

# **Aporte nutricional de un biosólido avícola obtenido en un proceso de digestión aerobia sobre un cultivo de cebollín**

**Leopoldo Ruesga<sup>1</sup>, María Ocando<sup>1</sup>, Miguel López<sup>1</sup>, Enyris Gutiérrez<sup>1</sup>, Yaxcelys Caldera<sup>2</sup> y Edixon Gutiérrez<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Investigación del Agua (CIA). Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. \*leopoldoruesga@gmail.com, egutierr12@gmail.com

<sup>2</sup>Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago (LIANCOL). Universidad del Zulia. Cabimas, estado Zulia. Venezuela. yaxcelysc@gmail.com

<sup>3</sup>Escuela de ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

Recibido: 25-09-2015 Aceptado: 17-11-2015

## **Resumen**

Los biosólidos generados en los sistemas de tratamiento de aguas contienen macronutrientes y micronutrientes que son de gran importancia a nivel agronómico. En esta investigación se evaluó el aporte nutricional de un biosólido avícola, obtenido en un proceso de digestión aerobia, sobre un cultivo de cebollín (*Allium fistulosum* L.). El biosólido fue recolectado a la salida del sistema de tratamiento de lodos de una industria avícola y se trabajó con tres tratamientos 0, 20 y 40 Mg.ha<sup>-1</sup> de biosólido y un control utilizando fertilizante de origen químico 15:15:15. Se encontraron aumentos significativos en los contenidos de nitrógeno total y fósforo extraíble en el suelo acondicionado con respecto al control, mientras que desde el punto de vista morfológico se obtuvo la mayor altura de hoja para el tratamiento de 40 Mg.ha<sup>-1</sup>. En cuanto a los parámetros microbiológicos, los biosólidos empleados mostraron un contenido de coliformes fecales de 3,103 NMP.g<sup>-1</sup> constituyéndose en lodos clase B según la EPA, mientras que en las plantas cosechadas no se detectó coliformes fecales y *Salmonella*. La aplicación de biosólidos avícolas de la industria zuliana, estabilizados de manera aerobia, representa una alternativa para suplir los requerimientos nutricionales del cultivo de cebollín.

**Palabras clave:** Biosólido, industria avícola, digestión aerobia, cebollín (*Allium fistulosum* L)

# **Nutritional contribution of a poultry biosolid obtained in a process of aerobic digestion on the growing of green onion**

## **Abstract**

Biosolids generated in wastewater treatment systems contain macronutrients and micronutrients that are of great importance in the agronomic field. In this study the nutritional contribution of a poultry biosolids obtained in a process of aerobic digestion on the growing of green onion (*Allium fistulosum* L.) was evaluated. The biosolid was collected at the outlet of the sludge's treatment system from the poultry industry and three treatments were evaluated 0, 20 and 40 Mg.ha<sup>-1</sup> of biosolid and a control using chemical fertilizer 15:15:15. Significant increases in the contents of total nitrogen and extractable phosphorus were found in the soil conditioned with regard to the control, whereas from the morphologic point of view the major height of leaf was obtained for the treatment of 40 Mg.ha<sup>-1</sup>. Concerning to the microbiological parameters, the biosolids employed showed a content of 3.103 NMP.g<sup>-1</sup> fecal coliforms constituting class B sludge according to the EPA, while in the harvested plants it was not detected to

contain fecal coliform and Salmonella. The application of biosolids from the Zulia's poultry industry, aerobically stabilized, is an alternative to meet the nutritional requirements of growing green onions.

**Key words:** Biosolid, poultry industry, aerobic digestion, green onions (*Allium fistulosum* L.).

## Introducción

La disposición inadecuada de los biosólidos generados en procesos de tratamiento de aguas puede generar distintos problemas ambientales, derivados de una mala gestión de estos residuos, como son: la proliferación de vectores, la contaminación de suelos y aguas subterráneas, entre otros [1,2]. Como alternativa de reutilización su uso como acondicionadores en los suelos mejora sus propiedades texturales, dado que el material húmico que contienen mejora las capacidades físicas y la capacidad de intercambio catiónico del suelo [3]. Adicionalmente, los biosólidos de acuerdo a sus características y procesos de origen, contienen macronutrientes y micronutrientes esenciales para la fertilización de cultivos [4].

Debido al alto crecimiento poblacional existe un aumento en la generación de biosólidos, esto aunado a un crecimiento en la demanda de fertilizantes y al alto costo de los mismos, por lo que, una alternativa atractiva para muchos agricultores, a los fertilizantes químicos comerciales, es el uso de fertilizantes orgánicos como los biosólidos [5]. Actualmente, la industria avícola zuliana utiliza como alternativa de disposición de los biosólidos el relleno sanitario lo que genera gasto de transporte asociados por lo que se plantea buscar una opción más favorable que permita darle un valor adicional a este residuo.

La utilización de los biosólidos en Venezuela no está regulada por lo que sus posibilidades de reutilización son limitadas [6], en contraste, en países como Estados Unidos, Chile y México su manejo está regulado por normas que establecen las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final; al cumplir dichas normas los lodos residuales pueden ser aprovechados como abono orgánico en suelos agrícolas [7,8,9].

El estudio de la dinámica de los componentes nutricionales presentes en el lodo residual y su efecto sobre el cultivo, es fundamental para establecer un régimen óptimo de aplicación, ya que los biosólidos liberan lentamente los nutrientes, los cuales permanecen disponibles para la planta durante el ciclo de cultivo [10], por ello el objetivo de este estudio fue evaluar el aporte nutricional de un biosólido avícola, obtenido en un proceso de digestión aerobia, sobre un cultivo de cebollín.

## Parte Experimental

La unidad de estudio experimental consistió en una barbacoa construida dentro de un umbráculo localizado sobre una parcela experimental, ubicada en el Centro de Investigación del Agua (CIA) de la Universidad del Zulia. La misma se dividió en 12 unidades experimentales con los diferentes tratamientos. Cada unidad experimental tuvo un área de 0,80 metros cuadrados con 12 plantas de cebollín separadas 20 cm aproximadamente una de la otra.

Se evaluaron cuatro tratamientos T0 blanco, T20 suelo preacondicionado con 20 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo, T40 suelo preacondicionado con 40 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo y TF que es un suelo enriquecido químicamente empleando fertilizante químico comercial de fórmula 15:15:15. Se aplicaron análisis de comparación de medias por Tukey y el procesamiento de la información se realizó empleando el paquete estadístico SPSS.

El biosólido utilizado provino del tratamiento de agua residual generada durante el proceso de matanza de aves en una industria avícola ubicada en el estado Zulia, Venezuela. El sistema de tratamiento de aguas residuales tiene un proceso de lodos activados, y el lodo es estabilizado mediante digestión aerobia y secado en lechos de secado. El suelo utilizado para esta investigación fue extraído de una zona de cultivo de cebollín de la región zuliana y presentó un pH promedio de 8,23 con contenido de arenas de 80%, de limo de 15% y de arcilla de 5%, considerándose de clasificación textural Areno Francoso.

Se realizó el proceso de plantación a partir de una cepa inicial donde se seleccionaron las plantas más grandes, vigorosas y sanas y de características uniformes, luego se procedió al cortado del tallo verdadero para inducir un rápido crecimiento y se realizó la plantación a una profundidad de 4-5 cm. El ciclo de cultivo para el cebollín

comprendió un período de ocho semanas necesarias para el desarrollo de las plantas, durante las cuales se tomaron muestras de suelo de cada unidad experimental y se registraron las variables morfológicas de las plantas.

Las variables fisicoquímicas que se midieron en las muestras de suelos recolectadas fueron: pH, conductividad eléctrica, contenido de nitrógeno total Kjeldahl, contenido de fósforo, contenido de potasio y contenido de metales los cuales fueron determinados mediante los métodos establecidos para muestras de suelos y plantas por Ryan et al. [11]; mientras que los contenidos de coliformes fecales y de Salmonella fueron medidos empleando el estándar método para análisis de muestras de agua [12].

## Resultados y Discusión

### Caracterización inicial del biosólido

En la Tabla 1 se observa la caracterización inicial del biosólido avícola, este presentó un pH de 5,80, una conductividad eléctrica de 165,07  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  y un contenido de materia orgánica de 65,00 %. Desde el punto de vista nutricional los contenidos de nitrógeno total Kjeldahl y de fósforo total fueron de 4,48% y de 3,38% respectivamente. Estos contenidos presentes en el biosólido de origen avícola son superiores a los reportados por autores [13,14,15] e indican el alto valor potencial a nivel nutricional. Rathod et al. [13] obtuvieron valores de 2,00% de nitrógeno para lodo residual doméstico, mientras que Salcedo et al. [14] encontraron valores de de 2,00% de fósforo para lodo residual doméstico con aplicaciones satisfactorias para cultivos cebolla (*Allium Cepa*) y de maíz.

**Tabla 1. Caracterización fisicoquímica del lodo residual.**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
pH	5,80
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	165,07
Nitrógeno Total Kjeldahl (%)	4,48
Contenido de fósforo total (% $\text{P}_2\text{O}_5$ )	3,38
Contenido de potasio total (%K)	0,17
Contenido de materia orgánica (%)	65,00

Con relación a los factores que limitan la aplicación de biosólidos en actividades agrícolas se evaluaron los contenidos de metales regulados por normativas internacionales como lo son el plomo, cadmio, cromo, zinc y cobre obteniendo contenidos menores a los establecidos en las normas EPA y SERMARAT (Tabla 2). Estos resultados obtenidos coinciden con los obtenidos por Bedoya et al. [15] quienes reportan resultados similares al evaluar los contenidos de cromo, cadmio y plomo en lodos residuales de origen doméstico, todos los valores estuvieron dentro de los parámetros recomendados por la norma.

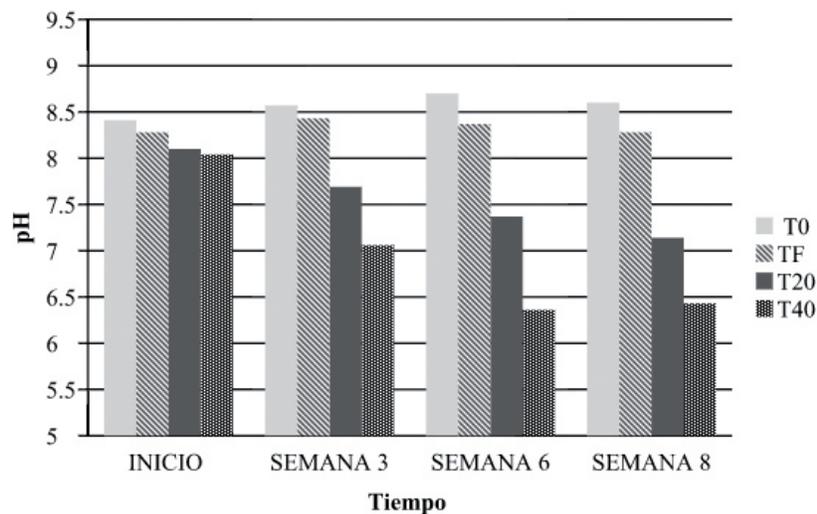
Desde el punto de vista microbiológico, el biosólido avícola presenta un contenido de coliformes fecales mayor a 1000 NMP.g-1 (Tabla 2), por lo que excede el valor recomendado por las normativas para caracterizarse como lodo clase A, apropiado para su uso a nivel agronómico. Sin embargo, autores como Torres et al. [16] sugieren que la aplicación de tratamientos posteriores como el tratamiento alcalino o el compostaje pueden mejorar las características microbiológicas del lodo residual.

**Tabla 2. Contenido de metales y características microbiológicas del biosólido.**

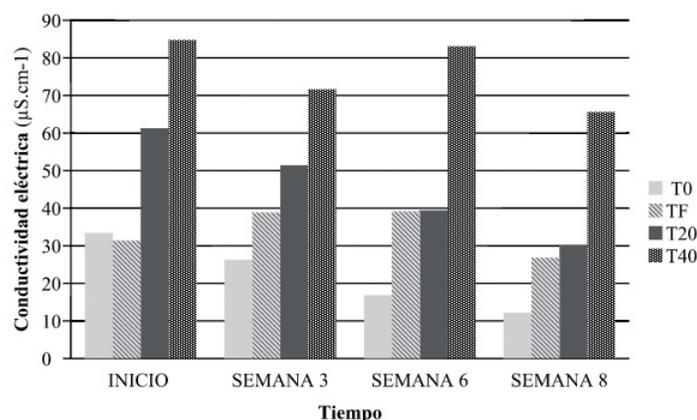
Parámetro	Biosólido avícola	Estados Unidos (EPA) <sup>7</sup>	México (SERMARAT) <sup>9</sup>
Plomo (mg.kg <sup>-1</sup> )	35,45	300	300
Cadmio (mg.kg <sup>-1</sup> )	3,52	40	39
Cromo (mg.kg <sup>-1</sup> )	32,42	3000	1200
Zinc (mg.kg <sup>-1</sup> )	286,15	2800	2000
Cobre (mg.kg <sup>-1</sup> )	394,17	1600	1000
Coliformes fecales (NMP.g <sup>-1</sup> )	3*10 <sup>3</sup>	Menor de 1000 (Lodo clase A)	Menor de 1000 (Lodo clase A)
<i>Salmonella</i> (NMP.g <sup>-1</sup> )	Ausente	Ausente	Ausente

### Características fisicoquímicas durante el proceso de cultivo

Los valores de pH encontrados a lo largo del periodo de cultivo se observan en la Figura 1, presentándose en la fase inicial del ciclo valores mínimos de 8,04 y máximos de 8,41 unidades, considerados de neutros a medianamente básicos. Se observa que el tratamiento control y el blanco mantuvieron los valores de pH a lo largo del cultivo, mientras que en los tratamientos T20 y T40 el pH decreció, desde pH de 8,10 y 8,04 hasta valores de 7,14 y 6,43, respectivamente.

**Figura 1. Valores de pH en el suelo acondicionado durante el ciclo de cultivo.**

Por otra parte, a medida que la dosis de biosólido en el suelo es mayor el pH disminuye, por esta razón se podría decir que el material aporta acidez al suelo acondicionado. Además, el suelo acondicionado fue más ácido que T0 y TF; coincidiendo así con Ortiz et al. [17] quienes en su investigación encontraron que después de la adición del lodo residual al suelo el pH presentó diferencias significativas ya que cambió de alcalino a ligeramente ácido (7,23 a 6,82). Igualmente, Caldera et al. [18] observaron una disminución del valor del pH con respecto al incremento de la dosis de lodo y con relación al valor inicial del suelo, sugirieron que esto podría deberse al aporte de acidez del lodo que estaban empleando.



**Figura 2. Valores de conductividad eléctrica en el suelo acondicionado durante el ciclo de cultivo.**

En la Figura 2, se puede observar que la conductividad eléctrica es mayor en los tratamientos T20 y T40 que en los TF y T0. Con relación al nivel de biosólido aplicado, la mayor conductividad eléctrica se encontró en T40 de 84,77  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  y este comportamiento se mantuvo a lo largo del ciclo, siendo originado por la presencia de sales en el biosólido avícola que mostró un valor de conductividad marcadamente mayor al valor de conductividad del suelo.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Jamil et al. [19] quienes mostraron en su estudio que la conductividad eléctrica en el suelo con tratamiento de lodo aumentó luego de la aplicación de lodos residuales. Adicionalmente, se puede observar que entre el principio y el final del ciclo de cultivo hubo una disminución en los niveles de conductividad para todos los tratamientos, posiblemente debido a que las sales solubles en el suelo se ionizaron produciendo así las cargas necesarias para la captación de los cationes contenidos en los nutrientes del suelo acondicionado producto del riego periódico.

#### **Contenido de nitrógeno total Kjeldahl, fósforo extraíble y potasio intercambiable en el suelo acondicionado**

Con respecto al contenido de nitrógeno total Kjeldahl en el suelo acondicionado se puede observar en la Tabla 3 que se evidenciaron diferencias significativas con relación al nivel de biosólido aplicado. El tratamiento T40 presentó el mayor contenido de nitrógeno de 602,43  $\text{mg.kg}^{-1}$  al inicio del ciclo de cultivo y a su vez los tratamientos T20 y TF presentaron contenidos de nitrógeno más elevados que el presentado por T0 de manera significativa.

Este aumento en el contenido de nitrógeno coincide con los resultados presentados por Rathod et al. [13] quienes evaluaron la utilización de lodo residual durante el cultivo de cebolla (*Allium Cepa*) encontrando aumento en los niveles de nitrógeno en el suelo acondicionado con lodo residual, destacando que el lodo residual puede ser un sustituto para suplir el nitrógeno requerido por esta planta. Por otra parte, para todos los tratamientos incluyendo T0, se presentó una disminución gradual del contenido de nitrógeno a medida que transcurría el ciclo de cultivo lo que puede originarse por distintos factores entre los cuales están el consumo por parte de las plantas, la volatilización del nitrógeno y la lixiviación ocasionada por el riego periódico.

**Tabla 3. Contenido de nitrógeno total, fósforo extraíble y de potasio intercambiable en el suelo acondicionado (mg.kg-1).**

Tratamiento	Nitrógeno Total		Fósforo extraíble		Potasio intercambiable	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
<b>T0</b>	124,68 <sup>c</sup>	91,76 <sup>b</sup>	19,81 <sup>b</sup>	22,48 <sup>b</sup>	41,13 <sup>b</sup>	39,40 <sup>b</sup>
<b>TF</b>	231,16 <sup>bc</sup>	98,07 <sup>b</sup>	68,37 <sup>a</sup>	28,42 <sup>b</sup>	98,97 <sup>a</sup>	98,07 <sup>a</sup>
<b>T20</b>	434,31 <sup>ab</sup>	196,14 <sup>b</sup>	68,88 <sup>a</sup>	63,32 <sup>a</sup>	61,63 <sup>ab</sup>	42,80 <sup>b</sup>
<b>T40</b>	602,43 <sup>a</sup>	441,31 <sup>a</sup>	65,16 <sup>a</sup>	68,20 <sup>a</sup>	75,63 <sup>ab</sup>	42,15 <sup>b</sup>

Letras diferentes en cada columna indican medias significativamente diferentes por Tukey a un  $\alpha < 0,05$

Con respecto al contenido de fósforo extraíble en el suelo acondicionado respecto al nivel de biosólido aplicado se obtuvo el mayor contenido de fósforo extraíble para T20 al inicio del ciclo de 68,88 mg.kg-1. Este valor fue significativamente similar al obtenido para TF indicando un aporte similar de este nutriente en su forma extraíble por parte del biosólido, efecto que coincide con el estudio presentado por Potisek et al. [20] quienes reportaron aumentos significativos en el fósforo luego de la aplicación de lodos residuales, concluyendo que este material es una fuente potencial de nutrimentos para las plantas.

Es necesario destacar que al final del ciclo de cultivo los valores de fósforo para los tratamientos donde se utilizó biosólidos se mantienen estables, en contraste con los presentados por el fertilizante químico donde se observó una disminución hasta niveles significativamente similares al blanco en la semana 8. Este comportamiento puede relacionarse al efecto gradual de disponibilidad de este nutriente característico de los fertilizantes orgánicos y a la poca movilidad de este nutriente. Finalmente, los tratamientos donde se aplicó biosólido muestran cantidades significativamente iguales de potasio que el suelo sin ningún tipo de tratamiento (T0), lo que evidencia un escaso aporte por parte del lodo de este elemento en su forma extraíble.

### Caracterización de las plantas de cebollín al momento de la cosecha

Durante el análisis de comparación de medias establecido en la Tabla 4 es importante destacar que se presentaron diferencias significativas relacionadas al nivel de biosólido aplicado cuando se analizó la variable altura de la hoja y diámetro del pseudotallo, donde se observó que la mayor longitud la presentaron las plantas que crecieron en suelos que recibieron biosólidos avícolas (T20 y T40), siendo el mayor T40 con una altura promedio de 32,97 cm y un diámetro de 5,23 cm. En contraste, no se detectaron diferencias significativas relacionadas a las variables número de macollas y longitud de la raíz probablemente debido a la baja sensibilidad de estos parámetros y a la dispersión mostrada en los resultados para estos indicadores.

Autores como García et al. [21] evaluaron los niveles de minerales en cultivos sembrados en suelos preparados con lodos de industrias lácteas y afirman que el mejor crecimiento de la planta se observó cuando se emplearon las dosis de T20 y T40 coincidiendo así con los resultados obtenidos para este estudio, por lo que se deduce que los nutrientes aportados por el biosólido avícola generan un mejor crecimiento en cuanto a la altura de las plantas de cebollín y otras variables morfológicas cuando se emplean niveles adecuados de lodo que permiten suplir los requerimientos nutricionales de las plantas en niveles equilibrados.

**Tabla 4. Variables morfológicas de las plantas al final del ciclo de cultivo.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Longitud de la hoja (cm)</b>	<b>Diámetro del pseudotallo(cm)</b>	<b>Número de macollas</b>	<b>Longitud de la raíz</b>
<b>T0</b>	22,40 <sup>c</sup>	3,37 <sup>c</sup>	15,00 <sup>a</sup>	6,10 <sup>a</sup>
<b>TF</b>	27,67 <sup>ab</sup>	3,90 <sup>ab</sup>	19,00 <sup>a</sup>	5,90 <sup>a</sup>
<b>T20</b>	28,80 <sup>ab</sup>	4,50 <sup>ab</sup>	14,00 <sup>a</sup>	5,10 <sup>a</sup>
<b>T40</b>	32,97 <sup>a</sup>	5,23 <sup>a</sup>	13,67 <sup>a</sup>	5,53 <sup>a</sup>

Letras diferentes en cada columna indican medias significativamente diferentes por Tukey a un  $\alpha < 0,05$

Por otra parte, en la Tabla 5 se observa el contenido de metales y de indicadores microbiológicos en las plantas de cebollín al momento de la cosecha resaltándose que los contenidos de cromo, cobalto y cobre presentes en el tejido de las plantas no aumentaron de manera significativa con respecto al nivel de biosólido aplicado. Este comportamiento es comparable al presentado por Hossain et al. [22] quienes evaluaron el contenido de diversos metales incluyendo los metales mencionados y determinaron que no existió una bioacumulación significativa en frutos de tomate empleando lodo residual

**Tabla 5. Contenido de metales y de indicadores microbiológicos en las plantas de cebollín al momento de la cosecha.**

<b>Tratamiento</b>	<b>T0</b>	<b>T20</b>	<b>T40</b>
Cromo (mg.kg <sup>-1</sup> )	3.24 <sup>a</sup>	3.80 <sup>a</sup>	3.67 <sup>a</sup>
Zinc (mg.kg <sup>-1</sup> )	44,72 <sup>b</sup>	63,02 <sup>ab</sup>	71,76 <sup>a</sup>
Cobalto (mg.kg <sup>-1</sup> )	1.70 <sup>a</sup>	2.01 <sup>a</sup>	2.31 <sup>a</sup>
Cobre (mg.kg <sup>-1</sup> )	8.32 <sup>a</sup>	10.62 <sup>a</sup>	11.83 <sup>a</sup>
Coliformes fecales (NMP.g <sup>-1</sup> )	Ausente	Ausente	Ausente
<i>Salmonella</i> (NMP.g <sup>-1</sup> )	Ausente	Ausente	Ausente

Letras diferentes en cada columna indican medias significativamente diferentes por Tukey a un  $\alpha < 0,05$

En contraste, el nivel de zinc en las plantas fue mayor significativamente para T40 (71,76 mg.kg-1) con respecto al blanco (44,72 mg.kg-1). Este aumento es consecuencia del aporte del biosólido que posee un contenido de zinc de 286,15 mg.kg-1 mayor al del suelo (48,24 mg.kg-1). Este efecto acumulativo de zinc concuerda con el obtenido por Day et al. [23], quienes encontraron un incremento en el nivel de zinc en las hojas para un cultivo de *D. morfolium*. Finalmente, desde el punto de vista microbiológico en las plantas cosechadas no se detectó contenido de coliformes fecales y de *Salmonella* indicando que el cultivo no presenta contaminación microbiológica de acuerdo a estos dos indicadores importantes.

## Conclusiones

La aplicación de biosólidos avícolas de la industria zuliana, estabilizados de manera aerobia, representa una alternativa para suplir los requerimientos nutricionales del cultivo de cebollín.

El biosólido avícola, estabilizados de manera aerobia, no presenta limitaciones de acuerdo al contenido de metales, en contraste, su contenido coliformes fecales indica la necesidad de postratamiento para su acondicionamiento microbiológico.

## Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES) de la Universidad del Zulia (LUZ) por el financiamiento de este proyecto.

## Referencias Bibliográficas

1. Ferradás M., Núñez A. y Seoane S. Riesgos de contaminación por lixiviados de enmiendas orgánicas estabilizadas aplicadas sobre suelos. *Edafología*, Vol. 10, No. 2, (2003), 161-170.
2. EPA. Environmental Regulations and Technology. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. Estados Unidos. (2003).
3. Manahan S. Introducción a la química ambiental. Primera Edición. Editorial Reverte: México. (2007).
4. Mtshali J., Tiruneh A. y Fadiran A. Characterization of sewage sludge generated from wastewater treatment plants in Swaziland in relation to agricultural uses. *Resources and Environment*, Vol. 4, No. 4, (2014), 190-199.
5. Khalid U., Sarfaraz K. , Said G. , Muhammad U., Niamatullah K. , Muhammad A. y Shad K. Sewage sludge: an important biological resource for sustainable agriculture and its environmental implications. *American Journal of Plant Sciences*, Vol. 3, (2012), 1708-1720
6. Martínez Y., Fung Y., Brea Y. y Subero N. Evaluación del contenido de fósforo en un suelo agrícola de la cuenca del lago de Valencia tratado con lodo proveniente de una industria de alimentos. *Ingeniería y Sociedad*, Vol. 7, No. 147, (2012), 69-78.
7. EPA. Part 503 Implementation Guidance. Estados Unidos. (1985).
8. CONAMA. Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas. Chile. (2009).
9. SERMANAT. Norma oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. (2002).
10. Henry C., Sullivan R., Dorsey K. y Cogger C. Managing nitrogen from biosolids. Washington state department of ecology. North West Biosolids Management Association. (1999).
11. Ryan J., Estefan G., y Rashid A. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. International Centre for Agricultural Research in dry areas ICARDA. Segunda Edición: Siria. (2001).
12. APHA, AWWA y WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. Vigésima Edición: Estados Unidos. (1998).
13. Rathod P., Patel J, Shah M. y Jhala A. Recycling gamma irradiated sewage sludge as fertilizer: a case study using onion. *Applied Soil Ecology*, Vol.4, No.1, (2009). 223-233.

14. Salcedo E., Vazquez A., Krihnamurty L., Zamora F., Hernandez E. y Rodríguez R. Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco. México. *Interciencia*, Vol. 32, No. 2, (2007), 115-120.
15. Bedoya K., Acevedo J., Peláez J. y Agudelo S. Caracterización de biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí. *Revista de Salud Pública de la Universidad Nacional de Colombia*, Vol. 15, No. 5, (2013), 778-790.
16. Torres P. y Madera J. Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista EIA*, Vol. 11, (2009), 21-37.
17. Ortiz M., Sánchez E., y Gutiérrez M. Efectos de la adición de lodos residuales sobre un suelo agrícola y un cultivo de maíz. México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Vol. 15, No. 2, (2003), 69-77.
18. Caldera Y., Gutiérrez E., Blanco E., Torres M., y Gutiérrez E. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de lodo residual como acondicionador de suelo durante el crecimiento de un cultivo de Cebollín. *Ciencia*. Vol. 15 No.3, 2007, 371-379.
19. Jamil M., Qasim M. y Umar M. Utilization of sewage sludge as organic fertilizer in sustainable agricultura. *Journal of Applied Science*, Vol. 6, No. 3, (2006), 531 – 535.
20. Potisek M., Figueroa U., González G., Jasso R. y Orona I. Aplicación de biosólidos al suelo y su efecto sobre contenido de materia orgánica y nutrimentos. *Terra Latinoamericana*. Vol. 28, No. 4. (2010), 327-333.
21. García Y., Ferrer O., Marín M. y Gado J. Niveles de minerales en cultivos sembrados en suelos preparados con lodos de industrias lácteas. *Ciencia*, Vol. 7, No.1, (1999), 46-56.
22. Hossain M., Strezov V., Chan K. y Nelson P. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere*, Vol. 78. No. 9, (2010), 1167 – 1171.
23. Day J., Chen L., Zhao J., y Na M. Characteristics of sewage sludge and distribution of heavy metal in plants with amendment of sewage sludge. *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 18, No.6, (2006), 1094-1100.

