

**UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA**



**EVALUACION DEL USO DE SUSTRATOS PREPARADOS CON LODOS RESIDUALES  
EN LA GERMINACION DE SEMILLAS DE ZANAHORIA *Daucus carota L.***

LICED JOANA PÉREZ RODRÍGUEZ

Trabajo de Grado

Director,  
ÁLVARO CHÁVEZ PORRAS  
Ingeniero Industrial, Ph.D., Docente del Programa de Ingeniería Industrial

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCIÓN DE POSGRADOS  
ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS  
RECURSOS NATURALES  
BOGOTÁ  
2012**

# EVALUACION DEL USO DE SUSTRATOS PREPARADOS CON LODOS RESIDUALES EN LA GERMINACION DE SEMILLAS DE ZANAHORIA *Daucus carota L.*

## EVALUATION OF THE USE OF SUBSTRATE PREPARED WITH SEWAGE SLUDGE IN SEED GERMINATION OF CARROT *Daucus carota L.*

Liced Joana, Pérez Rodríguez<sup>1</sup>  
Álvaro, Chávez Porras<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bióloga, Inspector Sanitario, Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Bogotá, D.C., Colombia  
licedjoana@gmail.com

<sup>2</sup>Ingeniero Industrial, Ph.D., Docente del Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, D.C., Colombia  
alvaro.chavez@unimilitar.edu.co

**Resumen:** En Colombia la definición del término “biosólido” está dada por el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000, para lo cual no está reglamentada su gestión. En este se establecen las generalidades para el manejo y diseño de instalaciones de los lodos, aun cuando ya está definido que el saneamiento básico es un derecho constitucional. De acuerdo a esto, en el documento CONPES 3177 de 2002, se establecen las acciones prioritarias y los lineamientos para la formulación y operación del plan nacional de manejo de aguas residuales y lo relacionado en el uso de los residuos provenientes de plantas de tratamiento, lo que garantiza un sistema de gestión ambiental. Asunto que está contemplado dentro de la gestión de residuos sólidos, reglamentada en el Decreto 1713 de 2002 del Ministerio de Desarrollo Económico, y el cual tiene como propósito la recuperación y aprovechamiento de los materiales contenidos en los residuos sólidos. Dentro de esas formas de aprovechamiento, se considera la lombricultura, entre otras. Se establece que para localizar este tipo de aprovechamiento se deben tener en cuenta: el uso del suelo, establecido en el plan de ordenamiento territorial POT; adoptado por el Decreto Distrital 619 de 2000, de la Alcaldía de Bogotá D.C. y para lo cual bajo su política de gobierno tiene como destino final los rellenos sanitarios. Otro aspecto a tener en cuenta en el manejo de aguas residuales y lodos es el contenido de patógenos, para lo cual nos regimos bajo los estándares de la Environmental Protection Agency – EPA; CFR título 40 parte 503, ya que este aspecto requiere un manejo de responsabilidad y calidad si se le quiere dar un uso posterior a estos lodos, de tal forma que no genere riesgo a la salud humana.

Este artículo presenta los resultados de una prueba de germinación, utilizando semillas de zanahoria en la que se usaron como sustratos: lodos residuales; humus de lodos residuales; humus de lodos residuales con gallinaza y turba. Prueba realizada en el laboratorio de Química de la Universidad Militar Nueva Granada – UMNG Bogotá D.C. En el estudio se analizó estadísticamente el área foliar de las plántulas de zanahoria, altura de la planta, longitud total de la planta y el porcentaje de germinación de las semillas en cada uno de los tratamientos. Encontrándose que la germinación de las semillas de zanahoria sobre los humus de lodos con gallinaza, tiene el mayor porcentaje de germinación 77,6%. Al evaluar el crecimiento vegetativo de las plántulas sobre los diferentes sustratos; no se puede definir que exista uno mejor, sugiriéndose otros estudios. Como conclusión se define que los humus de los lodos son un ambiente propicio para realizar germinación de semillas, lo que puede convertirse en una buena materia prima para ser utilizada en el suelo de cultivos y en otras aplicaciones de la agricultura.

**Palabras Clave:** Lombricultura, biosólido, lodos residuales, prueba de germinación.

**Abstract:** In Colombia, the definition of the word “biosolid” is given by the Technical Regulation of the Potable Water and Sanitation Sector, RAS 2000, where handling isn't regulated. On this, the generalities, for sludge, are established for the management and facility design, although the basic sanitation is defined as a constitutional right. According to this, in the CONPES document 3177 of 2002, the priority actions and guidelines are established for the development and operation of the national plan of management of the sewage and which is related to the use from waste treatment plants, which ensures an environmental management system, that is covered in the solid waste management and it is regulated in the decree 1713 of 2002 of the Ministry of Economic Development. It is intended the recovery and the use of the materials incorporated into the solid waste. The vermiculture, among others, is as an example of this ways of exploitation. The use of the soil established in the land use plan (LUP/POT) must be taken into account, to the localization of the solid waste exploitation; it is adopted by the District Decree 619 of 2000 of the Alcaldia of Bogota D.C., which has as a government policy, the final destination of the landfills. Another aspect to be taken into account, in the management of the sewage and sludge, is the content of the pathogens, for which we are governed under standards of the Environmental Protection Agency- EPW; CFR title 40 part 503, since this aspect requires a management of responsibility and quality; if it is wanted to later use of these sludge, to avoid any risk to human health.

This article, presents the results of a germination test, using carrot seed in which sewage sludge, humus sludge, humus sludge with poultry manure and peat were used like substrates. This test was developed in the chemistry lab of the Nueva Granada Military University-Bogota, D.C. The leaf area of seedlings of carrot, the high of the plant, the total plant length and the percentage of seed germination in each of the treatments were statistically analyzed in the study. It was found, that the germination of carrot seeds with manure humus sludge, has the higher percentage of germination, it is 77,6%. At the time to evaluate the vegetative growth of seedlings on different substrates, it isn't possible to define the existence of a better study, it is necessary to suggest other studies. As a conclusion, it is defined that the humus sludge are a good way to enhance seed germination, in the same way it may be used like a good raw material on crops in soil and other agricultural applications.

**Keywords:** Vermiculture, biosolids, sewage sludge, germination test.

## 1 Introducción

Actualmente el funcionamiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) genera de forma inevitable lodos; para los cuales se busca en su gestión el establecimiento de estrategias que permitan dar un uso racional a dichos residuos, de tal manera que se logre no sólo el fin propuesto de descontaminar el agua sino también colmar las expectativas de la comunidad en cuanto a un manejo integral del problema. Partiendo de esto, el documento RAS 2000 define: “Biosólidos son los sólidos provenientes del tratamiento de aguas residuales municipales, estabilizados biológicamente, con suficiente concentración de nutrientes (mayores y menores), bajo contenido de microorganismos patógenos, presencia permisible de metales pesados, que se puede utilizar como fertilizante, acondicionador o mejorador de suelos, de acuerdo a la composición físico-química del biosólido y la vocación de uso del suelo” [1].

Si bien dentro de las acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales (PMAR) enmarcadas en el documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES 3177 de 2002. Las cuales definen los criterios para el manejo y diseño de instalaciones para el manejo y tratamiento de biosólidos. “Y con el propósito de articular los diferentes instrumentos de política, el Ministerio de Medio Ambiente MMA y el Ministerio de Desarrollo Económico MDE han identificado un conjunto de acciones cuya ejecución deberá iniciarse en el corto plazo. Paralelamente se avanzará en la formulación del PMAR, con el objeto de promover el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico de la Nación en el corto, mediano y largo plazo” [2].

Las acciones prioritarias y los lineamientos para la construcción del PMAR se presentan a continuación:

- Selección y priorización de los municipios para la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Estrategias de Gestión.
- Revisión, actualización y desarrollo normativo para el ajuste de instrumentos de política.
- Articulación de las fuentes de recursos para la financiación del Plan.
- Estrategia institucional.

En miras de darle un uso adecuado a los residuos provenientes de plantas de tratamiento y garantizando el cumplimiento del sistema de gestión ambiental; lo cual está contemplado dentro de la gestión de residuos sólidos, la cual fue reglamentada en el Decreto 1713 de 2002 del Ministerio de Desarrollo Económico [3] y cuya definición fue adicionada por el artículo 1 del Decreto 1505 de 2003 del Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial que precisa “Aprovechamiento en el marco del servicio público domiciliario de aseo.- Es el conjunto de actividades dirigidas a efectuar la recolección, transporte y separación, cuando a ello haya lugar, de residuos sólidos que serán sometidos a procesos de reutilización, reciclaje o incineración con fines de generación de energía, compostaje, lombricultura o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos en el marco de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos”[4].

En general la clasificación de los biosólidos está dada por los parámetros químicos y biológicos, que para nuestro país no está definido por la normatividad nacional, para definir estos límites nos regimos bajo los estándares de la Environmental Protection Agency – EPA; norma CFR título 40 parte 503- Estándares para el uso o disposición de lodos residuales; el cual cubre 4 subpartes en las que definen las disposiciones generales, aplicaciones en el suelo, disposición superficial y patógenos y reducción de la atracción de vectores, delimitando los límites máximos de concentración de contaminantes al igual que los criterios microbiológicos [5].

Hoy en día la necesidad de minimizar residuos, así como su disposición adecuada y segura, son aspectos de suma importancia mundialmente, lo que ha llevado a la búsqueda de alternativas tecnológicas y cambios en las políticas de manejo que permitan generar residuos no peligrosos y estables para su correcta disposición o reaprovechamiento [6] [7]. En Colombia, las PTAR de las ciudades generan cantidad de residuos sólidos conocidos como biosólidos o lodos residuales; los cuales son un producto de los procesos de tratamiento de efluentes industriales y urbanos [8]. Por esta razón se han implementado alternativas de eliminación que van desde la aplicación al suelo, vertimiento en el mar, el vertido y la incineración [9]. El depósito en vertederos y la aplicación al suelo; se sugieren que sean los métodos de eliminación más económicos [10].

Diversos estudios han demostrado su potencial, por su contenido de macronutrientes para la flora, especialmente Nitrógeno (N) y Fósforo (P) y por las sustancias orgánicas que mejoran las características físicoquímicas del suelo

[11] y [12]. A escala internacional han sido puestas en práctica algunas alternativas; la utilización agrícola con sus distintas variantes (jardinería, agroforestería, etc.) es la más adecuada, por ser éstos una fuente potencial de materia orgánica (MO) y nutrientes esenciales para las plantas, fundamentalmente (N), (P) y calcio (Ca) [13]. En países de Europa, Australia, Estados Unidos y otros, actualmente se realizan investigaciones para utilizar especialmente los lodos tratados, como freno a la contaminación de los acuíferos por productos fitosanitarios y sus impurezas; además que estos servirán para acelerar la descontaminación de suelos que ya estén afectados. También se aplican como fertilizantes en tierras agrícolas el cual constituye el principal uso en diferentes países [6].

Actualmente, se buscan alternativas para el manejo de los lodos residuales a través de diferentes tratamientos que los preparen antes de ser usados dentro de los que se encuentra el compostaje y especialmente el vermicompostaje usando la lombriz roja californiana *Eisenia foétida* o lombricultura, el cual permite la transformación y translocación de (MO). Para obtener abonos orgánicos libres de contaminantes [14]. La Lombricultura es una biotecnología de primera generación que consiste en: “La utilización de la lombriz como agente biológico para la transformación de los residuos orgánicos, biodegradables a escala industrial”, con la obtención de humus, proteína no convencional [15] y [16].

Mientras que las lombrices son conocidas por mejorar el crecimiento de plantas mediante la mejora de la estructura del suelo, trabajos recientes han sugerido que las lombrices también producen sustancias húmicas dotadas de actividades similares a las hormonas [17]. Trabajos relacionados han mostrado como la materia húmica producida por las lombrices mejora la germinación de semillas, el crecimiento de las plantas y mejora la capacidad de la planta la absorción de nutrientes [18]. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el uso de los humus obtenidos a partir de lodos residuales y otros sustratos preparados con biosólidos, producidos en el sistema de lombricultura de la UMNG en la germinación de semillas de zanahoria *Daucus carota L.*

Se realizó una prueba de germinación, en el laboratorio de Química de la Universidad Militar Nueva Granada – UMNG Bogotá D.C., en la que se utilizó semillas de zanahoria *Daucus carota L.* de la var Royal Chantenay; sobre cuatro sustratos: lodos residuales; humus de lodos residuales; humus de lodos residuales con gallinaza y turba. Para analizar estadísticamente el área foliar de las plántulas; la altura de la planta; la longitud total de la planta y el porcentaje de germinación de las semillas en cada uno de los tratamientos, utilizando el Programa estadístico R Studio.

## **2 Marco teórico**

Los biosólidos son un producto originado después de un proceso de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento de las aguas residuales. La estabilización se realiza para reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores. Gracias a este proceso, el biosólido tiene aptitud para utilización agrícola y forestal, y para la recuperación de suelos degradados [8].

### **2.1 Características de los biosólidos de las PTAR de Colombia**

En la actualidad, Colombia genera diariamente 274 toneladas (t)/día (94t base seca). El 97% de la producción es generada por tres PTAR (El Salitre, de Bogotá D.C.; Cañavalejo, de Cali; y San Fernando, de Medellín). Caracterizarlos es fundamental para una adecuada gestión; dependiendo de su calidad, se da prelación a una u otra alternativa de aprovechamiento. El control de los biosólidos de las PTAR se basa en el análisis de parámetros físicos, químicos, agrológicos y microbiológicos. Tal como se observa en la Tabla 1. [19], los biosólidos de las grandes plantas del país presentan valores de humedad similares; por el contrario, la producción varía dependiendo del sistema de tratamiento de aguas residuales y del caudal afluente.

**Tabla 1.** Características físicas de las principales PTAR de Colombia.

Parámetro	Biosólidos PTAR El Salitre Datos Sep 2000 – Dic 2002	PTAR San Fernando (Medellín) Datos de 2003	PTAR Cañaveralejo (Cali) Datos de 2003	PTAR Río Frío (Bucaramanga) Datos de 2003
Humedad (%)	67	68	66	29
Sequedad(%)	33	32	34	71
Producción Toneladas/día (Base húmeda)	130	80	60	2
Producción Toneladas/día (Base seca)	43	28	20	1.4

Fuente: Dáguer, G., 2005

Con respecto a las características químicas, es de resaltar que las concentraciones de la totalidad de los metales pesados analizados en los biosólidos de Colombia, se mantienen por debajo de los límites máximos permitidos por las principales regulaciones internacionales y en la mayoría de parámetros por debajo de las concentraciones promedio de estos en EEUU y la Unión Europea, tal como se observa en la Tabla 2. [19].

**Tabla 2.** Características químicas de los biosólidos de Colombia y su comparación con biosólidos de EEUU y la UE.

Contaminante Mg/kg	Colombia (1)	EEUU (2)	Unión Europea(2)	NORMA EPA 40CFR- 503 PC –EQ QUALITY	Límites recomendados Unión Europea 86/278/CEE
Arsénico	0.47	4.9	Nd	41	No regulado
Cadmio	2.78	25	4	39	20-40
Cobre	180	616	380	1500	1000 – 1750
Cromo	849	178	145	No regulado	No regulado
Mercurio	0.85	2.3	2.7	17	16-25
Níquel	65.4	71	44	420	300-400
Plomo	84	204	97	300	750-1200
Selenio	0.46	6	Nd	100	No regulado
Zinc	966.3	1285	1000	2800	2500-4000

1. Promedio ponderado de concentraciones en Colombia de las PTAR El Salitre(Bogotá), San Fernando(Medellín), Cañaveralejo(Cali), Río Frío(Bucaramanga), Américas y Comfenalco(Ibague).

2. Pollutants in urban waste water and sewage sludge. EU, 2001.

Fuente: Dáguer, G., 2005

Con respecto a las características agrológicas, que presentan concentraciones típicas de (N) y (P) que muestran su alto potencial de aprovechamiento en actividades agrícolas y no agrícolas como recuperación de suelos, actividades forestales, cobertura de rellenos, entre otros; tal como se observa en la Tabla 3. [19].

**Tabla 3.** Características agrológicas de los biosólidos de Colombia.

Parámetros %	Rango Colombia	Rango literatura*
Nitrógeno total	1.6 – 3.3	3 – 8**
Nitrógeno orgánico	0.44 – 1.9	1 – 5
Nitrógeno amoniacal	0.6 – 2.3	1 – 3
Fósforo	0.04 – 3.3	1.5 – 5
Potasio	0.007– 0.4	0.2 – 0.8
Sólidos volátiles	42 – 50	–
Unidades pH	6.05 – 7.9	–

\*Rangos típicos de biosólidos digeridos anaeróbicamente (NBP - Manual of good practice for biosolids)

\*\* ADEME, Los biosólidos del tratamiento municipal y su uso en la agricultura.

Fuente: Dáguer, G., 2005

Con respecto a las características microbiológicas, las concentraciones de coliformes fecales de los biosólidos de la mayoría de las PTAR de Colombia son las típicas de un biosólido de clase B según la norma EPA - CFR título 40 parte 503 [5]; sin embargo, con respecto a los huevos de helminto, los biosólidos de las PTAR San Fernando y El Salitre tienen características de clase A tal como se observa en la Tabla 4. [19]; no obstante, no se cuenta con datos de huevos de helminto de los biosólidos de las otras plantas del país.

**Tabla 4.** Indicadores de contaminación fecal en Biosólidos de Colombia.

Indicador	Rango Colombia	NORMA EPA 40CFR-503
Coliformes fecales (NMP/g)	$1.5 \times 10^5 - 5.1 \times 10^5$	<2.000.000 Clase B < 1000 Clase A
Huevos de helminto (Huevos/4 g)	<1*	>1 Clase B < 1 Clase A

\*Datos de las PTAR El Salitre y San Fernando

Fuente: Dágner, G., 2005

Los biosólidos de Clase A, son aquellos que pueden ser aplicados a los suelos son inconvenientes, porque no hay riesgo para la salud humana, animal ni vegetal; pueden ser usados sin ninguna restricción (cultivos de consumo directo). Los biosólidos de clase B, son aquellos cuya aplicación dependerá de la localización y tipo de suelos y cultivos [20]; pueden ser usados en recuperación de suelos, plantaciones forestales, cultivos que no se consuman directamente y cobertura de rellenos sanitarios; sin embargo, las concentraciones de indicadores de contaminación fecal limitan su aprovechamiento por un tiempo en cultivos agrícolas de consumo directo como las hortalizas. Según la normativa EPA; CFR título 40 parte 503 [5].

## 2.2 Alternativas de aprovechamiento de biosólidos

En el mundo se da prelación al aprovechamiento benéfico de biosólidos. La disposición o la incineración deben ser las últimas opciones a contemplar. Sin embargo, en algunos países o zonas se convierte en la única posibilidad ante la ausencia de terrenos para el aprovechamiento.

La gestión de biosólidos debe contemplar la mayor cantidad de opciones de aprovechamiento en caso de que el lugar de recepción se colme o no requiera más material [19].

Las alternativas de aprovechamiento de biosólidos son las siguientes:

- Agrícola y pecuario
- Silvicultura (plantaciones forestales, viveros)
- Recuperación de suelos degradados
- Adecuación de zonas verdes (separadores viales, parques)
- Elaboración de abonos y enmiendas
- Cobertura intermedia o final de rellenos sanitarios
- Biorremediación de suelos contaminados
- Elaboración de materiales de construcción

En Colombia se han realizado las siguientes investigaciones con el fin de establecer la mayor cantidad de posibilidades de aprovechamiento de biosólidos [21].

PTAR El Salitre, Bogotá D.C.

- Aprovechamiento como cobertura final en el relleno sanitario Doña Juana
- Compostaje de biosólidos
- Biorremediación de suelos contaminados
- Aprovechamiento forestal
- Recuperación de suelos degradados

- Indicadores de contaminación fecal de lodos y biosólidos de la PTAR El Salitre
- Aprovechamiento agrícola de biosólidos

Una muestra de la legislación sobre biosólidos en diferentes países se muestra en la Tabla 5 donde se presentan los criterios microbiológicos para la caracterización [14]:

**Tabla 5.** Criterios microbiológicos para la caracterización de biosólidos [22].

Criterio	Unidad	EE. UU. (1)	México (2)	Brasil (3)	Chile (4)	Argentina (5)	Colombia (6)
Coliformes fecales	NMP/g	Clase A: <1x10 <sup>5</sup> Clase B: <2x10 <sup>6</sup>	Clase A: <1x10 <sup>5</sup> Clase B: < 1x10 <sup>3</sup> Clase C: < 2x10 <sup>6</sup>	Clase A: <1x10 <sup>5</sup> Clase B: < 1x10 <sup>6</sup>	Clase A: < 1x 10 <sup>3</sup>	Clase A: <1x10 <sup>5*</sup> Clase B: <2x10 <sup>6*</sup>	Clase A: <1x10 <sup>5</sup> Clase B: < 2x10 <sup>6</sup>
<i>Salmonella sp</i>	NMP/g	Clase A: < 3/4	Clase A: < 3 Clase B: <3 Clase C: < 300	Ausencia en 10 g	Clase A: < 3/4	Clase A: < 3/4	Clase A: ausente Clase B: < 1x10 <sup>3</sup>
Huevos de helmintos	HH/g	Clase A: < 1/4	Clase A: < 1 Clase B: <10 Clase C: < 35	Clase A: < 1/4 Clase B: < 10	Clase A: < 1/4	-	Clase A: < 1/4
Virus	UFP/g	Clase A: < 1/4	-	Clase A: <1/4	-	-	-

Fuente: Torres M., 2009

(1) Estados Unidos de América, Norma 40 CFR parte 503 (EPA, 2003) [5].

(2) México, NOM-004-2002. La Norma de Protección Ambiental de Lodos y Biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales NOM-004-SERMANAT-2002 [23].

(3) Brasil, Resolución N° 375 de 29 de agosto de 2006. Dispone sobre la clasificación de los cuerpos de agua y las directrices ambientales para su marco, así como establece las condiciones y normas para la descarga de efluentes y otros asuntos. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA [24].

(4) Chile, Decreto Supremo N°123 (30/08/2006). De la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA Chile). Reglamento chileno para el manejo de lodos no peligrosos generados en las plantas de tratamiento de aguas [25].

(5) Argentina, Resolución N° 97/01(22/11/2001). El Reglamento para el Manejo Sustentable de Barros Generados en Plantas de Tratamiento de Efluentes Líquidos del Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente [26]. .

(6) Colombia, Propuesta de norma, versión de abril, 2009. Del Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Reglamentación sobre aprovechamiento de residuos sólidos, y lodos estabilizados generados en plantas de tratamientos de aguas residuales municipales. Propuesta de resolución, abril de 2009 [27].

### 2.3 Especie apropiada para ensayos de germinación en biosólido - *Zanahoria Daucus carota L.*

La zanahoria es una planta herbácea de tallos estriados y pelosos, con hojas recortadas alternas, que no sobresalen de la tierra más de 40cm.

Las flores son blancas, pequeñas, generalmente umbelas, agrupadas en tallos radicales en forma de sombrilla. Presenta una raíz fusiforme, jugosa y comestible, de unos 15-18cm, en la variedad semilarga [28].

La zanahoria es una hortaliza de alto valor nutritivo, alto contenido de caroteno, provitamina A [29]. Pertenece a la familia Umbelliferae, su nombre botánico es *Daucus carota* var. sativa.

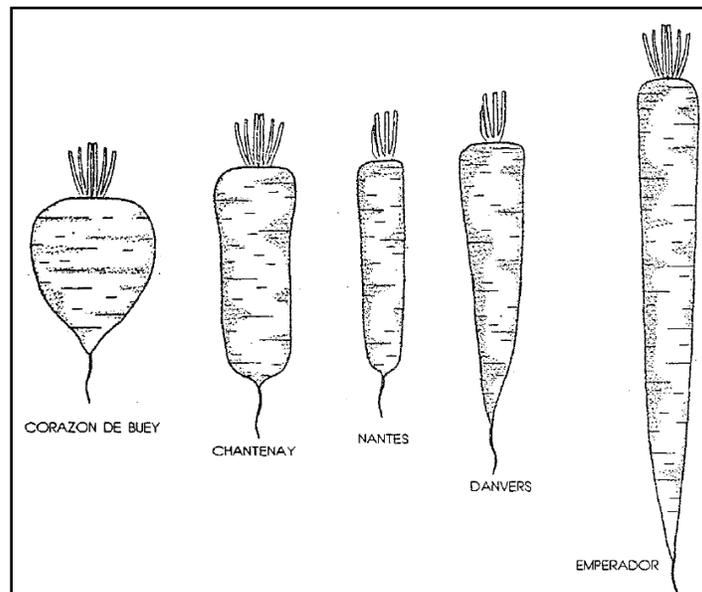
Asia Central (territorio de Afganistán, 30 – 35 ° latitud Norte) parece ser la zona de mayor diversidad de formas, con órganos de almacenamiento de color púrpura o amarillo, que luego, entre los siglos XIII y XV, fueron llevadas por los árabes a Europa Occidental. Allí aparecieron a fines del siglo XVII las zanahorias de raíces blancas, probablemente derivadas de los tipos púrpuras o de los amarillos. Las zanahorias anaranjadas o caroténicas parecen

ser la consecuencia de la selección que el agricultor europeo realizó sobre las amarillas durante los siglos XVII y XVIII [30].

Taxonómicamente la zanahoria presenta la siguiente clasificación [28]:

Reino: Vegetal  
Subreino: Embriofitas  
Phylum : Traqueófitas  
Clase: Angiosperma  
Subclase: Dicotiledónea  
Genero: *Daucus*  
Especie : *carota*

Dentro de las numerosas variedades cultivadas y según la longitud de la raíz; la zanahoria se clasifica en: cortas, semicortas, semilargas y largas como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Esquema de variedades de Zanahoria comerciales [28].  
Fuente: Reina, C., 1997

### 2.3.1 Germinación y emergencia

Las semillas de zanahoria requieren condiciones adecuadas para germinar y dentro de los factores que influyen directamente en su germinación y emergencia se señalan:

- Calidad de la semilla: edad, vigor, sanidad.
- Estado físico del suelo: la presencia de costra superficial dificulta la emergencia.
- Manejo de la siembra: profundidad, densidad de siembra.
- Temperatura.

Las temperaturas del suelo señaladas para la germinación [31]:

- Temperatura óptima: 26°C
- Temperatura máxima: 35°C
- Mínima : 5°C

El efecto de la temperatura sobre la germinación en las semillas de zanahoria; señala un efecto notorio de dormancia termoinducida en semillas con temperaturas superiores a los 25°C, y por lo tanto la recomendación de una siembra con mayor cantidad de semilla más profunda y la utilización de coberturas de pinocha o espartillo en superficie. Con bajas temperaturas, la emergencia se prolonga tanto que no justifica en la mayoría de los casos estas siembras.

La disminución del porcentaje de emergencia y su enlentecimiento, cuando aumenta la profundidad de siembra y en el caso de presencia de obstrucción mecánica en la superficie. Los rangos de emergencia variaron entre 94% cuando no existía ninguna superficie encostrada y con una profundidad de 1cm, hasta 34% para una profundidad de 3cm y con una costra de 5mm de espesor [29].

#### **2.4 Método de evaluación de la germinación.**

La semilla es la portadora del potencial genético que determina la productividad del cultivo, constituye el insumo más importante para alcanzar altos rendimientos en cualquier cultivo. La calidad fisiológica de la semilla se puede conocer a través del vigor y germinación. El vigor es la fuerza con que una planta germina o emerge en condiciones de estrés, su medición es complicada. La germinación es el potencial o poder que tiene la semilla para producir plantas [32].

Este elemento es más fácil de medir. La prueba de germinación ayuda a determinar la capacidad que tiene la semilla para producir plantas normales y vigorosas, bajo condiciones favorables de producción. Los resultados de esta prueba son de mucha utilidad para determinar la cantidad de semilla que utilizará en la siembra. Si de cada 100 semillas que se siembran, germinan al menos 80 y son plantas sanas y vigorosas, se puede decir que la germinación de la semilla es buena.

¿Qué es germinación? Por germinación se entiende el proceso fisiológico donde la semilla produce una plántula con sus partes esenciales normales (radícula y plúmula). La capacidad de germinar una semilla está influenciada por varios factores (momento de la cosecha, ataque de plagas y enfermedades, secado y condiciones de almacenamiento).

Prueba de germinación. Es una prueba que se realiza sobre una muestra de semilla que sirve para estimar el porcentaje de semillas con capacidad para germinar [32].

## Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Química de la Universidad Militar Nueva Granada UMNG, Bogotá D.C.

Para la realización del ensayo se utilizaron los siguientes materiales, Figura 2:

- Bandejas termoconformadas de 128 y 72 cavidades (semilleros).
- Semillas de *Daucus carota L.*; de la variedad Royal Chantenay.
- Sustratos: Lodos PTAR Salitre; humus de lodos residuales; humus de la combinación de lodos residuales con gallinaza y turba.
- Aspersor
- Calibrador con reloj
- Balanza digital
- Beacker de 50ml
- Pipeta graduada de 5ml
- Pipeteador manual

El experimento se desarrolló en bandejas termoconformadas; semilleros de 128 y 72 cavidades de las cuales se utilizaron 100 cavidades en cada tratamiento.

Para la siembra se uso semillas de zanahoria *Daucus carota L.*; de la variedad Royal Chantenay de la empresa Agrinter. De las siguientes características:

- Lote No: 1110031195.
- Porcentaje de germinación: 70%.
- Pureza del: 97%.
- Porcentaje inerte: 1%.
- Fecha de análisis: 05/12.
- Peso: 5g.

Las cuales se dejaron en agua durante un periodo de imbibición de 12 horas; se utilizaron 10 semillas por cavidad y un total de 1.000 semillas por tratamiento.



**Figura 2.** Materiales utilizados en el ensayo de germinación. 1) bandejas termoconformadas; 2) Calibrador con reloj; 3) Semillas de zanahoria; 4) Aspersor; 5) Diferentes sustratos.

Los biosólidos vermicompostados y vermicompostados con gallinaza, utilizados procedieron del sistema reactor de lombricultura de la UMNG.

Los lodos provenientes de la PTAR Salitre de Bogotá D.C. En la PTAR estos son obtenidos de la sedimentación primaria, que luego son espesados, digeridos anaerobiamente por 22 días a 35 °C y posteriormente deshidratados [33].

El último sustrato que se utilizó fue turba comercial. El cual es un producto obtenido a partir de materiales orgánicos tratados por microorganismos en procesos de estandarización aerobia, proceso que lo categoriza como una enmienda orgánica sólida y denominado sustrato germinador.

Para el montaje del ensayo se utilizaron de las diferentes bandejas termoconformadas 100 cavidades por tratamiento, a las cuales se les agregó diferentes cantidades de sustrato dependiendo del tamaño de la cavidad de la bandeja y de la naturaleza del sustrato como se muestra en la Tabla 6.

La duración del experimento fue de 20 días, contando como día cero el momento de la siembra de las semillas. Y durante el desarrollo de este se realizó cada dos días riego a cada una de las cavidades de las bandejas termoconformadas y a cada uno de los tratamientos; esta actividad se llevó a cabo en horas de la mañana utilizando 2,2 ml de agua por cavidad.

En cuanto a los Sustratos, se utilizaron cuatro tipos como se especifica a continuación:

- Tratamiento A) sustrato Lodos PTAR Salitre (Biosólidos).
- Tratamiento B) sustrato humus de lodos residuales (biosólidos vermicompostados).
- Tratamiento C) sustrato humus de la combinación de lodos residuales con gallinaza vermicompostados.
- Tratamiento D) sustrato control usando turba.

La evaluación de cada tratamiento tuvo tres replicas y un control.

**Tabla 6.** Materiales utilizados por cavidad y tratamiento en cada uno de los ensayos.

MATERIALES TRATAMIENTOS	MATERIALES POR CAVIDAD				TOTAL MATERIALES EN CADA ENSAYO				
	Cantidad de sustrato	Semillero	No semillas zanahoria	volumen de agua, Riego cada 2 días	Cantidad total de sustrato	Total cavidades usadas	No total de semillas de zanahoria	volumen total de agua	Bandejas semillero usadas
<b>Tratamiento A</b>	22g	1 cavidad	10	2,2 ml	2200g	100	1000	2420ml	72 cavidades
<b>Tratamiento B</b>	11g	1 cavidad	10	2,2 ml	1100g	100	1000	2420 ml	128 cavidades
<b>Tratamiento C</b>	19g	1 cavidad	10	2,2 ml	1900g	100	1000	2420 ml	72 cavidades
<b>Tratamiento D</b>	8 g	1 cavidad	10	2,2 ml	800g	100	1000	2420 ml	128 cavidades

Para determinar la cantidad de sustrato utilizado en cada tratamiento; se tomó la totalidad del sustrato de una cavidad de la bandeja termoconformada y se pesó en la balanza digital del laboratorio de química de la UMNG. Y para medir el volumen de agua utilizada en el riego de cada cavidad, se tomó un beacker de 50ml y se realizaron las mismas cuatro aspersiones que se hacían en cada cavidad y luego de tener este volumen de agua se procedió a medir con la pipeta graduada de 5ml utilizando un pipeteador.

Luego de 20 días de iniciado el ensayo, se procedió a realizar los conteos de las plántulas emergidas para determinar la variable porcentaje de germinación; luego se extrajeron las plantas seleccionadas al azar para realizar las mediciones del parámetro área foliar, altura de la plántula y longitud total de la planta, en cada uno de los tratamientos. Para realizar las mediciones de las plantas se utilizó un calibrador con reloj.

Para el cálculo del porcentaje de germinación se empleó la fórmula,

**Porcentaje de germinación (%)**, el porcentaje real de todas las semillas de la muestra que han germinado durante la prueba, sobre el número de semillas utilizado por tratamiento.

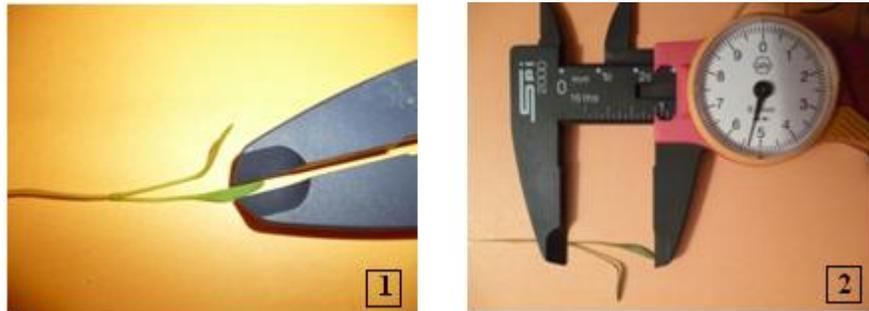
El porcentaje de germinación se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de germinación} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de semillas germinadas}}{\text{N}^{\circ} \text{ semillas sembradas}} \times 100 \quad (1)$$

**Área foliar (mm<sup>2</sup>)**. Para el cálculo del área foliar se empleó la fórmula propuesta por Martínez (1987) [34], según la cual:

$$\text{Área foliar} = \text{Largo} \times \text{Ancho} \times 0,8 \quad (2)$$

Se utilizaron 5 plántulas por tratamiento y el resultado se expresó en mm<sup>2</sup>. En la Figura 3. Se muestra como se efectuó la toma de estas medidas en las plántulas de zanahoria, utilizando el calibrador con reloj.



**Figura 3.** Medición del área foliar. 1). Ancho de la hoja, 2). Largo de la hoja desde la base del peciolo.

**Altura de la planta (mm)**. Se midió desde la base del tallo hasta el ápice terminal de la planta y se seleccionaron 10 plántulas por tratamiento. El resultado se expresó en mm. En la Figura 4. Se muestra como se tomo esta medida.



**Figura 4.** Medición de Altura de la planta utilizando un calibrador con reloj. Tomando la medida desde la base del tallo hasta el ápice terminal de la hoja.

**Longitud total de la planta (mm)**. Se midió desde el ápice de la raíz hasta el ápice terminal de la planta y se seleccionaron 10 plántulas por tratamiento. El resultado se expresó en mm. En la Figura 5. Se muestra como se tomo esta medida utilizando un calibrador con reloj.



**Figura 5.** Longitud total de la planta, calibrando desde el extremo de la raíz hasta el ápice terminal de la planta.

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó un diseño completamente aleatorizado, para la obtención de estos. Los cuales fueron sometidos a la prueba de Normalidad Shapiro-Wilk con una probabilidad del 5% al igual que la prueba de homogeneidad de varianzas Bartlett. Si los datos son normales y homogéneos se procede a realizar un análisis de varianza de clasificación simple; ANOVA utilizando el Programa R Studio versión 0.95. Finalmente se realizó una comparación de medias según la prueba de Tukey para el 5% de probabilidad de error, para establecer diferencias entre tratamientos.

#### 4 Resultados y análisis

Partiendo de los sustratos utilizados:

Tratamiento A) sustrato Lodos PTAR Salitre (Biosólidos).

Tratamiento B) sustrato humus de lodos residuales (biosólidos vermicompostados).

Tratamiento C) sustrato humus de la combinación de lodos residuales con gallinaza, biosólidos vermicompostados.

Tratamiento D) sustrato control usando turba.

Se encontró que a nivel biológico en el ensayo de germinación; todos los sustratos son un medio adecuado para la germinación de las semillas de zanahoria, pero en el sustrato C. humus de la combinación de lodos residuales con gallinaza (biosólidos vermicompostados) presentó el mayor porcentaje de germinación con un 77,6 % como se muestra en la Tabla 7, siendo un resultado superior al sugerido por la referencia de la empresa Agrinter en la etiqueta de las semillas; en la que reportan un porcentaje de germinación del 70%. Lo cual podría indicar que este sustrato mejora el porcentaje de germinación en las semillas de zanahoria. En los sustratos C y A se aumentó el porcentaje de germinación, respecto al control; pudiendo deberse a el mayor tamaño de los agregados del suelo y siendo esta una característica fundamental de la fertilidad física de este, en el que se mejoraron los resultados de la germinación de las semillas de zanahoria en los diferentes tamaños de agregados de los sustratos utilizados. Ya que los mayores tamaños de agregados se observaron en los sustratos A y C característica observada al tacto.

**Tabla 7.** Porcentajes de germinación obtenida en cada uno de los ensayos.

Tratamiento (Sustrato)	A	B	C	D
Porcentaje de germinación (%)	76,3	48,6	77,6	61

Si observamos el porcentaje de germinación del sustrato A. Lodos PTAR (biosólidos) es de 76,3 %, este resultado podría deberse a la influencia del tamaño de agregados del suelo sobre el crecimiento de las plantas de zanahoria, evaluado por Pisco (2006) [35]; en el que demuestra que estas plantas tienen un mejor desarrollo cuando se siembran sobre sustratos con tamaño de agregados entre 5 y 8 mm de diámetro. Correspondiendo este sustrato; a el mayor tamaño de agregados con respecto a los otros sustratos utilizados.

En general podríamos decir que el material de siembra fue de buena calidad y que el resultado de la germinación frente a los factores que influyen directamente en esta; y la emergencia de las plántulas entre las que se encuentran [23]:

- Calidad de la semilla: edad, vigor y sanidad.
- Estado físico del suelo: la presencia de costra superficial dificulta la emergencia.

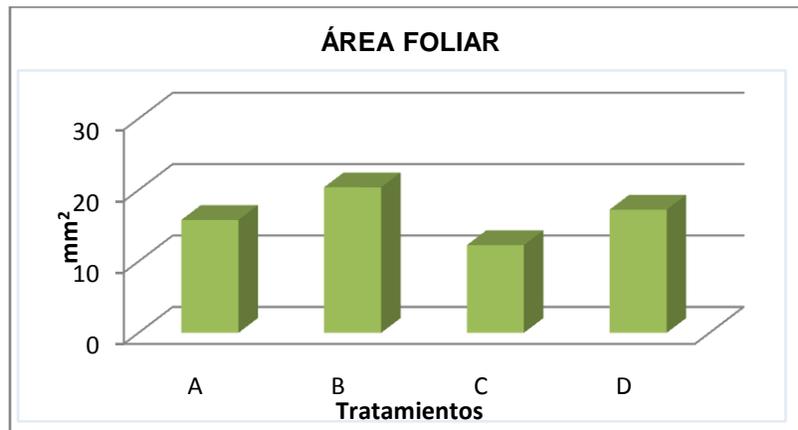
- Manejo de la siembra: profundidad y densidad de siembra.
- Temperatura.

Los resultados obtenidos se lograron bajo unas buenas condiciones de germinación tanto de la semilla como del sustrato.

En cuanto al sustrato C. humus de lodos (biosólidos vermicompostados), la disminución es debida a la textura del sustrato ya que fue muy arcilloso; característica determinada al tacto. El cual formaba una costra que creó obstrucción para la germinación de la semilla lo cual fue evidente al ver surgir las plántulas de zanahoria por los extremos del sustrato en cada cavidad. De acuerdo a lo expuesto por Tamet, V et al (1993) [36], se señala la disminución del porcentaje de emergencia y su enlentecimiento, cuando aumenta la profundidad de siembra y en el caso de presencia de obstrucción mecánica en la superficie. Los rangos de emergencia variaron entre 94 % cuando no existía ninguna superficie encostrada y con una profundidad de 1cm, hasta 34 % para una profundidad de 3cm y con una costra de 5mm de espesor.

Al evaluar el área foliar a los 20 días después de iniciado el experimento, Figura 6; se encontró que solo hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos B y C; humus de lodos residuales (biosólidos vermicompostados) y humus de la combinación de lodos residuales con gallinaza (biosólidos vermicompostados). Definiendo que el sustrato de humus de lodos residuales incremento la magnitud de dicha variable con un valor promedio de 20,38 mm<sup>2</sup>, siendo un resultado superior al área foliar desarrollada en los otros tratamientos. Y frente al control solo la mayor área foliar fue la del sustrato B, lo cual nos podría indicar que el contenido de MO de los humus de biosólidos vermicompostados aumentan la superficie de la estructura foliar de la planta. Lo opuesto a lo observado en el sustrato de biosólidos vermicompostados con gallinaza en el que el área fue de 12,28 mm<sup>2</sup> la reducción de este parámetro pudo deberse a el pH de la gallinaza el cual se encuentra entre 7 - 8 y el pH óptimo para el crecimiento de las plantas de zanahoria es de 5.7-7.0, pero este no fue un aspecto determinante en el ensayo ya que no se correlacionan con los resultados de los demás parámetros evaluados.

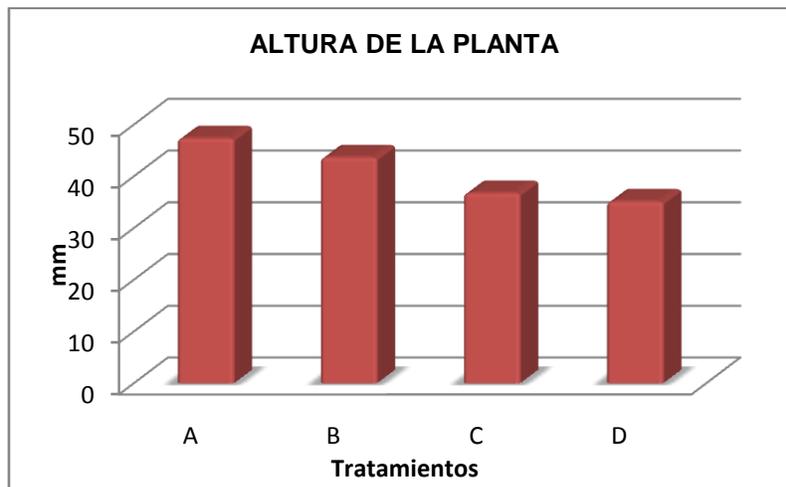
El incremento en el área foliar tiene una gran importancia fisiológica para el vegetal, debido a la mayor superficie fotosintéticamente activa de la planta, lo cual favorece la producción de carbohidratos, el cual unido al agua y los elementos minerales absorbidos que influyen directamente en la síntesis de proteínas u otros compuestos orgánicos que tienen relación directa con el aumento de la producción de biomasa (peso seco) de las plantas [37].



**Figura 6.** Área foliar media de plántulas de zanahoria cultivadas sobre diferentes sustratos.

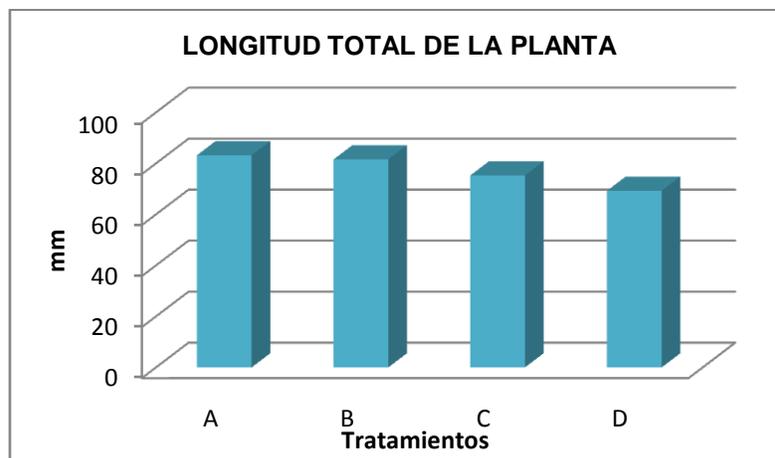
En la Figura 7, se observa como la aplicación de los distintos sustratos estimulo de forma positiva el crecimiento de las plantas de zanahoria; existiendo diferencias estadísticas significativas entre todos los tratamientos. Y no pudiéndose definir un sustrato como el de mejor resultado, quizá debido al periodo relativamente corto del desarrollo del experimento para determinar la mayor altura de las plantas sobre un sustrato. O tal vez podría deberse a que la germinación en todos los sustratos no fue en un mismo tiempo sino que día a día iban emergiendo plántulas en todos los sustratos, variable que pudo reflejarse en tamaños de plantas diferentes. Frente al control los demás sustratos

tuvieron un mejor resultado en cuanto a la altura de la planta respecto a lo observado en la grafica lo que nos indica que el uso de los biosólidos vermicompostados podría mejorar el crecimiento de las plantas en este caso de zanahoria. Y cuya mayor altura fue de 47,35 mm en el sustrato A, frente a los 35,13 mm del control.



**Figura 7.** Altura de plántulas de zanahoria al día 20 del ensayo, cultivadas sobre los sustratos anteriores.

En cuanto a la longitud total de las planta de zanahoria al día 20 del experimento Figura 8, se encontró que existen diferencias significativas entre los tratamientos A, B y D respecto a la longitud total de la planta; además se puede apreciar gráficamente que el mayor tamaño de las planta se dio en el sustrato Lodos PTAR Salitre (biosólidos) en el que la longitud promedio total fue de 83,21mm frente a los 69,29 mm del control, este mayor tamaño alcanzado pudo deberse a las dimensiones del agregado del sustrato [36] que en este sustrato fue el de mayor tamaño.



**Figura 8.** Longitud total de las plántulas de zanahoria cultivadas sobre loa sustratos anteriores.

De forma general, en esta investigación se pudo observar la respuesta positiva a la germinación de las semillas de zanahoria sobre los diferentes sustratos utilizados en especial sobre el sustrato humus de la combinación de lodos residuales con gallinaza. En cuanto a la evaluación del crecimiento vegetativo de las plantas a la aplicación de diferentes sustratos no se puede definir de forma clara que exista un mejor sustrato en la evaluación de las variables altura de la plántula y longitud total de la planta para lo cual se sugiere un mayor tiempo de experimento, tal vez llevar el experimento hasta la cosecha. Queda claro con el resultado de esta prueba de germinación y con el aporte de otros autores que el uso de humus de biosólidos son una alternativa viable y con buenos resultados que puede ser aprovechado en la agricultura y otras alternativas de aprovechamiento.

## 5 Conclusiones

La evaluación del uso de los sustratos preparados con lodos residuales mostro un incremento en el porcentaje de germinación en el que se alcanzo un valor de 77,6 % y de acuerdo a lo establecido en la definición de biosólido del documento RAS 2000 en el que dentro de los usos esta: fertilizante y acondicionador o mejorador de suelos. Ahora se podría tener en cuenta en sus usos; el de sustrato germinador ya que los sustratos evaluados en su gran mayoría mejoraron las condiciones de germinación de las semillas de zanahoria.

La propuesta de utilizar los lodos de PTAR y los humus de estos en una actividad agrícola, y según lo establecido en la gestión de los residuos y el aprovechamiento de estos; se podría considerar como una modalidad que genera beneficios sanitarios, ambientales, sociales y económicos en el marco de una gestión integral. Con los porcentajes de germinación y las variables área foliar, altura de la planta y longitud total de la planta se evidencia un resultado positivo a la utilización de los biosólidos sobre las plántulas de zanahoria.

Se logro demostrar con la germinación sobre los sustratos de lodos, que esta actividad es una alternativa de eliminación de los residuos con utilización agrícola para nuestro país. Las características de este sustrato se han logrado mejorar con el vermicompostaje; el cual se ha conseguido optimizar la cantidad de MO, los nutrientes esenciales y los limites máximos de contaminantes y microorganismos. Que para nuestro país es necesario complementar con una normativa que valla de acuerdo a las normas internacionales en la que se defina límites pero que también nos brinde herramientas y alternativas dentro de una gestión integral de estos.

El paso siguiente para realizar una utilización directa de los lodos en los cultivos agrícolas es disminuir la carga microbiológica de estos, para ello es necesario realizar estudios y mejorar las técnicas de transformación de estos. Que hagan de este un material seguro, económico y de calidad para la agricultura de nuestro país.

## Bibliografía

- [1] Ministerio de Desarrollo Económico.: Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico Ras – 2000 sección II titulo E tratamiento de aguas residuales. Bogotá. p. E. 105-144 (2000)
- [2] Departamento Nacional de Planeación.: Documento CONPES 3177 Consejo Nacional de Política Económica y Social. Bogotá. p.27 (2002)
- [3] Ministerio De Desarrollo Económico.: DECRETO 1713 DE 2002. Bogotá. p.43 – 45 (2002)
- [4] Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.: Decreto Número 1505 DE 2003. Bogotá .p.1 (2003)
- [5] EPA - Enviromental Protection Agency.: Control of patogens and vector attraction in sewage sludge under 40 CFR part 503. Office of Water / Office Sciencse and Tecnology Sludge / Risk Assessment Branch. Washington. P.173 (2003)
- [6] Oropeza, N.: Lodos residuales: estabilización y manejo. Caos Conciencia 1: p.51-58 (2006)
- [7] Mahamud, M., Gutierrez, A., Sastre, H.: Biosolids Management In Spain: A Case Study. Waste Management, Vol. 17, No. 7, 463-472 (1997)
- [8] Dáguer, G.: Gestión de Biosólidos en Colombia. ACODAL Sociedad, Ambiente y Futuro (2005)
- [9] Sanchez, M.A., Mondini, C., De Nobili, M., Leita, L., Roig, A.: Land applications of biosolids. Soil response to different stabilization degree or treated organic matter. Waste Manage. 24 (4), 325–332 (2004)
- [10] Metcalf, E.: Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse, fourth. McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New York (2003)
- [11] Cocker, E.G.: The use of sewage sludge in agriculture. Water Sci. Technol. 15, p. 195 (1983)

- [12] Abad, E., Martínez K., Planas C., Palacios J., Caixach J. y Rivera J.: Priority organic pollutant assessment of sludges for agricultural purposes. *Chemosphere* 61, 1358-1369 (2005)
- [13] Utria, E., Cabrera J. A., Reynaldo I. M., Morales D., Fernández A. M.: Utilización Agraria de los Biosólidos y su Influencia en el Crecimiento de Plántulas de Tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(1): 33-39 (2008)
- [14] Chávez, E., Rodríguez, A.: Análisis químico y biológico de biosólidos sometidos a sistema de lombricultura como potencial abono orgánico. *Ciencias Biomédicas* vol.9 No. 15 - Enero - Junio De 2011: 50-56 (2011)
- [15] Bernal, O., Chávez, A., Ospina E., Gómez, W.: Dispositivo para Monitoreo de Temperatura, Humedad Y Ph en Sistemas de Lombricultura. *Revista Gestión Integral en Ingeniería Neogranadina*. Universidad Militar Nueva Granada (2008)
- [16] Garavito, J., Morales, N., Chávez, A.: Descripción de Metodologías del Sistema de Lombricultura Para Gestión de Residuos Sólidos Orgánicos. *Revista Gestión Integral en Ingeniería Neogranadina*. Universidad Militar Nueva Granada (2008)
- [17] Muscolo, A., Bovalo, F., Gionfriddo, F., Nardi S.: Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biology and Biochemistry* 31, 1303-1311 (1999)
- [18] McColl, H. P., Hart, P. B. S., Cook, F. J.: Influence of earthworm on some chemical and physical properties, and the growth of ryegrass on a soil topsoil stripping: a port experiment. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 25, 239-243 (1982)
- [19] Dáguer, G.: Gestión de biosólidos de la PTAR El Salitre, Pontificia Universidad Javeriana, Curso Internacional de restauración ecológica de canteras y uso de biosólidos, 28 de julio – 2 de agosto, Bogotá (2005)
- [20] Burchard, L.: Manejo de lodos. Secretaria Regional Ministerial de Salud de Antofagasta, Chile. p 19-39. En: <http://www.slideshare.net/lucasburchard/manejo-de-lodos> (2012)
- [21] García, G. Gestión de biosólidos, Universidad Pontificia Bolivariana, Seminario Internacional Gestión integral del agua, 24 –27 de junio, Medellín (2003)
- [22] Torres, P., Madeira, C., Silva, J.: Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista EIA.*; (11): 21-37 (2009)
- [23] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SERMANAT , México).: Norma de protección ambiental de lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. NOM-004- SERMANAT (2002)
- [24] Ministério Do Meio Ambiente. Conselho Nacional Do Meio Ambiente.: Resolução No 375, de 29 de agosto de 2006. p 1 -32 (2006)
- [25] Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, Chile).: Reglamento chileno para el manejo de lodos no peligrosos generados en las plantas de tratamiento de aguas. p. 27 (2000)
- [26] Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente.: Reglamento para el manejo sustentable de barros generados en plantas de tratamiento de efluentes líquidos, Resolución N° 97/01(2001)
- [27] Ministerio del medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.: Reglamentación sobre aprovechamiento de residuos sólidos, y lodos estabilizados generados en plantas de tratamientos de aguas residuales municipales. Propuesta de resolución (2009)

- [28] Reina, C.: manejo postcosecha y evaluación de la calidad para la zanahoria (*Daucus carota L.*) que se comercializa en la ciudad de Neiva. Universidad Surcolombiana, Neiva - Huila, p 20-27 (1997)
- [29] García, M.: Curso De Horticultura, El Cultivo De Zanahoria. Universidad De La República. Montevideo Uruguay p 2 -13 (2003)
- [30] Oliva, R. N.: Manual de producción de semillas Hortícolas. Zanahoria. INTA. Argentina p 5-8 (1987)
- [31] Vigliola, M. I.: Manual de Horticultura. Buenos Aires. Argentina (1986)
- [32] Valdivia, R.: como hacer la prueba de germinación de semillas de granos básicos (maíz, frijol sorgo, arroz) Nicaragua p 1-2 (2000)
- [33] Acueducto, Agua y Alcantarillado de Bogotá. PTAR Salitre Fase I. En: [www.acueducto.com.co](http://www.acueducto.com.co) (2011)
- [34] Martínez, G.A.: “Determinación del área foliar mínima en plátano en el trópico húmedo”. Revista ICA, 19 (2):183-18 (1984)
- [35] Ramírez, R., Zapata, N., Influencia del tamaño de agregados del suelo, en el crecimiento de Zanahoria (*daucus carota l*) cultivada en un andisol virgen de Marinilla. Universidad nacional de Colombia, Marinilla Antioquia p 1-15 (2006)
- [36] Tamet, V., Boiffin, J., Durr C., Souty, N.: Influence de la profondeur de semis, de l'état de surface du sol et de la taille des semences sur la levée des plantules de carotte. Acta Horticultura p 354 (1993)
- [37]. Utria, E., Cabrera, J., Reynaldo I., Morales, Fernández, A., Toledo. E.: Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum MILL*) Revista Chapingo Serie Horticultura 14(1), La Habana Cuba, p33-39 (2008)