden, 2004).

Finalmente, con los datos obtenidos en cuanto al número de cepas y especies aisladas se realizó un análisis de diversidad (Cuadro 6). Si bien, el índice de diversidad de Shannon (H) es mayor en el estiércol crudo, la uniformidad (E) se encuentra más definida en el aparato digestivo de la lombriz pero combinando ambos índices se puede inferir que el género *Bacillus* se encuentra mejor representado en los lixiviados de lombricomposta.

Cuadro 6. Análisis de diversidad del género *Bacillus* por categoría de tratamiento.

Tipo de muestra	N	S	E	H'
Estiércol crudo	33	11	0.89	2.14
Lixiviado de lombricomposta	24	9	0.92	2.02
Lixiviado de composta	18	6	0.79	1.42
Aparato digestivo de lombriz	23	7	0.94	1.83


N = Número de cepas, S = riqueza de especies, E = uniformidad, H' = índice de Shannon.

Conclusiones

Se demostró que el género *Bacillus* se encuentra en abundante densidad tanto en estiércol crudo como en estiércol sometido al proceso de compostaje de manera natural o con el uso de lombriz de tierra, lo que puede ser aprovechado dados los beneficios directos e indirectos que tiene en el desarrollo de cultivos de importancia económica. La mayoría de las especies aisladas están reportadas en la literatura como colonizadores típicos de suelos agrícolas y como componente de la fauna intestinal de la lombriz, a excepción de *B. Sporosarcina pasteurii*, *B. Paenibacillus alvei* y *B. Paenibacillus popilliae*.

Aún quedan preguntas por responder en cuanto al rol que desempeña *Eisenia foetida* en la sucesión de *Bacillus* spp., sin embargo, el lixiviado de semilombricomposta demostró tener mayor persistencia en cuanto a la diversidad y uniformidad de *Bacillus* que en composta.

Literatura citada

- ARKHIPOVA, T. N., S. U. Veselov, A. I. Melentiev, E. V. Martynenko, and G. R. Kudoyarova. 2005. «Ability of Bacterium Bacillus Subtilis to Produce Cytokinins and to Influence the Growth and Endogenous Hormone Content of Lettuce Plants.» *Plant and Soil* 272:201-9
- BAGGE, E., M. Persson and K.-E. Johansson. 2010. Diversity of spore-forming bacteria in cattle manure, slaughterhouse waste and samples from biogas plants. *Journal of Applied Microbiology* 109:1549-1565
- BELLO, C. 2008. Respuesta de la bovinaza a inoculaciones microbianas. Ingeniería agroecológica. Invention No. 5 Facultad de Ingeniería Uniminuto 42-47
- BOLLO, E. 1999. Lombricultura: Una Alternativa de Reciclaje. Edited by Soboc Grafic. S. F. Quito.
- BRITO-VEGA, H., and D. Espinosa-Victoria, 2009. Bacterial Diversity in the Digestive Tract of Earthworms (Oligochaeta). *Journal of Biological Sciences* 9:192-199.
- COMPANT, S., B. Duffy, J. Nowak, C. Clément, and E.A. Barka. 2005. «Use of Plant Growth-Promoting Bacteria for Biocontrol of Plant Diseases: Principles, Mechanisms of Action, and Future Prospects.» *Applied and Environmental Microbiology* 71(9):4951-9.
- COOK, R.S y K.F Baker. 1983. «The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens.» The American Phytopathological Society St.Paul: 539.
- DERTZ, E.A., A. Stintzi, y K.N.Raymond.2006. Siderophore-mediated iron transport in Bacillus subtilis and Corynebacterium glutamicum. *J Biol Inorg Chem* 11(8):1087-97.
- DURAN, L., and C. Henriquez. 2007. «Caracterización Química, Física Y Microbiológica de Vermicompostes Producidos a Partir de Cinco Sustratos Orgánicos». *Agronomía Costarricense* 31(1):41-51.
- EL-YAZEID, A. A. and H. E. Abou-Aly. 2011. «. Enhancing Growth, Productivity and Quality of Tomato Plants Using Phosphate Solubilizing Microorganisms.» *Aust. J. Basic Appl. Sci* 5:371-79.
- ESCOBAR, N., J. Mora, N.J. Romero. 2012. Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.* 16(1):75 - 88
- ESCOBAR, N., and V. Solarte. 2015. «Microbial Diversity Associated with Organic Fertilizer Obtained by Composting of Agricultural Waste». *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics* 5(2):70-79
- FERRUZI, C. 1986. Manual de lombricultura. Madrid. España: Mundi-Prensa. 138 p.
- GOMEZ, D.A., T. Yamiris, M. I. González, y S. Chiroles. 2004. Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario. Medio Ambiente y Desarrollo. *Revista Electrónica de la Agencia de Medio Ambiente* 4(7).
- HOLT, J.G. 2009. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. 9th ed. Williams and Wilkins editors. Maryland. USA. 754 pp.
- IDOWU, A. B.; M.O. Edema, A.O. Adeyi. 2006. Distribution of bacteria and fungi in the earthworm Libyodrilus violaceus (Annelida: Oligochaeta), a native earthworm from Nigeria. *Revista de Biología Tropical* 54(1):49-58.
- KOKALIS-BURELLE, N.; J.W. Kloepper, y M.S. Reddy. 2006. Plant growth promoting rhizobacteria as transplant amendments and their effects on indigenous rhizosphere microorganisms. *Applied Soil Ecology* 31:91-100.
- LECUONA, RE. 1996. Microorganismos Patógenos Empleados en el Control Microbiano de Insectos Plaga. Edited by Ed. Argentina. S. F. 338 p.
- McSPADDEN, B.B. 2004. Ecology of Bacillus and Paenibacillus spp. in Agricultural Systems. *Phytopathology* 94(11):1252-8.
- MENDEZ, R., S. Borgesa, C. Betancourta. 2003. A microscopical view of the intestine of Onychochaeta borincana (Oligochaeta: Glossoscolecidae). *Pedobiologia* 47(5-6):900-903
- MOROT-GAUDRY, J.F. 2001. Nitrogen assimilation by plants. Physiological, biochemical and molecular aspects. Plymouth, RU: Science Publisher Inc. pp.343-368
- NIETO, K.F., W.T. Frakenberger. 1990. Microbial productions of cytokinins. *Soil Biochemistry* 6:191-248.
- OLIVARES-CAMPOS, M.A., A. Hernández, C. Vences, J.L. Jáquez, & D. Ojeda. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia* 28(1):27-37
- Ooi, T.C., A.B. Ariff, M.S.Halimi, Z.H. Shamsuddin. 2008. Growth kinetics of diazotrophs Bacillus sphaericus UPMB cultured using different types and concentrations of carbon and nitrogen sources. *Malaysian Journal of Microbiology*, 4(2):15-25.
- PÉREZ, A., C. Céspedes, & P. Núñez. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* 8(3):10-29.
- PICÓN, M.C.; E.S. Teisaire; C.H. Bellone. 2014. Las cepas bacterianas del tubo digestivo de Enantiodrilus borelli (Annelida: Glossoscolecidae) y su recolonización en suelo estéril. *Rev. Agron. Noro. Argent.* 34(2):46-49
- RAJANKAR, P.N., D.H. Tambekar, S.R. Wate. 2007. Study of phosphate solubilization efficiencies of fungi and bacteria isolated from saline belt of Purna river basin. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 3(6):701-3.
- REINOSO, Y., F.D. Vaillant, R.L. Casadesús, P.E. García, y A.R.V. Pazos. 2007. «Selección de Cepas de Bacillus Y Otros Géneros Relacionados Para El Control Biológico de Hongos Fitopatógenos.» FITOSANIDAD 11 (1) 187-192
- REINOSO, Y., Luis Casadesús, Armando García, Jorge Gutiérrez, and V. Pazos. 2006. «Aislamiento, selección e identificación de bacterias del género Bacillus antagonistas de Pectobacterium carotovorum.» FITOSANIDAD. 10 (3)
- RENGEL, Z., and P. Marschner. 2005. «Nutrient Availability and Management in the Rhizosphere: Exploiting Genotypic Differences.» *New Phytologist* 168(2):305-312.
- ROJAS, S.D., P.M. Contreras, G. Santoyo. 2013. «Mecanismo de Estimulación del Crecimiento Vegetal en Bacterias del Género Bacillus». *Revista de Loa DES Ciencias Biológicas Agropecuarias* 15(2):36-41.
- SÁNCHEZ, E. R., Bautista, M. Á. M., Pech, M. S., & Ramírez, A. R. 2011. Aislamiento de Cepas Nativas de Bacillus spp. y su Actividad Antagónica en Hongos Fitopatógenos. XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería.
- SOSA, B. M., C.C. Castillo, & J. Scorza. 2004. Actividad inhibitoria de cepas de Bacillus spp. contra dermatofitos. *Rev. Sociedad Venezolana de Microbiología* 24(1-2):59-64.
- TEJERA, H.B., B.M.M. Rojas, & P.M. Heydrich. 2011. Potencialidades del género Bacillus en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *CENIC* 42(3):131-138.
- VALLE-MOLINARES, R., S. Borges and C. RIOS-Velasquez. 2007. Characterization of possible symbionts in Onychochaeta borincana (Annelida: Glossoscolecidae). *European Journal of Soil Biology* 43:S14-S18.
- Yi, J., H.Y. Wu, J. Wu, C.Y. Deng, R. Zheng, Z. Chao. 2012. Molecular phylogenetic diversity of Bacillus community and its temporal-spatial distribution during the swine manure of composting. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 93(1):411-21. 

Este artículo es citado así:

De la Mora-Covarrubias, A., F. J. Vázquez-González y J. Valero-Galván. 2016. Sucesión bacteriana del género *Bacillus* en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol. *TECNOCENCIA Chihuahua* 10(1): 23-31.

Resumen curricular del autor y coautores

ANTONIO DE LA MORA COVARRUBIAS. Obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo Parasitólogo por la Escuela Superior de Agricultura incorporada a la Universidad Autónoma Chapingo en 1984. El grado de Maestría en Ciencias con especialidad en Entomología en el Colegio de Graduados ESAHE en 1989 y el grado de Doctor en Filosofía área mayor Manejo de Recursos Naturales en la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua en el año 2016. Desde el 2012 labora en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez con categoría de Profesor Investigador de tiempo completo titular C. Ha sido Coordinador del Programa de Biología y actualmente Jefe del Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Área de especialización en aplicación de herramientas geoespaciales (SIG, RS, GPS y estadística espacial) para el manejo de los recursos naturales; cartografía de riesgo e impacto ambiental; epidemiología y ecología de poblaciones. Integrante del Cuerpo académico Consolidado UACJ-05 "Contaminación en recursos naturales"; integrante de la Red Temática de Ecosistemas del CONACYT; miembro del Padrón Nacional de Acreditadores por el CACEB, AC; y árbitro en revistas nacionales e internacionales. Participación, desde 1990, en más de 300 eventos académicos (cursos, congresos, seminarios, simposiums, diplomados y talleres) a nivel local, regional, nacional, binacional e internacional con ponencias en el área entomológica, salud, medio ambiente, recursos naturales y tecnologías geoespaciales. Ha dirigido 42 tesis de licenciatura, 14 de maestría y 2 de nivel doctoral. En los últimos cinco años se han publicado 11 artículos, tres capítulos de libro, 12 memorias in extenso, dos reportes técnicos y dos manuales de prácticas y participado en quince proyectos de investigación con financiamiento de diversas organizaciones como son PROMEP, CONACYT-Fondos Mixtos, Gobierno del Estado de Chihuahua, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), El Paso Health Foundation, USDA- EPA-Frontera 2012 y el Desert Research Institute

FRANCISCO JAVIER VÁZQUEZ GONZÁLEZ. Obtuvo la licenciatura en 1974 como Químico Farmacobiólogo título otorgado por la Escuela de Farmacología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Morelia Mich. El grado de Maestría en Ciencias en Biomedicina Molecular otorgado por el Instituto Politécnico Nacional en la Ciudad de México en 2007, candidato al grado de Doctor en Investigación por el Colegio de Chihuahua en Ciudad Juárez, Chih. De 1974 al 2003, trabajó como Químico Clínico en el Instituto Mexicano del Seguro Social en Ciudad Juárez, Chih. Del 2000 a la fecha Profesor en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez titular de Monera y habiendo impartido las clases de Biología Celular, Genética y Bacteriología Clínica, ha dirigido 14 tesis de licenciatura del departamento Químico Biológicas y dos tesis a nivel de maestría en Ciencias Odontológicas de la Universidad autónoma de Ciudad Juárez, actualmente dirige una tesis de maestría. Área de generación del conocimiento "La Bacteriología su aplicación en la salud y en el campo, beneficio o daño".

JOSÉ VALERO GALVÁN. Obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Sistemas Agrícolas de Zonas Áridas por la Universidad Autónoma de Chapingo en 2003. El grado de Maestría en Ciencias en Biotecnología en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Chihuahua en 2006 y el grado de Doctor en la Universidad de Córdoba en el 2012. Desde el año 2012 labora en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez con categoría de Profesor Investigador de Tiempo Completo. Ha impartido las clases de Biología Molecular y Fitopatología en el Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Área de especialización en Proteómica. Integrante del Cuerpo Académico En Consolidado UACJ-CA-102 "Bioquímica funcional y Proteómica del Estrés"; integrante de la Red Temática de Proteínas y la Sociedad Mexicana de Bioquímica; miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. Ha dirigido 7 tesis de alumnos de la licenciatura de Biología y actualmente dirige dos tesis maestría. En los últimos tres años se han publicado 9 artículos y cinco capítulos de libro.