

TRANSFORMACIÓN DEL CONTENIDO RUMINAL EN ABONO ORGÁNICO: UNA ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.

Bohórquez Sandoval, Lady; Pulido Soler, Nancy; Murillo Arango, Walter; García Molano, Francisco.

RESUMEN

Actualmente el contenido ruminal es un residuo que genera grandes problemas de contaminación ambiental, por ello en este trabajo se implementa la transformación biológica de material ruminal en abono orgánico, como estrategia para la mitigación del impacto ambiental. Se evaluaron tres tratamientos diferenciados por el tamaño de las camas de compostaje, durante un periodo de 90 días, bajo las siguientes etapas metodológicas: Se inició por monitorear las variables físico-químicas: pH, humedad y temperatura, así como la densidad poblacional de la lombriz roja californiana durante el proceso, se evaluó el impacto ambiental a través de una matriz causa- efecto que mostró que la transformación del contenido ruminal contribuye en la disminución de impactos negativos en el agua, al aire y al suelo así como la determinación de la DQO teórica, se efectuó la valoración del producto teniendo en cuenta la calidad físico-química y microbiológica bajo la norma NTC 5167. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ni las variables mencionadas, en el proceso de transformación del material, demostrando que no hay influencia directa en el crecimiento y densidad poblacional de *Eisenia foetida*. La DQO teórica fue de 49,864g/año que indica que se deja de verter esta cantidad de residuos a las fuentes de agua y suelo, con lo cual se disminuyen el impacto sobre los ecosistemas. Los análisis microbiológicos y físico-químicos, muestran que el proceso de transformación de material ruminal en abono orgánico realizado en la planta Fertisoluciones, está dentro de los parámetros de inocuidad exigidos por la NTC 5167.

Palabras Clave: Contenido ruminal, abono orgánico, mitigación de impacto, valor agregado.

ABSTRACT

Nowadays, the ruminal content is an organic waste that helps to the environment contamination, that's why in this paper research it is explained the way how it could be transformed into an organic fertilizer as a strategy to reduce the previous explained negative impact. Three different treatment were evaluated according to the screening beds size during a period of 90 days, under the following methodological stages: At the beginning it was necessary to monitor the physiochemical variables: Ph, humidity and temperature; also, the population density of the California redworm during all the process. The environmental impact was also considered throughout a cause-effect matrix which showed that the transformation of the ruminal bolus helps to reduce the negative impact in the water, the air and the soil and also in the Theoretical COD. The estimation of the product was carried out keeping in mind the physiochemical and microbiological quality proposed in the law NTC 5167. No meaningful differences were found in both treatments and in the mentioned variables in the material transformation process, whaty shows that there is not any direct influence both in the growth and in the population density of the redworm *Eisenia Foetida*. The Theoretical COD was estimated in 49,864g/per year, what indicates that all this number is poured on the soil and in the water, which reduces the impact on the ecosystems. Both microbiologic and physiochemical analysis show that the material's transformation process into an organic fertilizer carried out in the plant of Fertisoluciones is placed in the normal parameters of harmlessness demanded by the law NTC 5167.

Key words: rumen content, compost, impact mitigation, added value.

Introducción

El tratamiento de los desechos sólidos eliminados en las plantas de sacrificio de ganado vacuno, ha generado muchos focos de contaminación a lo largo de la historia de la humanidad. Así mismo, Colombia no escapa de esta problemática ambiental, ya que a pesar de tener una política pública que apunta a evitar estas situaciones no se cumple a cabalidad, ocasionando un incremento de la carga orgánica en

los efluentes cercanos a dichas plantas, fomentando la contaminación del suelo, aire y agua. Es imperante un apropiado manejo y aprovechamiento de los residuos derivados de esta actividad.

Como lo menciona (Guerrero E., J.; Ramírez F., I., 2004), "esta situación es especialmente difícil en los municipios pequeños, donde las limitaciones técnicas y económicas no permiten poner en funcionamiento medidas de manejo ambiental complejas que

solucionen el problema de forma definitiva". Normalmente, los desechos sólidos generados en las plantas de sacrificio se han limitado a su eliminación, algunos se depositan en las fuentes de agua e incluso terminan en los rellenos sanitarios de los pequeños municipios.

Por ende, en la actualidad se abren caminos para el aprovechamiento de estos desechos generando productos que sirvan al proceso de reciclado de los residuos orgánicos, además de la obtención de valor agregado. De esta manera, el vermicompostaje surge como una de las principales soluciones para la reutilización de materiales como el contenido ruminal siendo transformado en abono orgánico. El uso de este tipo de enmiendas se ve favorecido frente al uso convencional de fertilizantes y pesticidas, de los cuales se han venido usando intensamente dentro del proceso de la agricultura industrial, lo que ha ocasionado el debilitamiento del suelo y a su vez, el aumento del costo de producción, (Herrera, O. , 1991).

En los últimos años, la transformación del contenido ruminal ha adquirido mayor relevancia, debido a sus características físico-químicas que pueden ofrecer mejoras a las condiciones edáficas para los cultivos; además de ser una solución ambiental para restablecer muchas de las propiedades del suelo; dentro de ellas, la mejora a la actividad biológica, el aumento de la capacidad de absorción y retención de humedad, entre otras (Pereira, M. G., & Arruda, M. A. , 2003).

Desde las consideraciones anteriores, se establece que el contenido ruminal en lugar de ser una sustancia contaminante, es valiosa materia prima para la fabricación del vermicompost, pues como lo anuncia (Jara A. Margarita, & et. al., 2016) Citando a (Ayala G., & Perea T., 2000) tiene una gran carga microbiana que ayuda a la estabilización de las propiedades del suelo anteriormente mencionadas.

Por lo tanto, en este estudio se propone la utilización de material ruminal generado en la planta de sacrificio del Municipio de Ventaquemada, como fuente para la producción de abono orgánico, analizando además la agregación de valor obtenida con la transformación biológica del producto en vermicompost, la mitigación del impacto ambiental generada por el aprovechamiento de la materia orgánica, revisando finalmente que se cumplan con las características a nivel fisicoquímico y microbiológico contemplados en la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 para este tipo de productos.

Materiales y métodos:

El trabajo se llevó a cabo en la planta de procesamiento de la empresa Fertisoluciones S.A., ubicada en el departamento de Boyacá, municipio de Ventaquemada -Vereda Bojirque, con una altura de 2,829 msnm, 0523,46° latitud norte, 732900° longitud Oeste, con un área de 6400m² y una temperatura promedio de 11°C. Inicialmente se recogió el contenido ruminal en la planta de sacrificio de Villapinzón, y se transportó hasta las instalaciones de la planta de procesamiento, luego se almacenó en pilas de 10 m³, durante 120 días cubierto con plástico manteniendo un pH de 6,74, temperatura de 15,7°C y una humedad 80,2 %, luego se llevó el contenido ruminal a 3 camas de lombriz que representaron tres tratamientos diferenciados por el tamaño de las camas de compostaje con el siguiente volumen respectivamente: Cama 1= 5,94 m³, Cama 2 = 23,01 m³, Cama 3 = 16,74 m³, durante un periodo de 90 días, se determinó la densidad poblacional de la lombriz teniendo en cuenta los estados: cápsula, juveniles y adultos ; para ello se utilizó la ecuación 5 propuesta por (Schuldt, M. & et. al., 1998). Para determinar la influencia de cada variable se realizó un análisis de varianza ANOVA Simple utilizando el programa estadístico StatGraphic, con un nivel de significancia del 0.05 para todas las variables. Se verificó la normalidad de cada variable respuesta y aquellas que no presentaron normalidad en los datos, se les realizó la prueba de Kruskal Wallis. Se monitorearon in situ las variables pH , humedad y temperatura durante el proceso evaluando su comportamiento cada 15 días , para ello se tomaron sub-muestras en zig-zag iniciando con una profundidad de 5 cm y finalizando a los 10 cm; estas sub-muestras se reunieron en una muestra compuesta de aproximadamente 500g por cama y se llevaron al laboratorio de suelos de la Fundación Universitaria Juan de Castellanos de Tunja, el pH se evaluó por el método de potenciometría con una solución de KOH en relación 1:1; en cuanto a la humedad, se trabajó la técnica de gravimetría en base húmeda, 70°C por 48 horas y finalmente se llevó el registro de la temperatura in situ; por cada muestro se realizaron 3 repeticiones por cada tratamiento (Cama 1: T1; Cama 2: T2 y Cama 3: T3), con el fin de obtener el promedio para cada variable.

Seguidamente se evaluó el impacto ambiental a través de la aplicación de una matriz causa- efecto, valorando los aspectos bióticos, abióticos y socioeconómicos de la planta Fertisoluciones, manifestándose la adversidad de las acciones y calificándose de 1 a 10 de menor a mayor, anteponiendo un signo (+) para los efectos positivos y (-) para los negativos, así como se determinó el

potencial impacto que tiene la planta de transformación, sobre la calidad de los componentes analizados en una escala de 1 a 10 en orden creciente de importancia. También se calculó la DQO teórica a partir de la determinación de la humedad y el carbono orgánico, el cual se obtuvo a partir del contenido de cenizas mediante calcinación presente en el material ruminal, para determinar cuánta contaminación se está evitando con el proceso de transformación en la planta Fertisoluciones, a través de la metodología utilizada por (Roper P., R., 2015)

Al finalizar la transformación del material se realizó una caracterización del vermicompost resultante y se determinó: estado, color, textura, tamaño de la partícula, pH, Humedad, Macronutrientes (N, P, K, Ca), Micronutrientes (Mg, Zn, Na), Carbono orgánico,

Capacidad de intercambio catiónico, CIC/CO, Conductividad eléctrica, Capacidad de retención de agua, Cenizas, densidad y relación C/N.

Para medir la calidad microbiológica del vermicompost, se tomaron muestras de 1500g para cada tratamiento. Se realizó el análisis microbiológico de acuerdo al protocolo establecido en la NTC 5167, analizando *Enterobacterias*, *Salmonella*, mesófilos, termófilos, mohos, levaduras, Nemátodos y protozoos. Además, se evaluó ensayos fitotóxicos y respirométricos.

Para la determinación del valor agregado, se tuvo en cuenta la caracterización microbiológica y físico-química del producto final, se determinó el efecto de la aplicación del vermicompost sobre las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, con base en la revisión de literatura.

Resultados y discusión:

Impactos Ambientales Planta Fertisoluciones:

Tabla 1: Impactos negativos planta Fertisoluciones

Proceso	Magnitud		Impacto			
		Valoración cualitativa	Valoración cuantitativa	Valoración cualitativa	Valoración cuantitativa	
Área de descarga	Alta	Afectación a la calidad del agua por producción de lixiviados, afectación a la calidad del suelo y producción de malos olores.	-7	Alta	No se ha producido ningún proceso de tratamiento a los lixiviados, ni a la producción de olores.	5
Transporte de material ruminal a la planta	Alta	Afectación a la calidad del aire y producción de olores desagradables. Contribuye a la proliferación de insectos.	-5	Medio	No se trata la producción de olores, hasta que se inicia el proceso de transformación.	3
Operarios	Medio	Afectación a los operarios por la producción de malos olores puede generar problemas a la salud y la higiene.	-5	Medio	No hay uso de implementos de bioseguridad.	4

Fuente: Propia

La calidad del agua y el suelo:

Se ve afectada por la producción de lixiviados en el área de descarga, generados por la alta concentración de humedad (80%), con la que llega el material ruminal a la planta de transformación; por lo tanto, se evidencia que hace falta un sistema de canalización y posterior tratamiento.

Calidad del aire:

Se ve afectada por la producción de malos olores, durante el transporte del material ruminal desde la planta de sacrificio hacia la planta de transformación, y su disposición en las pilas, lo que también ocasiona la proliferación de insectos que pueden llegar a ser vectores de enfermedades, para las personas que laboran en la planta de tratamiento. Esto disminuye

cuando el material es transportado a las camas donde se inicia el proceso de transformación.

Factor socioeconómico:

Se evidenció que los operarios no manejan las normas mínimas de bioseguridad, lo cual genera que al tener contacto directo con el material ruminal y con los olores que se producen por este material sin transformar, pueda generar problemas a la salud.

En la tabla 2, se relacionan los impactos positivos en materia ambiental que ofrece la planta de transformación Fertisoluciones S.A. Es importante resaltar que los efectos negativos que se mencionaban en la tabla 1, corresponden a las primeras etapas; es decir, al material ruminal utilizado no ha iniciado ningún tratamiento.

Lo anterior, comparado con la gran disminución de los impactos al agua, al aire y al suelo cuando se deposita el material en las pilas, y luego es transportado a las camas de vermicompostación, los efectos negativos son casi nulos, donde no se evidencia la producción de lixiviados.

Cuando comienza el proceso realizado por la lombriz roja californiana, se contribuye a reducir dichos efectos. Cabe destacar que en dicha planta no hay presencia de aves ni de roedores; por lo tanto, las condiciones de control de plagas son buenas y evitan la proliferación de estos individuos.

(Guerrero, J., & Ramirez, I., 2004) afirman que, al darle tratamiento a los residuos procedentes de las plantas de sacrificio, se reduce hasta en un 85% los parámetros de DBO₅, DQO y SST.

Tabla 2: Impactos positivos Planta Fertisoluciones

Proceso	Magnitud		Impacto			
	Valoración cualitativa	Valoración cuantitativa	Valoración cualitativa	Valoración cuantitativa		
Pilas con material ruminal	Alta	Al encontrarse el material ruminal en las pilas, se mejora el uso del suelo y disminuye el proceso de contaminación por lixiviados. Reduce las modificaciones al paisaje.	+6	Media	Contribuye con la disminución de lixiviados en el suelo y agua.	5
Área de transformación	Alta	Mejora la calidad del aire, junto con el uso del suelo.	+6	Media	Al no haber contacto con el suelo, disminuye los efectos del material al mismo.	5
Camas de vermicompostaje	Alta	Mejora la calidad del aire, junto con el uso del suelo. Baja la proliferación de insectos.	+6	Media	Al no haber contacto con el suelo, disminuye los efectos del material al mismo. Disminuye la producción de olores desagradables.	5
Zona de secado y empaquetado	Alta	Se baja la humedad del vermicompost, lo que garantiza que en esta zona no se tenga ni insectos ni olores desagradables.	+6	Media	No se encuentran ni roedores, ni insectos, lo cual garantiza la calidad del proceso.	4

Fuente: Propia

Para el caso directo de la planta de sacrificio de Villapinzón la DQO registrada para el material ruminal por año es de 49.864g, lo cual indica que se deja de

verter esta cantidad a las fuentes de agua y suelo aledaños a la planta de Sacrificio, este dato es comparable a la DQO registrada por 1,333 personas/

año (Ropero P., R. , 2015). Según datos de (Guerrero, J., & Ramirez, I. , 2004), más o menos el 84% de los mataderos en Colombia, vierten el contenido ruminal directamente al agua y al suelo; lo cual indica un alto potencial contaminante, por lo que no puede ser vertido directamente al alcantarillado o cuerpo receptor, esto es debido a que este material está compuesto principalmente por lignina, siendo su proceso de degradación difícil y lento por parte de los microorganismos, (Chaux, G. & et. al. , 2009).

De esta manera, si este proceso de transformación que realiza la Planta Fertisoluciones, se extrapolara a la mayoría de las plantas de sacrificio se reduciría considerablemente la contaminación por este material, convirtiéndolo en un producto con alto potencial en la estabilización de los suelos y reintegrando al mismo, los nutrientes como C, N, P, K entre otros.

Variables físico-químicas durante el proceso de transformación:

En la figura 1 que representa la tendencia del pH se observa que los tratamientos T1 y T3 presentaron aumento en el valor de pH en diferentes días del proceso de transformación, esto se debe a que los procesos aeróbicos favorecidos por una alta humedad contribuyen a la formación de hidróxidos básicos, con lo cual el pH sube, (Camiletti M., J., 2016).

De la misma manera, se observa que los tres tratamientos presentaron descensos en los valores de pH, aunque el T2 en el día 60 presentó el menor valor registrado ($5,67 \pm 0,56$), esto puede deberse a que el T2 presenta el mayor volumen de los tratamientos utilizados y por lo tanto fue más difícil realizar la toma de datos en los mismos puntos en cada toma.

Figura 1: pH/tratamiento

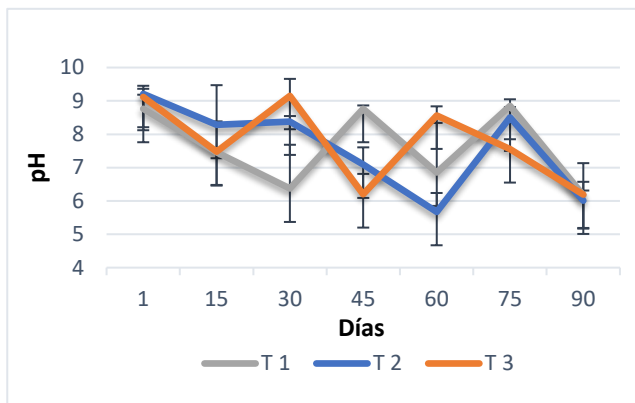


Figura 2: Humedad/tratamiento

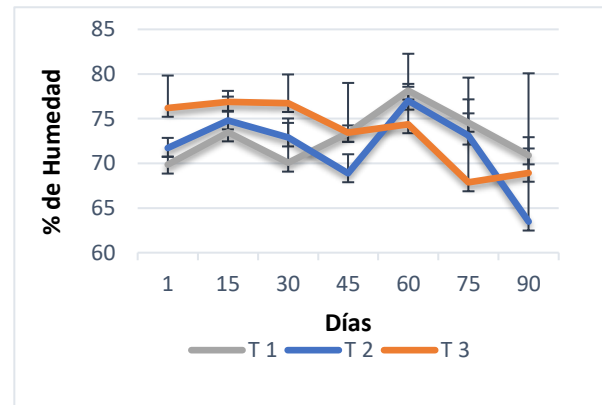
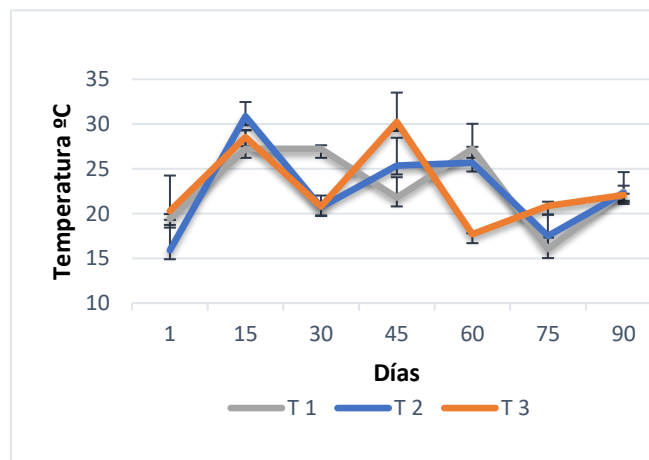


Figura 3: Temperatura/tratamiento



Fuente: Propia

Este comportamiento puede estar relacionado a la transformación del nitrógeno en nitritos o nitratos, así como a las reacciones de transformación del fósforo

orgánico en orto-fosfatos, (Camiletti M., J., 2016), que pudo ser más demorado en los demás tratamientos.

Dicho proceso se estabilizó en un pH entre 6,01 y 6,19, valores ligeramente ácidos pero que coinciden con los rangos exigidos en la (NTC 5167, 2004), que contempla un rango de pH para abonos orgánicos sólidos mayor de 4 y menor de 9. Igualmente, estos valores están acorde con las condiciones óptimas para el desarrollo de la lombriz roja californiana *Eisenia foetida* que están dentro de los rangos de 5 a 8 (Lim, S. L. & et. al. , 2016).

Analizando la figura 2 que muestra la tendencia del porcentaje de humedad en los tres tratamientos, se observa que el T1 inicia el proceso de transformación con un porcentaje de 69,85, mientras que los tratamientos 2 y 3 comienzan en 71,72% ($\pm 1,12$) y 76,21% ($\pm 3,61$) respectivamente. El T1 y T2 presentan mayor variabilidad en los datos obtenidos, mientras que en el T3 se presenta una menor variabilidad, coincidiendo con las desviaciones estándar que son mayores para los T1 y T2 especialmente al finalizar la transformación. Los valores de humedad finales para los tres tratamientos, estuvieron entre 63% ($\pm 8,18$) y 71% ($\pm 9,19$); de acuerdo a estos datos, se evidencia que el proceso de transformación se llevó a cabo con las condiciones óptimas de humedad coincidiendo con los reportes que se tienen de trabajos como el de (Eulloque G., J. , 2013), quien reporta que el rango de humedad para vermicompost está en el rango de 60%-90%, otras investigaciones reportan un rango de 65-75% (Majlessi, M. & et.al., 2012). Es importante resaltar que finalizado el proceso de vermicompostación en las camas, el material resultante es trasladado a la zona de secado, donde los valores de humedad bajan para que comience la fase de empaquetado y se coincida con los rangos estipulados por la (NTC 5167, 2004) con un valor máximo de 35% de humedad para abonos orgánicos sólidos.

Así mismo, el análisis de varianza para pH y humedad, muestra que no se presentaron diferencias significativas para los diferentes tratamientos.

La figura 3, muestra los datos obtenidos de temperatura para los tres tratamientos. Al inicio del proceso el T1 registró una temperatura de 19,43 °C ($\pm 0,51$), muy similar a la temperatura de T3 que tuvo una temperatura de 20,30 °C ($\pm 3,95$), mientras que el T2 comenzó el proceso con una temperatura de 15,90 °C ($\pm 2,83$). Finalizando el proceso en el día 90, la temperatura en los tres tratamientos tiende a tener el mismo valor, con un promedio 22,2 °C ($\pm 2,20$). Las mayores desviaciones estándar se registraron en el T2 y T3 en donde el día 1 y 45 presentaron valores de 3 a 3,95. Autores como (Prasanna Kumar, B. , 2016),

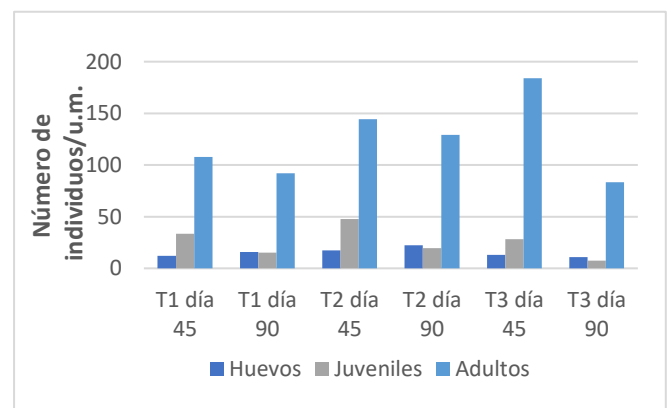
reportan rangos de valores de temperatura donde la lombriz puede realizar el proceso de vermicompostación entre 0 °C a 40 °C, pero su capacidad de regeneración es mayor a los 25-40°C; (Sánchez H., D. , 2009) reporta que la temperatura óptima para el desarrollo de la lombriz es alrededor de los 20°C, aunque puede soportar el rango de 10-30°C, lo cual coincide con los valores reportados en el presente estudio. (Camiletti M., J., 2016) también enuncia que cuando el proceso de vermicompostación se realiza a escala industrial tal como se realizó en este caso, la temperatura puede incrementarse hasta un rango de 35 grados (este incremento se controla adicionando agua), como sucedió en el día 15 para el T2 y en el día 45 para el T3.

Esta variable a diferencia de las anteriores, presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos analizados; a pesar de esta variación, los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos establecidos en la literatura mencionados anteriormente sin afectar la reproducción de la lombriz.

Densidad poblacional

En la figura 4 se observa la estructura poblacional de la lombriz *Eisenia foetida*, a los 45 y 90 días del proceso de vermicompostación. De acuerdo a esto, se observa que el T2 presenta los mayores valores de huevos y juveniles tanto en el día 45 como en el día 90; en el caso de los adultos el tratamiento que presentó mejores resultados en el día 45 fue el T3 y en el día 90 fue el T2; cabe resaltar, que este tratamiento es el que presenta mayor volumen con relación a los otros dos.

Figura 4: Estructura poblacional por edades a los 45 y 90 días



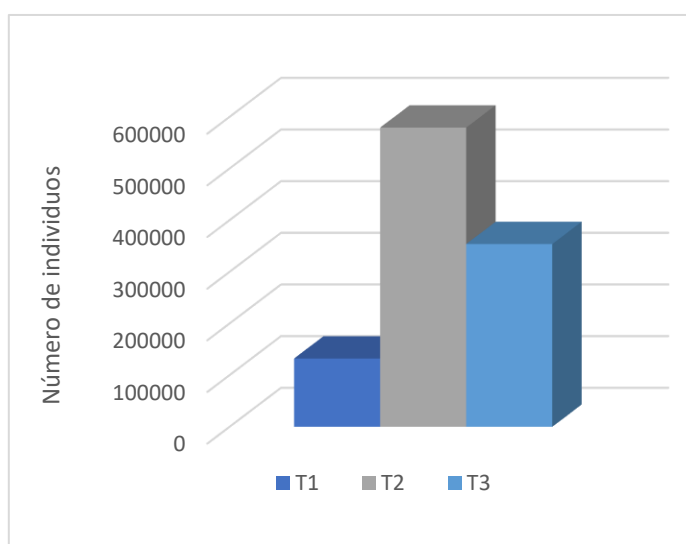
Fuente: Propia

Algunos estudios como el de (Acosta-Durán, C. M. & et. al. , 2013), obtuvieron mayor número de huevos que de juveniles en los tratamientos utilizados, situación que contrasta con los datos de la figura 4, donde sólo disminuye la población de juveniles en el día 90 donde se finaliza la transformación. Según lo menciona (López J., M. A. , 2000), el número de huevos decrece al incrementarse el número de lombrices; es decir, que a mayor densidad poblacional se inhibe la reproducción, situación que no sucede en la presente investigación ya que según se observa, la población de *Eisenia foetida* disminuye al finalizar el proceso de vermicompostación; posiblemente por la disminución del alimento, siendo un factor determinante para la densidad de la lombriz (Schuldt, M. & et.al., 2005).

En investigaciones realizadas donde la temperatura desciende considerablemente, se observa que reduce la población de los individuos en todos los estadios como es el caso de (Schuldt, M. , 2008), donde la temperatura estuvo en varios meses por debajo de 0°C; de la misma manera, el trabajo desarrollado por (Acosta-Durán, C. M. & et. al. , 2013) enfatiza en el papel de la temperatura como principal factor limitante en el desarrollo de la lombriz.

Al realizar el análisis estadístico para las variables, huevos, juveniles y adultos, se obtuvo que los datos no siguen una distribución normal pero que al aplicar la prueba de Kruskal- Wallis, no se presentaron diferencias significativas en los tratamientos analizados.

Figura 5: Número de lombrices/lecho:



Fuente: Propia

La figura 5 indica la relación entre el número de individuos/lecho, para los tres tratamientos utilizados. Para estos valores obtenidos se tuvo en cuenta los

tres estadios de la lombriz estudiados, huevos, juveniles y adultos.

Se observa que el T2 obtuvo el mayor número de individuos, comparado con los otros dos tratamientos, lo cual indica que a mayor volumen utilizado, favorece el desarrollo de la lombriz siempre y cuando se tenga disponibilidad de alimento con las condiciones de pH, humedad y temperatura.

Según el estudio realizado por (Schuldt, M. , 2008), donde se obtuvieron datos muy por debajo de lo reportado por este estudio, posiblemente debido a las bajas temperaturas reportadas en la época de invierno que estuvieron incluso por debajo de los 0°C, mientras que en esta investigación la menor temperatura reportada fue de 15,90°C, lo que indica que las lombrices se encuentran dentro del rango óptimo para esta característica, así como los valores de pH y humedad que también interfieren en su desarrollo.

Es así, que los valores reportados para este trabajo, resultan mayores comparados con lo encontrado por (Schuldt, M. , 2002), quien habla de 80.000-120.000/lecho, mientras que acá se reportan valores por encima de los 130.000 para el T1, más de 300.000 para los T2 y T3.

(Schuldt, M. & et.al., 2005), también reporta que cuando se supera los 100.000/lecho, éste se debe ampliar para favorecer el desarrollo de la lombriz.

Tabla 3: Caracterización físico-química y microbiológica del vermicompost:

Parámetro	Técnica	Norma	Resultado		
			T1	T2	T3
Cenizas	Gravimetría	NTC 5167	37,2 %	34,2 %	38,1%
CIC	Volumetría	NTC 5167	77,4 meq/100 g	77,3 meq/100 g	78,7meq/100 g
CIC/CO	No aplica	No aplica	313 meq/100 g CO	265 meq/100 g CO	279 meq/100 g CO
Carbono orgánico oxidable total	Titulometría	NTC 5167	24,7 %	29,2%	28,2%
Conductividad eléctrica (1/200)	Potenciometría	NTC 5167	0,33 dS/m	0,33 dS/m	0,34dS/m
CRA	Gravimetría	NTC 5167	311 %	327%	314%
Densidad(20°C)	Gravimetría	NTC 5167	0,29 g/cm ³	0,22 g/cm ³	0,20g/cm ³
Fosforo Total	Espectrofotometría	NTC 234	1,44 %	1,52%	1,59%
Humedad	Gravimetría	NTC 5167	72,9%	74,0 %	71,6%

Nitrógeno orgánico Total.	Kjeldahi	NTC 370	1,97 %	2,22 %	1,88%
pH	Potenciometría	NTC 5167	6,34	6,52	6,23
Relación C/N	No aplica	No aplica	12,5	13,1	15,0

Fuente: GIEM de la Universidad de Antioquía, Enero de 2018.

Para los parámetros analizados en la tabla 3, donde se encontró que los valores en los tres tratamientos para cenizas, capacidad de intercambio catiónico CIC, Carbono orgánico oxidable, Densidad, pH y C/N,

	Mesófilos Ufc/g	Termófilos Ufc/g	Mohos Ufc/g	Levaduras Ufc/g	Nematodos y Protozoos	Enterobacterias Ufc/g	Salmonella Ufc/25 g
T 1	5,8E+07	1,0E+06	6,0E+03	0,0E+00	Ausen.	1,0E+02	Ausen.
T 2	1,6E+07	2,3E+07	2,0E+03	0,0E+00	Ausen.	2,0E+02	Ausen.
T 3	5,1E+07	3,7E+07	1,0E+03	0,0E+00	Ausen.	9,0E+02	Ausen.

se encuentran dentro de los valores estipulados por la (NTC 5167, 2004). Particularmente cuando los valores de CIC superan el 60 meq/100 g, muestran que existe un alto grado de madurez del material (Harada, Y., & Inoko, A., 1980); en el caso de Carbono Orgánico oxidable el valor encontrado es de 27,3% en promedio lo que sugiere la pérdida de carbono durante el proceso, indicando la mineralización y estabilidad del material (Bernal, M. P. & et.al., 2009).

En cuanto a densidad, el valor encontrado indica un alto grado de mineralización y correcta degradación del material (Epstein, E., 2011). Así mismo, para relación C/N (Pascual, J. A., & et.al., 1997) sugiere que el compost se considera maduro cuando el valor es cercano a 15 y menor de 25, en esta investigación se obtuvo un promedio de 13,53, valor que es aceptable para este tipo de materiales, resultados similares reporta (Camiletti M., J., 2016).

Para el dato de conductividad eléctrica, se observa que en promedio fue baja, pues se obtuvo en promedio 0,33 dS/m, aunque la NTC 5167 no estipula un valor de referencia para este parámetro, resultados similares encontraron (Mogollón S., J. P. & et.al., 2015); es importante resaltar cuando se tienen valores altos de CE, se puede llegar a disminución de la absorción de agua, y en consecuencia desbalance nutricional, daños a la raíz y toxicidad (Martínez, N., & et.al., 2011).

En el caso de Capacidad de Retención de agua CRA, fue de 317, valor que se encuentra en un rango alto, un sustrato ideal para aplicarlo al suelo al estar dentro

del rango entre los 55-70%, (Avilés Q., E. & et.al., 2010), este comportamiento se aduce a la naturaleza del material usado contenido ruminal que contienen una alta humedad superior al 75%. En cuanto a Fósforo y Nitrógeno Total, la (NTC 5167, 2004) sugiere declarar los valores de Fosforo y Nitrógeno si el valor es mayor que 1% , en este caso el promedio el fosforo fue de 1,51% , mientras que el nitrógeno entre tratamientos es de 2,2. La dinámica poblacional de las lombrices pudo favorecer los procesos de nitrificación ya que (Atiyeh, R. M., & et. al., 2000), sugieren que estos anélidos junto con los microorganismos presentes en la materia orgánica participan en la conversión de nitrógeno amoniacal a nitrato.

Así mismo, el % de humedad encontrado es alto pues en promedio fue de 72,83%, la muestra evaluada corresponde al material cosechado antes de pasar al cuarto de secado donde la humedad se reduce hasta el 30% el límite establecido en la (NTC 5167, 2004) es de 35%.

Tabla 4: Análisis microbiológico

Fuente: GIEM de la Universidad de Antioquía, Enero de 2018.

Teniendo en cuenta los diferentes tratamientos evaluados, no se observa una relación directa entre el tamaño de la cama vs carga microbiana. La tabla 4 muestra que no se encontraron microorganismos patógenos como levaduras, nematodos y *Salmonella sp* a nivel general. En el caso de las Enterobacterias, los recuentos obtenidos en los tres tratamientos, ninguno sobrepasa los límites establecidos por la (NTC 5167, 2004), esto es favorable pues altos recuentos de los patógenos, impiden el crecimiento de microorganismos de origen benéfico que aportarán valor agregado al vermicompost. En el T3, se observa un mayor recuento de Enterobacterias que probablemente está relacionado con una mayor relación de Carbono-Nitrógeno (C/N); estos elementos son fundamentales para el proceso de reproducción de los diferentes microorganismos y para la producción de enzimas que ayuden a degradar compuestos insolubles.

Para las bacterias mesófilas aerobias, se observó una disminución a mayor tamaño de la cama; este grupo de microorganismos son utilizados como indicadores para evaluar diferentes tipos de tratamientos, ya sean de inoculación de microorganismos benéficos o para reducción de carga bacteriana patógena. Los datos del presente proyecto concuerdan con los obtenidos por (Blandón-Castaño, G. & et. al., 1999), que trabajaron vermicompostaje a partir de pulpa de café mezclada con mucílago y el trabajo realizado por (Durán, L., & Henríquez, C., 2007), donde los

sustratos analizados eran doméstico, estiércol, Banano, ornamental y broza. En el caso de los

Costos fijos	Mes 1	Mes 2	Mes 3
Egresos			
Mano de Obra (Cargue, Transformación y empaque)	\$240.000	\$240.000	\$240.000
Impuestos	\$0	\$0	\$0
Transporte contenido Ruminal	\$530.000	\$530.000	\$530.000
Transporte de Abono	\$0	\$0	\$80.000
Servicios Públicos	\$0	\$0	\$0
Empaquetado	\$0	\$0	\$30.000
Total egresos	\$770.000	\$770.000	\$880.000
Ingresos			
Programas de capacitación	\$400.000	\$400.000	\$400.000
Producción total	0	0	5 toneladas (125 bultos). 125* \$30.000= \$3'750.000
Total Ingresos	\$400.000	\$400.000	\$4'150.000
Ganancia trimestral			\$2'530.000
Ganancia Anual			\$10'120.000

microorganismos termófilos, se obtuvieron recuentos altos, aun cuando el vermicompost en su proceso productivo no superó los 30°C; esto es de gran importancia, pues este grupo microbiano tiene una temperatura óptima de crecimiento de 40° C en adelante.

En cuanto a la humedad, la cual es de gran importancia para la reproducción y diferentes procesos metabólicos de los mohos, se esperaba que a mayor humedad se obtuvieran mayores recuentos de mohos; sin embargo, para el T2 el cual presentó una mayor humedad de (74%) no mostró un aumento significativo de los mohos; en cambio el T1 con una humedad de (72,9%) fue el que presentó un mayor recuento de mohos (6,0 x 10 E3 UFC/g). Se espera que al disminuir la humedad en la zona de secado, se disminuya el número de mohos presentes en el producto final.

A nivel general, estos resultados muestran calidad en el producto obtenido, según las referencias de la (NTC 5167, 2004), lo que garantiza la inocuidad del producto otorgándole mejoras al suelo y por ende a los cultivos donde se aplique, lo cual va a favorecer su crecimiento.

Como lo menciona (Durán, L., & Henríquez, C. , 2007), la alta carga microbiana para el vermicompost, se da principalmente por el mismo proceso, pues la lombriz en su tracto digestivo cuenta con más o menos 500 mil millones de individuos en su flora microbiana que intervendría en los datos obtenidos en el abono; además, como el vermicompost no cuenta con una fase termófila, en donde normalmente hay

eliminación de estos organismos, pues su presencia va a ser mayor.

Tabla 5: Análisis costo/beneficio Empresa Fertilizaciones

Fuente: Propia

Es de poco conocimiento que la producción de abono orgánico a base de contenido ruminal genera empleo permanente, no solamente en el proceso de obtención del abono sino en su comercialización y uso en diferentes cultivos de la región tales como maíz, frijol, papa, mora, tubérculos andinos, hortalizas y frutales que han contribuido al desarrollo regional.

El costo de inversión para las instalaciones de compostaje, depende de la elección de la capacidad de compostaje y del nivel de automatización, para este caso la inversión disminuye debido a que todo el proceso se realiza manualmente. En términos generales, la elección del proceso y la capacidad de compostaje óptimos necesita hacer una compensación en términos de costos de mano de obra, transporte, cargue, costos de capital y otros parámetros.

En particular, en la planta de sacrificio de Villapinzón que provee el contenido ruminal no le ofrece a Fertilizaciones rubro alguno por su tratamiento, aunque en algunas plantas de procesamiento en Colombia se paga por tonelada recibida. Fertilizaciones cuenta con la ventaja de que no paga servicios públicos ya que opera sin luz y tiene un sistema de recolección de aguas lluvias. Se emplea un método de vermicompostaje tradicional con una capacidad de entrada de 10 toneladas/mensuales y una capacidad de producción de 5 toneladas/trimestrales reportadas en la tabla 5.

El análisis de costo/beneficio que se indica en tabla 5, muestra que los costos fijos de la empresa, están representados por la mano de obra que trimestralmente genera un costo de \$720.000, el transporte a la planta de transformación que en los tres meses es de \$1'590.000, así como el transporte del abono empaquetado que trimestralmente representa un costo de \$ 80.000. La producción total trimestral es de 5 toneladas (125 bultos), el valor de cada bulto es de \$30.000 que representan \$3'750.000 trimestrales. Además, la empresa ofrece un servicio de capacitaciones a entidades privadas y públicas que genera ganancias trimestrales de \$1'200.000.

El total de ganancia trimestral es de \$2'530.000, anualmente la empresa tiene una ganancia de \$10'120.000. Es importante tener en cuenta que se debería cobrar por cada tonelada de contenido ruminal que ingresa a la planta de transformación, ya que la planta de sacrificio tiene un alto beneficio

donde está dando solución a una problemática de gran impacto ambiental y social; así se lograría aumentar el porcentaje de ganancia, mejorando la calidad de vida de la región. Además de lo anterior, es necesario ampliar la zona de producción para que trimestralmente se generen más beneficios económicos.

Por otra parte, la empresa Fertisoluciones ha sido líder en producción ecológica y limpia, así como en la generación de investigación, capacitación y asistencia técnica, lo cual promueve el crecimiento a nivel educativo involucrando activamente la académica, la investigación y el desarrollo regional, dando un valor agregado al producto.

De la misma manera, es importante resaltar que con la producción de vermicompost se produce una gran cantidad de biomasa de lombriz, que también puede ser utilizada como alimento de alta calidad proteica para producción avícola, porcina y piscícola; es decir, puede comercializarse en varios productos como lo establece (Ríos, M. & Ramírez R., 2012), lo cual aumentaría los ingresos a Fertisoluciones y por ende sus ganancias.

Conclusiones

Teniendo en cuenta que el 84% de las plantas de sacrificio vierten el contenido ruminal directamente a los cuerpos de agua o en campo abierto, causando problemas de contaminación, es importante resaltar la labor realizada por la Planta de Transformación Fertisoluciones S.A. en Villapinzón, siendo una empresa líder en la región, produciendo abono orgánico a partir de este material, que contiene un alto potencial contaminante y que es poco usado para la elaboración de abono orgánico con tecnologías, limpias, eficientes y amigables con el medio ambiente.

La transformación de material ruminal proveniente de la planta de sacrificio de Ventaquemada en vermicompost, es una estrategia favorable para evitar la contaminación de fuentes de agua o suelo, cuando se desecha de las plantas de sacrificio, reduciendo la DQO y, por tanto, disminuyendo los efectos nocivos sobre los ecosistemas de la región del Altiplano Cundiboyacense.

En los estados de la lombriz, se evidenció que sigue los procesos normales de su ciclo reproductivo; no se encontraron descensos abruptos en su población, únicamente comienza a descender al finalizar el proceso, lo cual debe haberse dado por la disminución del alimento.

El tamaño de la cama no influye directamente en el crecimiento de la lombriz roja californiana, pero si su tasa reproductiva disminuye por la falta de espacio;

por tanto, se debe aumentar el lecho para que ella pueda seguir migrando hacia donde haya mayor disponibilidad de alimento.

Los análisis microbiológicos y físico-químicos, muestran que el proceso de transformación de material ruminal a abono orgánico realizado en la planta Fertisoluciones, se encuentran dentro de los parámetros de la NTC 5167, produciendo un vermicompost inocuo, lo cual indica que está libre de organismos patógenos y por tanto, se puede comercializar. Para el caso de los mohos que se encontraron, estos pueden ser eliminados en la etapa de secado.

Bibliografía

- Acosta-Durán, C. M. & et. al. . (2013). Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. Obtenido de *Agronomía Costarricense*, 37(1): <http://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v37n1/a10v37n1>
- Aranda, D. (1989). Perspectivas de la utilización de lombrices en la transformación de la pulpa de café en abono orgánico. (México., Editor) Recuperado el 6 de Agosto de 2016, de INMECAFE, Boletín Técnico de Café.: https://books.google.com.co/books?id=_CMO AQAIAAJ&pg=PA230&lpg=PA230&dq=Perspectivas+de+la+utilizaci%C3%B3n+de+lombrices+en+la+transformaci%C3%B3n+de+la+Pulpa+de+caf%C3%A9+en+abono+org%C3%A1nico.&source=bl&ots=IbH4JVb2yZ&sig=6qM_1n8nhDHviUqjIQmvd2js8g&hl
- Atiyeh, R. M., & et. al. (2000). Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. . Recuperado el 10 de agosto de 2016, de *Pedobiologia*, 44(6), 709-724.: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031405604700840>
- Avilés Q., E. & et.al. . (2010). Caracterización de materiales alternativos en la elaboración de sustratos para la producción en invernaderos. . Obtenido de *Caribbean Food Crops Society*, 46, 73-80.: <http://opcfcs2.eea.uprm.edu/sites/default/files/proc/CFCS%202010%20Vol.%2046%20No.%201.pdf#page=89>
- Bernal, M. P. & et.al. . (Noviembre de 2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource technology*, 100(22), 5444-5453. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852408009917>

- Blandón-Castaño, G. & et. al. . (1999). Caracterización microbiológica y físico-química de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje. *Cenicafé*, 50(1), 5-23. Obtenido de [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050\(01\)005-023.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050(01)005-023.pdf)
- Camiletti M., J. (septiembre de 2016). Estudio del vermicompostaje de compost de residuos orgánicos de distinta naturaleza. Obtenido de <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2820/1/TFM%20Camiletti%20Morales%2C%20Justin.pdf>
- Caro L., I. & et. al. . (2009). Producción de abonos orgánicos con la utilización de *Elodea* (*Egeria densa*) presente en la Laguna de Fúquene. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 12(1), 91-100. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v12n1/v12n1a10.pdf>
- Chaux, G. & et. al. . (5 de Mayo de 2009). Producción más limpia y viabilidad de tratamiento biológico para efluentes demataderos en pequeñas localidades caso: municipio de el tambo (Colombia). *INGRESAR A LA REVISTA*, 7(1), 102-114. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a12.pdf>
- DNP. (2009). Política nacional para la racionalización del componente de costos de producción asociado a los fertilizantes en el sector agropecuario. Conpes 3577. Bogotá. Obtenido de <https://www.ica.gov.co/getattachment/b527d0c9-e862-4c26-8347-e5076fd9b1a9/2009CP3577.aspx>
- Durán, L., & Henríquez, C. . (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 31(1). Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6818/6505>
- Edwards, C. A. . (1988). Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. *Earthworms in waste and environmental management*/edited by Clive A. Edwards and Edward F. Neuhauser.
- Epstein, E. . (2011). *Industrial composting: environmental engineering and facilities management*. CRC Press. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=6moJR1a_T8cC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Industrial+composting.+Environmental+Engineering+and+Facilities+Management+CRC+Press.&ots=K4vQ1f8DNS&sig=HA1oV827Pb1Cu_CPdUN8TRw04_M#v=onepage&q=Industrial%20composting.%20Environmen
- Eulloque G., J. . (Enero de 2013). Caracterización física, química, biológica y valoración agronómica del vermicompost de *Eisenia foetida* obtenido del contenido ruminal de bovino. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12256>
- Guerrero, J., & Ramirez, I. . (29 de noviembre de 2004). Manejo ambiental de residuos en mataderos de pequeños municipios. . Recuperado el 15 de febrero de 2016, de *Scientia et Technica*, 10(26): <http://www.redalyc.org/html/849/84911640034/>
- Harada, Y., & Inoko, A. . (1980). The measurement of the cation-exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity. *Soil Science and Plant Nutrition*, 26(1), 127-134. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00380768.1980.10433219>
- Hernández, J. & et. al. . (2010). Caracterización química, según granulometría, de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. Obtenido de *Revista de la Facultad de Agronomía*, 27(4): <http://200.74.222.178/index.php/agronomia/article/view/12435>
- Jiménez, M.V. . (2007). Extractos de vermicomposta en la producción orgánica de lechuga en hidroponía. Tesis maestría. Colegio Posgraduados .Montecillo México.
- Lim, S. L. & et. al. . (16 de Enero de 2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. Obtenido de *Journal of Cleaner Production*, 111, 262-278.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615011749>
- López J., M. A. . (Febrero de 2000). Transformación de desechos orgánicos contaminantes, por la lombriz de tierra (*Eisenia foetida* sav.) y caracterización de su humus. Obtenido de Xalapa (México): <https://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/47198/1/LopezJimenezMariaAlejandra.pdf>
- Majlessi, M. & et.al. (13 de Diciembre de 2012). Vermicomposting of food waste: assessing the stability and maturity. *Iranian journal of environmental health science & engineering*, 9(1), 25. Obtenido de <https://jehse.biomedcentral.com/articles/10.1186/1735-2746-9-25>
- Martínez, N., & et.al. (2011). Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia*, 5, 156-161. Obtenido de

- http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v5n3/da ta/Efectos_por_salinidad_en_el_desarrollo_v egetativo.pdf
- Mogollón S. , J. P. & et.al. . (2015). Efecto de la aplicación de un vermicompost en las propiedades químicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. *Acta agronómica*, 64(4), 315. Obtenido de <https://search.proquest.com/openview/2b08aefcaaf8c466542792f4ffd79902/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2035751>
- NTC 5167. (31 de Mayo de 2004). Productos para la industria agrícola-Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo; Bogotá, ICONTEC. Obtenido de Norma Técnica Colombiana.
- Paco, G. & et.al. (octubre de 2011). Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. Obtenido de *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(2):. <http://www.redalyc.org/html/3613/361333624004/>
- Pascual, J. A., & et.al. . (1 de Enero de 1997). Characterization of urban wastes according to fertility and phytotoxicity parameters. *Waste Management & Research*, 15(1), 103-112. Obtenido de <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X9701500108>
- Prasanna Kumar, B. . (2016). Aerobic and anaerobic digestion of agricultural waste followed by vermicomposting and enrichment (Doctoral dissertation, Professor Jayashankar Telangana State Agricultural University. Hyderabad). Obtenido de <http://krishikosh.egrnth.ac.in/handle/1/93776>
- Ríos, M. & Ramírez R. (29 de Octubre de 2012). Aprovechamiento del contenido ruminal bovino para ceba cunicola, como estrategia para diezmar la contaminación generada por el matadero en San Alberto. . Recuperado el 5 de Agosto de 2016, de *Prospectiva*, 10(2), 56-63.: <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/1241/Aprovechamiento%20del%20contenido%20ruminal%20bovino%20para%20ceba%20cunicola%2c.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ropero P., R. . (2015). Biosistema integrado para el aprovechamiento de la cacota de algodón en el municipio de Aguachica Cesar. Obtenido de Universidad de Manizales: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2664/1/Ropero_Pallares_Rocio_2016.pdf
- Sánchez H., D. . (Diciembre de 2009). Comportamiento reproductivo de *Eisenia foetida* durante el ciclo otoño-invierno en diferentes estiercoles. Obtenido de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2293/DAVID%20SAN CHEZ%20HERNANDEZ.pdf?sequence=1>
- Schuldt, M. . (2002). Las lombrices utilizadas en vermicultivos. Argentina: Conicet. Obtenido de <http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/biblioteca/lombriz/LAS%20LOMBRICES%20UTILIZADAS%20EN%20%20VERMICULTIVOS%20Schuldt.pdf>
- Schuldt, M. . (29 de Octubre de 2008). Iniciación de lombricultivos de *Eisenia foetida* [y *E. andrei*][*Oligochaeta lumbricidae*] con siembras de baja densidad. *Estrucplan* [en línea]. . Obtenido de <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulo.asp?IDarticulo=2027>
- Schuldt, M. & et.al. (2005). Determinación de "edades"(clases) en poblaciones de *Eisenia foetida* (Annelida: Lumbricidae) y sus implicancias reprobológicas. Obtenido de *Revista del Museo de La Plata. Zoología*, 17(170), 1-10.: https://www.researchgate.net/profile/Diego_Gutierrez_Gregoric/publication/260780564_Determinacion_de_edades_ecologicas_en_poblaciones_de_lombrices_implicancias_reprobologicas/links/0c96053230f2f4694a000000.pdf
- Silva, M. J. & et.al. . (6 de Junio de 2014). Caracterización física y química de bokashi y lombricompost y su evaluación agronómica en plantas de maíz. *Ingenierías & Amazonia*, 7(1). Obtenido de http://www.udla.edu.co/revistas/index.php/ingenierias-y-amazonia/article/view/336/pdf_26
- Smith, E. . (1997). Composts in the Landscape. *Bulletin* 8:12p. .
- Tejada, M., & et.al. (Septiembre de 2008). Agricultural use of leachates obtained from two different vermicomposting processes. *Bioresource Technology*, 99(14), 6228-6232. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407010322>