



**APROVECHAMIENTO DE UN SUBPRODUCTO DE P.T.A.R. EN EL SECTOR  
AGRÍCOLA**

**CAROLINA CAMACHO OBREGON**

**DIANA PATRICIA BRAVO PINEDA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente EIDENAR**

**Santiago de Cali**

**2015**

**APROVECHAMIENTO DE UN SUBPRODUCTO DE P.T.A.R. EN EL SECTOR  
AGRÍCOLA**

**CAROLINA CAMACHO OBREGÓN  
COD: 0842655**

**DIANA PATRICIA BRAVO PINEDA  
COD: 0840619**

**JAIME ERNESTO DÍAZ ORTIZ  
DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente EIDENAR  
Santiago de Cali**

**2015**

## **DEDICATORIA**

Este logro va dedicado principalmente a Dios por ser esa fuerza y guía, que puso en nuestro camino maravillosas personas para guiarnos en la culminación de este gran sueño.

A nuestros padres y hermanos, por ser la inspiración y motivación más grande en nuestras vidas, por su apoyo incondicional y palabras de aliento.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron parte de este proceso de formación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profesor Jaime Ernesto Díaz Ortiz, por ser el director de este trabajo de grado, y brindarnos la oportunidad para crecer profesionalmente; por su gran apoyo, compromiso, orientación y dedicación en la realización del proyecto.

A la Universidad del Valle y empresa Acuasur S.A., junto con sus integrantes el Dr. Jaime Felipe Sardi y la Dra. Alejandra Rengifo, por facilitarnos los espacios y equipos necesarios para el desarrollo de la investigación.

Al profesor de la Universidad del Cauca Carlos Vargas por su orientación y colaboración en la realización del proyecto.

Y cada una de las personas que nos brindaron esa fuerza motriz y ayuda en todos los procesos para la culminación de este gran sueño: Daniel Lagarcha, Germán Obregón, Dubán y Bernardo Viveros (agricultores del corregimiento de Robles) y Clara González.

Gracias totales.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS.....	5
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
3. ANTECEDENTES.....	6
4. MARCO TEÓRICO.....	10
4.1 Caracterización de los patógenos presentes en el biosólido.....	14
4.2 Estabilización del biosólido.....	16
4.3 Cultivo.....	17
5. METODOLOGÍA.....	19
5.1 Área de producción del biosólido.....	19
5.2 Descripción de la zona de estudio.....	23
5.3 Diseño experimental.....	25
5.4 Siembra y manejo del cultivo.....	26
5.5 Prueba de Distribución t de Student.....	29
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
6.1 Estudio físico y químico del suelo y sub producto de PTAR.....	33
6.2 Pruebas microbiológicas y estabilización del biosólido.....	35
6.3 Desarrollo del cultivo.....	39
7. CONCLUSIONES.....	45
8. RECOMENDACIONES.....	47

**9. BIBLIOGRAFÍA..... 48**  
**ANEXOS.....55**

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Criterios microbiológicos para la caracterización de biosólidos en Colombia.....	Pág.13
Tabla 2. Propiedades químicas analizadas al biosólido.....	Pág. 25
Tabla 3. Propiedades físico-químicas analizadas al suelo.....	Pág. 25
Tabla 4. Tratamientos propuestos en la investigación. ....	Pág. 28
Tabla 5. Propiedades físicas y químicas del suelo. . ....	Pág. 33
Tabla 6. Porcentajes de nutrientes de biosólido. . ....	Pág. 34
Tabla 7. Técnicas microbiológicas utilizadas. ....	Pág. 35
Tabla 8. Concentraciones microbiológicas del lodo. ....	Pág. 36
Tabla 9. Altura de plantas.....	Pág. 40
Tabla 10. Longitud de raíces.....	Pág. 40

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la P.T.A.R. Ciudadela el Castillo. Municipio de Jamundí-Valle del Cauca .....	Pág. 19
Figura 2. Lodo primario.....	Pág. 22
Figura 3. Lodo espesado.....	Pág. 22
Figura 4. Lodo digerido.....	Pág. 22
Figura 5. Lodo deshidratado.....	Pág. 22
Figura 6. Localización de la Finca Villa Kerima, en el Corregimiento de Robles-Jamundí.....	Pág. 23
Figura 7. Modelo y dimensiones de diseño del invernadero.....	Pág. 26
Figura 8. Construcción del invernadero. ....	Pág. 26
Figura 9. Preparación del terreno.....	Pág. 27
Figura 10. Plantación de semillas.....	Pág. 27
Figura 11. Cultivo al mes de plantado.....	Pág. 29
Figura 12. Huevo decorticado.....	Pág. 38
Figura 13. <i>Diphyllobothrium latum</i> .....	Pág. 38
Figura 14. <i>Enterobius vermicularis</i> .....	Pág. 38
Figura 15. Medición realizada a un mes de siembra del cultivo.....	Pág. 41
Figura 16. Medición realizada en la cosecha del cilantro (dos meses).....	Pág. 41
Figura 17. Medidas realizadas en las raíces de cultivo de estudio.....	Pág. 43



## RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el efecto producido por la aplicación de biosólidos, resultantes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudadela “El Castillo”, Jamundí, sobre algunas características agronómicas, y el desarrollo del cultivo de cilantro. El diseño experimental utilizado consistió en bloques completamente al azar con cuatro tratamientos, distinguidos como: T1= 20% de biosólido y 80% de suelo, T2= 40% de biosólido y 60% de suelo, T3= 60% de biosólido y 40% de suelo y T4= Suelo sin ninguna aplicación (Testigo). Las variables de respuesta medidas fueron altura de la planta y longitud de las raíces, tomando dos medidas del primero (al mes y dos meses de siembra) y el segundo al final de la investigación. Con base en los resultados de alturas y la longitud se realizó un análisis estadístico, mediante la prueba de la t-Student, con un nivel de significancia de 0.05. Para el desarrollo del proyecto, se plantearon dos hipótesis; la hipótesis nula plantea que las alturas de las plantas con aplicación de biosólido (T1, T2 y T3), son iguales a las del testigo. Y la hipótesis investigativa afirma que T1, T2 y T3 tienen mayores alturas respecto al testigo. De acuerdo al análisis realizado se comprobó que T2 es el mejor tratamiento, en cuanto a los dos parámetros medidos.

En cuanto al biosólido, se realizaron tres pruebas de laboratorio con el fin de observar la presencia de microorganismos patógenos, los parámetros medidos fueron coliformes fecales, huevos de helmintos y salmonella sp; estos dieron como resultado una clasificación para el lodo, de clase A. Sin embargo, el biosólido presentó un nivel de contaminación, ya que, se presentaron valores de coliformes fecales y huevos de helmintos; siendo estos exterminados bajo un proceso de estabilización.

Los resultados mostraron que la fertilización mediante la aplicación de biosólidos, presenta un gran potencial de aprovechamiento debido al alto contenido nutricional que posee el subproducto, y puede ser usado como abono orgánico, ya que, posee una alta carga nutricional. No obstante, su aplicación directa debe realizarse bajo las indicaciones presentadas en la norma 40 CFR parte 503 de la EPA o debe ser sometido a procesos adicionales de estabilización.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (P.T.A.R.) de Colombia generan alrededor de 274 toneladas de biosólidos al día. El 97% de esta producción es producida por tres plantas principales: El Salitre (Bogotá), Cañaveralejo (Cali) y San Fernando (Medellín). Debido a esta razón, la generación de biosólidos por parte de las grandes P.T.A.R. de Colombia, es conveniente desarrollar la investigación del posible aprovechamiento de este tipo de materiales con el fin de identificar la mayor cantidad de formas de beneficio y garantizar la sostenibilidad ambiental para tratamiento de las aguas residuales (Daguer, 2005). En el desarrollo de este proceso se utiliza la combinación de procesos físicos, químicos y biológicos (Merli & Ricciuti, 2009), para disminuir la carga contaminante, lo cual genera diariamente una cantidad considerable de volumen de lodos que pueden ser sometidos a determinados métodos de estabilización para ser transformados en biosólidos. Posteriormente, el material puede ser utilizado en distintas actividades; particularmente en la agricultura donde actúan como reemplazo parcial de fertilizantes, o en ocasiones, simplemente como mejoradores y recuperadores de suelos. En la actualidad, la utilización de este subproducto de P.T.A.R. en terrenos agrícolas es una práctica que se ha extendido alrededor del mundo, ya que el aprovechamiento de los nutrientes, los aportes a la materia orgánica y los minerales que contienen pueden llegar a reducir el consumo de fertilizantes inorgánicos comerciales (Espinosa & Solano, 2008) y mejorar las propiedades físicas de los suelos.

Cabe resaltar, que la utilización de biosólidos en suelos agrícolas, principalmente cuando su procedencia es industrial, pueden presentar algunos aspectos nocivos. En ocasiones estos residuos contienen metales pesados y microorganismos patógenos que pueden influir negativamente tanto en los suelos, como en las plantas del cultivo y generar incidencias negativas por su consumo (Borges, 2007).

Por estas razones, es necesario realizar tratamientos previos para la manipulación de lodos, tendientes a la disminución de cargas contaminantes de carácter tóxico, consistentes en la higienización antes de su aplicación en terrenos agrícolas y aplicación de medidas especiales de manejo para las personas que entren en contacto con el material; todo esto, con el fin de minimizar el contenido de elementos patógenos y su impacto negativo relacionado con la manipulación del producto, el desarrollo de cultivo y las afectaciones de un consumo sin las medidas de higiene previstas.

Debido al interés de AcuaSur S.A. E.S.P, ciudadela “El Castillo” de dar un manejo integral a los residuos resultantes del tratamiento de aguas residuales domésticas, surgió la necesidad de estructurar una propuesta a la empresa para evaluar los beneficios ambientales y económicos frente a los lodos generados, mediante un proceso de caracterización físico y química.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el aprovechamiento de un subproducto de P.T.A.R. en el cultivo de cilantro sembrado en un invernadero.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer el manejo y caracterización adecuados para el subproducto.
- Determinar la patogenicidad del biosólido para la aplicación en el suelo.
- Evaluar las siguientes características agronómicas en un cultivo de cilantro.
  - ✓ Altura de la planta
  - ✓ Longitud de las raíces

### 3. ANTECEDENTES

En Colombia, las tres principales P.T.A.R. (El Salitre-Bogotá, Cañaveralejo-Cali y San Fernando-Medellín) pueden llegar a producir 111.000 ton/año de biosólidos, la cual se incrementará a medida que se mejoren los sistemas de las plantas de tratamiento. Sin embargo, los cambios crecientes en las ciudades y el aumento de las industrias, han hecho que las características de los subproductos de las plantas de tratamiento de las aguas residuales hayan ido transformándose; limitando así su uso en la agricultura, ya que es necesario tener en cuenta algunos aspectos que puedan ocasionar grandes impactos al ambiente, tales como el contenido de metales pesados y microorganismos patógenos. Adicionalmente, este tipo de residuos deben garantizar un buen contenido de materia orgánica y nutriente, para así mantener la fertilidad del suelo, y las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo mejorado.

Torres *et al.*, (2007), evaluaron la aplicación agrícola del compost obtenido del biosólido primario de la PTAR de Cañaveralejo, en el cultivo de rábano y acelga con dosis de 20 t/ha. La comparación se dio para tres tratamientos: suelo sin ninguna aplicación, suelo con aplicación de fertilizante químico (10-30-10) y suelo con aplicación de compost; este último no mostró ninguna diferencia significativa en la productividad del rábano en los suelos acondicionados. En el caso de la acelga, aunque el análisis estadístico no mostró diferencias significativas en la productividad, se podría dar un buen aprovechamiento al compost, ya que mejora entre un 43 a 130% comparado con el suelo sin ninguna aplicación.

Silva *et al.*, (2009), evaluaron la estabilización alcalina de los biosólidos de la PTAR Cañaveralejo, para mejorar su calidad microbiológica, empleando dos tipos de cal (hidratada y viva) en dosis entre 8 y 25 % y dos tipos de ceniza con dosis entre 8 y 40 % en unidades experimentales de 0,2 m<sup>2</sup> con un tiempo de contacto de 13 días.

Los resultados mostraron que con cal se logró la reducción total de las variables de respuesta evaluadas (coliformes fecales, Salmonella sp y huevos de helmintos), mientras que el poder alcalino de las cenizas evaluadas fue insuficiente. El biosólido higienizado con cal presentó un alto potencial de uso agrícola por su calidad microbiológica y por el contenido final de materia orgánica y nutrientes (N, P) que pueden beneficiar los suelos; aunque es recomendable evaluar la optimización a escala piloto de la dosificación de cal y la aplicación del biosólido en diferentes tipos de suelos y cultivos para precisar los beneficios o medidas preventivas antes de la aplicación.

En Santander, Escobar (2008), evaluó el efecto de la aplicación de biosólido, mediante un proceso de estabilizado con cal de la PTAR Río Frío (Santander), en las plantas de lechuga, guadua y samán; encontrando un efecto positivo principalmente en las plantas de lechuga. La mezcla empleada fue una parte de tratamiento por tres partes de suelo y la dosis de Cal fue del 33 % (cal agrícola).

Peñarete (2013), evaluó el efecto de la aplicación de biosólidos resultantes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Cañaveralejo, sobre las propiedades físicas (densidad aparente, porosidad y estabilidad estructural) de un suelo Vertic endoaquepts con características vérticas, sembrado con caña de azúcar, así como la influencia sobre el rendimiento del cultivo. Para el proyecto se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con dos repeticiones y ocho tratamientos: dos testigos (suelo sin biosólido y sin fertilización mineral (To)) y suelo con fertilización mineral (FM) y seis tratamientos con biosólidos aplicando 100% y 200% de la dosis de nitrógeno requerida por el cultivo. Los resultados mostraron cambios ligeros en las propiedades físicas del suelo y en el rendimiento del cultivo. Se observó una tendencia en los tratamientos con biosólidos de disminuir la densidad aparente (de 1.33 Mg/m<sup>3</sup> a 1.29 Mg/m<sup>3</sup>) y la microporosidad (48.8% a

45.8%) y de aumentar la estabilidad estructural (1.8 mm a 3.1 mm) y la macroporosidad (2.0% a 5.0%).

A nivel nacional algunos de los estudios realizados son los presentados por Ramírez & Pérez, (2006), quienes evaluaron el potencial agrícola del biosólido de la PTAR el Salitre en el cultivo de rábano rojo (*Raphanus sativus*), evaluando dosis de 73-294 t/ha y encontraron un incremento en el crecimiento y el desarrollo del cultivo de rábano.

Así mismo, las calidades microbiológicas de los biosólidos pueden presentar una potencial restricción de uso agrícola. El comportamiento de los fagos somáticos como indicadores de contaminación fecal en las mezclas del biosólido de la PTAR el Salitre y suelo durante 90 días; estos encontraron un porcentaje de reducción entre 91.4 y 98% después de la aplicación y definieron que el principal factor influencia es la reducción en el suelo fue la humedad. La concentración inicial de fagos somáticos en el biosólido fue baja ( $2 \times 10^4$  PFP), comparada con la concentración encontrada por Guzmán y Campos (2004) en el biosólido de la PTAR el Salitre, esto debido probablemente a la técnica de medición de estos microorganismos.

Araque (2006), evaluó en la PTAR El Salitre los tratamientos térmico (60 °C y 80 °C) y alcalino (cal viva (CaO)) en dosis de 25 %, 45 %, 65% y 85 % durante 43 días), para la desinfección del lodo espesado y biosólido deshidratado, evaluando la eliminación de indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales, fagos somáticos y huevos de helmintos). Los resultados mostraron que a 80 °C durante 10 minutos los lodos tratados adquirieron características de biosólido clase A y que una dosis de 25 % de cal viva es suficiente para eliminar los patógenos en 21 días de tratamiento. A pesar de que la EPA (2003) recomienda mantener el pH sobre 11, a una temperatura mayor de 52 °C; el tratamiento alcalino evaluado permitió



alcanzar un producto clase A sin cumplir los requisitos de temperatura (valor máximo 42 °C).

La revisión de la literatura mostrada anteriormente, nos permite dar a conocer que la utilización agrícola de los biosólidos representa una alternativa importante, principalmente para las regiones que presentan una agricultura intensiva, pudiendo ser usados como mejoradores en la fertilidad de suelos por el contenido de materia orgánica y nutrientes presentes en el biosólido. Este alto contenido de materia orgánica permite el mejoramiento del contenido de nutrientes, tales como nitrógeno y fósforo. Por tanto, se debe realizar un control sobre el contenido de microorganismos patógenos, para que las investigaciones en torno a los procesos de reducción de patógenos y al efecto de aplicación de los biosólidos en las características físicas, químicas y microbiológicas, permitan dar a conocer los beneficios asociados al uso del biosólido.

#### 4. MARCO TEÓRICO

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en su código 40 CFR Parte 503 define a los biosólidos, como aquellos sólidos provenientes del tratamiento de las aguas residuales y estabilizados biológicamente, con suficiente concentración de nutrientes, bajo contenido de microorganismos patógenos, presencia permisible de metales pesados, que se puede utilizar como fertilizante, acondicionador o mejorador de suelos, de acuerdo con la composición fisicoquímica del biosólido y la vocación de uso del suelo (Quinchía & Carmona, 2004).

La mayoría de procesos que se emplean para el tratamiento de las aguas residuales que generan biosólidos o sólidos orgánicos, son el resultado de la separación de la fase sólida-líquida (sedimentación, flotación, etc.). Estos lodos y biosólidos contienen el mismo tipo de microorganismos patógenos que el agua residual, pero en mayor concentración y su aplicación directa a cualquier cuerpo receptor (suelo, fuentes superficiales, mar) representan un riesgo para la salud humana y biótica (Torres, 2005).

La producción de lodo en una P.T.A.R. surge como subproducto del tratamiento de aguas residuales, obtenidas de las diferentes actividades productivas y domésticas que generan importantes cantidades de aguas servidas. El agua debe ser procesada en la P.T.A.R, para su reusó o disposición, generando un producto con una calidad mayor; proceso que se consigue al eliminar los contaminantes de los lodos, obteniendo de esta manera un material con alta carga orgánica que puede con los debidos cuidados, ser utilizado como abono orgánico parcial en distintas plantaciones agrícolas.

Las aguas residuales que provienen de distintas plantas de tratamiento, presentan características particulares, por lo que se hace necesario determinar cuál será el proceso más adecuado para aplicar en cada caso. No obstante, las aguas servidas

urbanas ofrecen una cierta homogeneidad en cuanto a su composición en elementos contaminantes, por lo que se podrán establecer una serie de esquemas más o menos generales para el tratamiento de las mismas, aunque estos tratamientos deberán estar adaptados a cada situación en particular. (Guzmán & Campos, 2004).

### ***Contaminantes presentes en los biosólidos***

La calidad de los biosólidos está afectada fundamentalmente por la aparición de tres grupos de contaminantes principales:

**Metales:** Principalmente zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr). Los metales están siempre presentes, en concentraciones bajas, en las aguas residuales domésticas, pero las concentraciones preocupantes son sobre todo las que se encuentran en las aguas residuales industriales (Vélez, 2007). La principal preocupación de la aplicación de biosólidos en terrenos agrícolas fue, durante mucho tiempo, el contenido de metales pesados; sin embargo, se estableció que debido al bajo contenido de contaminación química presente en los lodos generados en una P.T.A.R., el riesgo de afectación en la salud pública y en el ambiente es mínimo (Ingallinela, 2001).

**Contaminantes orgánicos:** Los plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, agentes tensos activos y muchas otras moléculas orgánicas complejas, generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de adsorción, tienden a acumularse en los lodos. Todos estos contaminantes son motivo de preocupación por sus efectos potenciales sobre el medio ambiente y la salud humana.

**Agentes patógenos:** Los más importantes que se han encontrado en los lodos son las bacterias, los virus (especialmente enterovirus), protozoos, tremátodos, céstodos y los nematodos (helminths). Los residuos de animales sacrificados o muertos accidentalmente, los desechos hospitalarios y funerarios, entre otros, pueden elevar la carga y la diversidad de patógenos en el influente (Vélez, 2007). La presencia de microorganismos patógenos en el biosólido limita su utilización y aprovechamiento, ya que existe la posibilidad de que estos microorganismos se ingieran y perjudiquen la salud de la población. Por lo cual, los lodos deben someterse a tratamientos de desinfección que eliminen estos agentes patógenos y permitan su utilización en tierras agrícolas (Erickesen, 1995).

### ***Clasificación del biosólido de acuerdo con el contenido de microorganismos patógenos***

De acuerdo a la norma de la EPA 40 CFR 503, planteada por los Estados Unidos, la cual clasifica los lodos de acuerdo con la concentración de metales y la cantidad de microorganismos patógenos presentes en subproducto. Los dos tipos de clasificación son:

**Clase A:** Biosólidos sin restricciones sanitarias para aplicación al suelo. En este punto, la EPA es más específica, al denominarlos “Exceptional Quality Biosolids (EQ) o Biosólidos de Calidad Excepcional”. Es un biosólido cuyo contenido de patógenos está por debajo de niveles detectables, presentan una densidad de coliformes fecales inferior a 1000 NMP por gramo de sólidos totales o la densidad de Salmonella sp es inferior a 3 NMP por 4 gramos de sólidos totales. Un biosólido con estos niveles que además tenga tratamiento para reducir vectores, no tendrá restricciones en su aplicación agrícola y sólo será necesario solicitar permisos para garantizar que estas normas hayan sido cumplidas (Vélez, 2007).

**Clase B:** Es un biosólido que posee microorganismos patógenos, pero permite garantizar que el contenido de estos sea reducido a un nivel tolerable en condiciones específicas de uso, que minimicen el potencial de contacto de los patógenos con humanos o animales. Es apto para la aplicación al suelo, con ciertas restricciones sanitarias de acuerdo al tipo y localización de los suelos o cultivos, es denominado por la EPA como “Pollutant Concentration Biosolids” (PC). Con una densidad de coliformes fecales inferior a  $2 \times 10^6$  NMP por gramo de sólidos totales o  $2 \times 10^6$  UFC por gramo de sólidos totales, este tipo de biosólidos deberá recibir tratamiento y será el que mayores restricciones presente para uso agrícola (Vélez, 2007)

**Tabla 1. Criterios microbiológicos para la caracterización de biosólidos en Colombia.**

*Fuente: Torres., 2009*

<b>CRITERIO</b>	<b>COLOMBIA</b>
<b>Coliformes fecales</b> (NMP/g)	Clase A: $<1 \times 10^3$ Clase B: $<2 \times 10^6$
<b>Salmonella sp</b> (NMP/g)	Clase A: ausente Clase B: $<1 \times 10^3$
<b>Huevos de Helminto</b> (HH/g)	Clase A: $< \frac{1}{4}$

En Colombia, debido a poca información existente en la utilización de estos subproductos, millones de toneladas de biosólidos, se disponen frecuentemente en sitios de relleno y demás lugares inadecuados, provocando impactos negativos sobre el ambiente (Ramírez, 2006).

#### **4.1 Caracterización de los patógenos presentes en el biosólido**

Los tratamientos de desinfección, se evalúan en términos de indicadores de contaminación fecal; estas técnicas de medición y métodos son muy dispendiosas y generan altos costos, pero son necesarias pues revelan la posible presencia de los patógenos (Guzmán y Campos, 2004); los indicadores utilizados son:

**Coliformes fecales:** Son Bacterias patógenas presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. Bacilos cortos Gram negativos no esporulados, también conocidos como coliformes termotolerantes, estos pueden identificarse por su tolerancia a temperaturas de 44°C- 45°C.

**Salmonella sp:** La mayoría de la salmonella sp, produce sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S). A menudo, son patógenos para el hombre y los animales cuando se ingieren, ocasionando fiebre tifoidea y gastroenteritis.

**Huevos de helmintos:** Los huevos de helminto son parásitos, que en su ciclo de vida producen larvas que infectan a los seres humanos. Es importante analizar la concentración de los huevos viables más que los totales, ya que son los primeros que determinan el riesgo parasitológico del material.

#### ***Uso agrícola del biosólido***

El uso agrícola es una de las formas más comunes para la eliminación de los biosólidos; alrededor del mundo el 25% de los lodos producidos en los Estados Unidos se utilizan en la agricultura y en Europa y Canadá es de aproximadamente 37%. Debido a su composición química, el subproducto de una P.T.A.R puede ser

presentado como un fertilizante para cultivos, ya que se compone de un 40% de materia orgánica y nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (Costa, 2009). Generalmente los biosólidos poseen un alto potencial de aprovechamiento agrícola, debido a que su contenido de nutrientes y materia orgánica, pueden ser utilizados benéficamente para la recuperación, el desarrollo de suelos y la fertilización de algunos cultivos.

El uso del subproducto de P.T.A.R como acondicionador natural permite reducir o eliminar la necesidad de consumir fertilizantes inorgánicos, reduciendo consecuentemente los impactos producidos en el ambiente por la contaminación con elementos químicos (Cortez, 2003). La FAO (1999) plantea que al utilizar el biosólido como mejorador de suelos y fertilizante, no solo disminuye los costos y los problemas en su disposición final, sino que también se genera un producto que puede llegar a disminuir la gran diferencia que existe entre la producción interna de fertilizantes químicos y su demanda anual en los países. Es por esto que el aprovechamiento agrícola debe realizarse de forma controlada y bajo las más estrictas normas de saneamiento ambiental, con el fin de evitar la generación de impactos negativos tanto en la salud pública como en el medio ambiente.

Los microorganismos del suelo producen la biodegradación de la materia orgánica y constituyen un importante reservorio, facilitando los procesos de nutrición de las plantas (Díaz & Raviña, 1993). La actividad microbiana es regulada por las características físicas y químicas del suelo, por la composición de los materiales orgánicos y por la naturaleza de la comunidad microbiana (Alexander, 1994; Álvarez & León, 1997), estos factores varían con los cambios en el uso del suelo y con la fertilidad del mismo (Verstraete & Voets, 1977).

## **4.2 Estabilización del biosólido**

Los biosólidos como subproducto requieren la aplicación de un tratamiento previo de estabilización que lo haga adecuado para el fin requerido, dependiendo fundamentalmente del destino final reservado al biosólido. Este tratamiento pretende obtener un producto con una carga microbiana menor y más adecuada para el manejo y el contacto por parte del ser humano. La estabilización es un proceso que consiste en someter al biosólido a un tratamiento que genere un producto adecuado, reduciendo su capacidad de fermentación y la presencia de organismos patógenos (Haubry, 1992).

Para evaluar el grado de estabilización alcanzado se utilizan dos criterios: el contenido de sólidos volátiles y la reducción de organismos indicadores. El primero criterio, se utiliza comúnmente como indicador del contenido de materia orgánica que se encuentra en un lodo, y puede ser utilizado como medida de la efectividad de un tratamiento de estabilización del componente orgánico del mismo. Este método no es aplicable al caso de los procesos de compostaje y de estabilización con cal. El segundo criterio, es uno de los procesos más importantes, ya que minimiza los riesgos de infección de la población. Los patógenos que incluyen virus, bacterias, parásitos y hongos son reducidos mediante la digestión anaerobia, el compostaje y la estabilización con cal. Los dos aspectos anteriores determinan el potencial aprovechable del biosólidos, ambos muestran la importancia del proceso para obtener un recurso aprovechable, que previamente debe ser sometido a un proceso de estabilización para su utilización posterior.

La valorización de los biosólidos de las plantas depuradoras, es una salida lógica a la necesidad de aportar nutrientes a los cultivos y por otra parte, dar un uso racional a sus residuos cloacales. La búsqueda de un destino para los biosólidos de las



ciudades representa hoy un importante desafío ecológico a nivel mundial y la aplicación de estos productos a los suelos es considerada normalmente una alternativa aceptable.

### ***El suelo***

El suelo es un sistema natural y evolutivo, que tiene una morfología específica, resultado de la combinación de los factores formadores, tales como, el clima, materia viva, material parental, topografía y edad (Lenis, 2006). Además es la principal base de la agricultura, y responsable del suministro de agua y nutrientes, que protege la calidad del aire y la hábitat natural de múltiples formas de vida. Este sistema es una mezcla materiales orgánicos e inorgánicos, y su fertilidad depende básicamente de las propiedades físicas, químicas y biológicas que suministran nutrientes en forma aprovechable para las plantas (Luna, 2006).

### **4.3 Cultivo**

**Cilantro (*Coriandrum sativum* L.):** Conocido como bebida aromática, es utilizada desde tiempos remotos como condimento y planta medicinal (Cruz, 2004). Siendo una planta herbácea de la familia de las apiáceas, de uso común en la zona mediterránea, latinoamericana y el sudeste asiático. El nombre coriandro viene del latín *coriandrum*, que a su vez deriva del griego *korios*, que quiere decir chinche, refiriéndose al desagradable olor del cilantro cuando sus frutos aún están verdes. (Papamija, 2014). El cilantro es una especie que se adapta muy bien en áreas ubicadas entre los 1000 y 1300 m.s.n.m., y suelos con pH entre 5.0 y 7.5, crece bien en cualquier clase de suelo, pero prefiere los livianos, ricos en materia orgánica, buena retención de humedad y buen drenaje (Acuña, 1988); la temperatura óptima de germinación varía de 15 a 30 °C durante el día y la noche. La siembra se

desarrolla en forma directa en eras o camas, la semilla se distribuye al voleo de una manera uniforme tapándola posteriormente con una capa de suelo fina de 0.5 cm (Caicedo, 1993). El periodo vegetativo dura alrededor de 45 a 50 días y alcanza rendimientos de 8 toneladas de follaje fresco por hectárea, además es indispensable el control de malezas para la conservación del cultivo.

El área mundial sembrada anualmente es 550.000 ha y la producción de semillas podría estimarse entre 30.000 y 40.000 ton/año. (Puga, 2001). Se calcula que en Colombia la especie mueve alrededor de US\$ 6.000 millones en el mercado mundial y que el sector está creciendo entre un 5 y 6 % por año. El área sembrada para el 2011 fue 2.429 ha, siendo los mayores productores los departamentos de Cundinamarca 31.8%, Tolima 22.6%, Valle del Cauca 17.3% y Norte de Santander 12.9%, con un rendimiento de 6.483 kg/ha y una producción de 15.747 Ton/año (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012). En cuanto al Valle del Cauca el cilantro es una hortaliza ampliamente cultivada, con un incremento progresivo en áreas sembradas en los últimos años. Según datos estadísticos de la Secretaria de Agricultura de la Gobernación del Valle (2014), el área sembrada en 2010 fue 365 ha y para el 2012 se incrementó a 478 ha sembradas con una producción de 3.650 Ton/año.

Las necesidades nutricionales del cilantro, cuando se le aplica al suelo enmiendas fertilizantes, responde bien, ya que se ve reflejado en buen follaje y el crecimiento de la planta.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 Área de producción del biosólido

Gran parte del proyecto se realizó de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Hacienda El Castillo, vía Cali-Jamundí, operada por la empresa “ACUASUR S.A E.S.P”; el proyecto urbanístico ocupa un área total de 17.86 hectáreas, delimitando al norte con el río Jamundí, el oriente con la hacienda El Castillo, occidente con la hacienda Sachamate y por el sur con el Zanjón del Rosario. A la fecha, la zona de influencia se compone de quince conjuntos estrato 5 agrupados en tres grandes condominios, con aproximadamente 650 unidades de viviendas construidas y en su mayoría habitadas y 20 locales; actualmente se encuentra en desarrollo otro condominio con 719 unidades de vivienda aproximadamente.

Los lodos que produce la P.T.A.R. de la empresa ACUASUR S.A E.S.P (ver figura 2) en la ciudadela el Castillo, actualmente son aplicados como abono orgánico en los jardines para proyectos en construcción. Para el desarrollo de la investigación, el biosólido fue trasladado hasta el municipio de Robles, y allí se realizó el proceso de estabilización y siembra.



**Figura 1. Localización de la P.T.A.R. Ciudadela el Castillo. Municipio de Jamundí –Valle del Cauca.**

### ***Temperatura***

El municipio de Jamundí, se encuentra a una altura de 982 metros en promedio sobre el nivel del mar, y su temperatura promedio es de 23°C (Ingeniería Ambiental S.O.S., 2013).

### ***Precipitación***

La precipitación media del municipio de Jamundí es de 1.850 mm por año. Con lluvias más intensas en los meses de Octubre, Diciembre y Marzo; el período seco se presenta en los meses de Junio, Julio y Agosto (Ingeniería Ambiental S.O.S, 2013).

### ***Velocidad del viento***

En el municipio de Jamundí, el promedio de velocidad del viento estimado por la estación “La independencia” es de 0.29 m/s, presentando velocidades bajas, con vientos procedentes del sur y suroccidente. Al parecer los vientos del norte que provienen desde Cali, se encuentran (chocan) con los del sur provenientes de Jamundí y se dirigen hacia el oriente (Ingeniería Ambiental S.O.S, 2013).

### ***Evaporación***

De la sección de hidroclimatología de la C.V.C se obtuvo información de la evaporación en la estación de potrero obteniendo un total 1490 mm (Ingeniería Ambiental S.O.S, 2013).

### ***Características generales de la P.T.A.R.***

La empresa ACUASUR S.A E.S.P es la empresa que presta los servicios de acueducto y alcantarillado a la población que habita en los proyectos urbanísticos desarrollados por la Constructora El Castillo S.A. en Hacienda El Castillo Km. 11 vía Cali-Jamundí. La ciudadela cuenta con un sistema de alcantarillado separado, cuyas aguas lluvias son evacuadas a través de tuberías hacia una laguna de

regulación y finalmente evacuadas hacia el zanjón El Rosario, las aguas residuales son transportadas hacia la PTAR igualmente a través de redes de tuberías, tiene una capacidad de 8,8 L/s; el agua residual es tratada mediante un sistema de tipo anaerobio y finalmente descargada al zanjón.

El caudal promedio de entrada durante el día varía entre 4 y 6 lts/sg, y la P.T.A.R. está diseñada para 8 lts/sg.

El sistema de tratamiento implementado en la P.T.A.R. está compuesto por:

- Un pozo de bombeo, en el cual se implementaron dos mallas (una de diámetro mayor que la otra) en las cuales se pretende retener los sólidos (Ver figura 2).
- Dos filtros biológicos percoladores, los cuales trabajan en paralelo y cuyo tipo de tratamiento es anaerobio.
- Una serie de sedimentadores secundarios en los cuales se mejora la calidad del efluente (Ver figura 3).
- Biodigestores (Ver figura 4), en los cuales es tratado el lodo proveniente de los sedimentadores secundarios y el caudal de agua que ha pasado a esta etapa es retornado al pozo para que inicie el ciclo de tratamiento.
- Lechos de secado, en estos se somete a la temperatura ambiente el lodo que ha sido estabilizado en los biodigestores y una vez secos están listos para ser dispuestos (Ver figura 5).



**Figura 2. Lodo primario**



**Figura 3. Lodo espesado**



**Figura 4. Lodo digerido**



**Figura 5. Lodo deshidratado**

## 5.2 Descripción de la zona de estudio

El proyecto se desarrolló en la zona rural del municipio de Jamundí (corregimiento de Robles), a 60 minutos de Cali y 30 minutos de la PTAR, en la finca llamada “Villa Kerima” (Figura 6), localizada en un sector ligeramente plano, de pendiente 0 – 1%, con temperatura promedio de 24°C. Este sitio fue escogido principalmente con el fin de ayudar a la agricultura del municipio y dar a conocer a los agricultores de la zona una posible alternativa de aprovechamiento y fertilización para sus cultivos.



**Figura 6. Localización de la Finca Villa Kerima, en el Corregimiento de Robles - Jamundí**

### ***Protocolo de muestreo para análisis microbiológico del biosólido.***

Para la toma de muestras del biosólido orgánico procedente de aguas residuales los análisis estuvieron basados en la Norma oficial Mexicana, Protección ambiental - Lodos y biosólidos, (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002). Esta norma establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final, proteger el medio ambiente y la salud humana.

Las muestras fueron depositadas en 4 frascos para cada laboratorio, el material de los recipientes entregados por cada centro investigativo fue diferente, en la planta de Puerto Mallarino de EMCALI (Fundación CINARA) se utilizaron frascos de vidrio, y en el laboratorio de Microbiología de la Universidad del Valle recipientes plásticos todos previamente esterilizados; cada muestra fue identificada y señalada con características, tales como: número, fecha, hora, ubicación del sitio de la toma y tipo de lodo. Los frascos se llenaron, depositando directamente el subproducto a la caída del vertimiento y fue transportado en una nevera, a temperatura de 4°C. Las

muestras fueron llevadas al laboratorio, sin exceder el tiempo máximo de almacenamiento, 8 horas.

### ***Pruebas físicas y químicas realizadas al suelo y biosólido***

En el laboratorio de suelos y aguas de la Universidad del valle, se realizaron los análisis de características físicas y químicas del suelo, los resultados de estos estudios nos permitieron conocer la facilidad de penetración de raíces, aireación, capacidad de drenaje, almacenamiento de agua y la retención de nutrientes; de igual manera se realizaron algunos análisis químicos al biosólido con el fin de conocer el potencial de nutrientes.

En la tabla 2 y 3 se observan las variables físicas y químicas del suelo, y del biosólido que indican los métodos utilizados en el laboratorio para la determinación de los distintos parámetros.

***Tabla 2. Propiedades químicas analizadas al biosólido***

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>
pH	Un	Potenciómetro
Carbono Orgánico	g/Kg	Digestión titulación
Nitrógeno total	g/Kg	Digestión titulación
Fosforo total	g/Kg	Digestión titulación



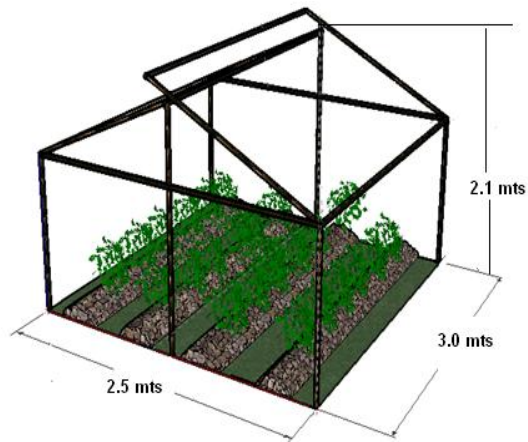
**Tabla 3. Propiedades físico-químicas analizadas al suelo**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>
pH	Un	Potenciómetro
Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>	Terrón parafinado
Densidad real	g/cm <sup>3</sup>	Picnómetro
Carbono Orgánico	g/Kg	Digestión titulación
Nitrógeno total	g/Kg	Digestión titulación
Fósforo total	g/Kg	Digestión titulación
Textura	%	Bouyoucos

### **5.3 Diseño experimental**

#### ***Construcción del invernadero***

El invernadero fue construido por las estudiantes del proyecto. La estructura del invernadero fue edificada en guadua, el forraje de laterales se hizo de la siguiente manera: dos adyacentes (largos) fueron tapados con tela blanca de costal y los lados (cortos) con poli-sombra de 33%, las uniones se realizaron con clavos de 2 ½", grapas y cabuya; en la Figura 7 se puede observar las dimensiones del invernadero. Con el fin de darle una buena estabilidad estructural a cada una de las columnas, la profundidad fue de 50 cm. La construcción final del invernadero se muestra en la Figura 8.



**Figura 7. Modelo y dimensiones de diseño del invernadero.**



**Figura 8. Construcción del invernadero.**

#### **5.4 Siembra y manejo del cultivo**

La siembra del cilantro de variedad común, se realizó a los 16 días de estabilización del biosólido, este proceso se hizo para 20 kg de lodo en 10 días del lecho de secado y 6 kg de cal agrícola, toda esta etapa del proyecto se ejecutó en la finca Villa Kerima. Para la estabilización del subproducto de P.T.AR., se realizó una mezcla de los materiales cada dos días, con el fin de brindar una buena aireación, oxidación, mezcla homogénea y pérdida del mal olor del compost.

Para la siembra se hizo una preparación del terreno manual, se eliminó la maleza con pala y el arado con palin, para obtener un área homogénea y de fácil manejo en la elaboración de los surcos (ver figura 9). La plantación de semillas se hizo en forma directa, en bolsas negras de 15 x 25 cm, depositando 3 semillas separadas entre 3 y 4 cm de distancia (ver figura 10).



**Figura 9. Preparación del terreno**



**Figura 10. Plantación de semillas**

El diseño experimental del proyecto se realizó aleatoriamente de forma que las comparaciones entre tratamientos midan sólo los efectos de los tratamientos mismos. En esta unidad experimental se desarrollaron cuatro tratamientos: 3 de ellos con aplicación de biosólido y un testigo (ver tabla 4); la distancia entre ellos se planteó de 50 cm. Para cada variable de respuesta se dispuso de diferentes números de bolsas, cada una con diferente porcentaje de biosólido y suelo (tipo de suelo es un vertisol). Con el fin de proteger el cultivo de las plagas y enfermedades, se realizó una siembra directa alrededor de las unidades experimentales.

**Tabla 4. Tratamientos propuestos en la investigación.**

TRATAMIENTOS	BIOSOLIDO (%)	SUELO (%)
T1	20	80
T2	40	60
T3	60	40
T4	0	100

El riego de cultivo se realizó de forma manual utilizando regadera (jarra de riego) y la germinación del cultivo ocurrió a los diez (10) días, donde comenzaron a salir las primeras hojas. El crecimiento del cultivo se puede decir que fue homogéneo en cada uno de los bloques, es decir, cada tratamiento tenía una altura promedio entre las plantas. Al llevar el cultivo un mes de plantado se podía observar cual era el tratamiento que resultaba más efectivo para el cilantro. El control de maleza se realizó también de forma manual, además de sembrar una cama protectora alrededor de la unidad investigativa (Ver figura 11).



*Figura 11. Cultivo al mes de plantado.*

### **5.5 Prueba de Distribución t-Student**

Por razones de tiempo y reducción de costos, el especialista en estadística William Gosset, publicó en 1908 la Distribución t Student; esto para determinar el intervalo de confianza dentro del cual se puede estimar la media de una población y probar una hipótesis cuando una investigación se basa en muestreo pequeño ( $n < 30$ ).

Existe una distribución t distinta para cada uno de los posibles grados de libertad, que se pueden definir como el número de valores que podemos elegir libremente. La apariencia general de la distribución t es similar a la distribución normal estándar, pues ambas son simétricas y unimodales, y el valor máximo de la ordenada se alcanza en la media  $\mu = 0$ . Sin embargo, la distribución t tiene colas más amplias que la normal. El procedimiento obedece a los siguientes pasos:

- Plantear Hipótesis Nula ( $H_0$ ) e Hipótesis Investigativa ( $H_1$ )
  - ✓ La Hipótesis investigativa, plantea matemáticamente lo que queremos demostrar.
  - ✓ La Hipótesis nula, plantea exactamente lo contrario.
- Determinar Nivel de Significancia. (Rango de aceptación de hipótesis alternativa). Se considera: 0.05 para proyectos de investigación. 0.01 para aseguramiento de calidad. 0.10 para encuestas de mercadotecnia y políticas.
- Evidencia Muestral: Se calcula la media y la desviación estándar, a partir de la muestra.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

**Ecuación 1. Media**

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

**Ecuación 2. Desviación estándar**

- Cálculo de la probabilidad de error (t) por medio de la fórmula

$$s^2 = \sqrt{\frac{(n_1 s_1^2) + (n_2 s_2^2)}{n_1 + n_2 - 2}}$$

**Ecuación 3. Error estándar**

- Cálculo de la t-Student

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S^2}$$

**Ecuación 4. t-Student**

- ✓ Si la probabilidad de ( $t_0$ ), presentada en la tabla t-Student es mayor que la t- Student del proyecto: Se rechaza hipótesis nula y se acepta la investigativa.

- Grados de libertad:

$$gL = (n_1 + n_2 - 2)$$

**Ecuación 5. Grados de libertad**

- Datos estadísticos Tabla 5 y 6 de alturas y longitud de las plantas para realizar la prueba de la Distribución de la t-Student:

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos en el proyecto sobre el aprovechamiento de un sub producto de P.T.A.R de la empresa AcuaSur S.A. E.P.S., son presentados en tres segmentos con el fin de dar un orden de presentación a los resultados y la respectiva discusión; las partes en las cuales está dividido este capítulo son: i) Caracterización física y química del suelo y biosólido. ii) Pruebas microbiológicas y estabilización del lodo. iii) variables de desarrollo y crecimiento del cultivo de cilantro.

### **6.1 Estudio físico y químico del suelo y sub producto de PTAR**

De acuerdo con el parámetro de pH, del suelo de la Finca Villa Kerima, tiene una capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo es alta lo cual lo clasifica como fértil (Castro & Gómez, 2010); el contenido de materia orgánica se encuentra en un nivel medio. En cuanto a la densidad aparente, este parámetro se encuentra en un rango característico de los suelos franco-arcillosos (Tafur, 2005), lo que muestra que en el suelo no se presentan problemas de compactación.

#### ***Características físico-químicas del suelo y biosólido***

Para la aplicación de abono orgánico al cultivo, fue necesario conocer las características físicas y químicas de la muestra de suelo de la Finca Villa Kerima, para tener un mayor conocimiento acerca de la disponibilidad y adecuado manejo de nutrientes para las plantas. A continuación se muestran los resultados obtenidos en cada parámetro (ver Tabla 5).

**Tabla 5. Propiedades físicas y químicas del suelo.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>SUELO</b>
<b>Color</b>	7.5 YR 3/2 Marrón oscuro
<b>Textura</b>	Franco-Arcilloso
<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,3
<b>Densidad real (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,9
<b>pH</b>	6.4
<b>Conductividad eléctrica (ms/cm)</b>	3.71
<b>Materia orgánica (%)</b>	3,8
<b>CIC (meq/100gr)</b>	31.5

**Fuente:** Análisis del suelo, de muestra finca Villa Kerima, realizado en el laboratorio LASA (Laboratorio de aguas y suelos de la Universidad del Valle).

### ***Propiedades químicas del biosólido***

A nivel mundial se consideran los biosólidos como un recurso valioso y aprovechable, debido a que posee propiedades potenciales para diferentes usos. En el estudio del subproducto de una P.T.A.R., los resultados muestran materiales heterogéneos cuyas características varían con respecto al tiempo y el contenido de humedad (Olaya & Ramírez, 2001). El uso de subproductos provenientes de plantas de tratamiento tiene efectos benéficos en la producción agrícola, que se concretan en la disminución de los costos, en la conservación de los suelos y en el posible incremento de los rendimientos.



Sin embargo, conociendo que existen diferentes alternativas en la disposición o reutilización de los lodos, la elección debe realizarse considerando ciertas características, tales como, la procedencia de las aguas residuales, diferenciando el uso industrial o doméstico, la composición química y el estado microbiológico.

Las razones anteriores conducen a la necesidad de realizar pruebas químicas al lodo de la P.T.A.R de la empresa ACUASUR S.A E.S.P., con el fin de determinar el contenido de nutrientes principales. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6, donde se muestran los rangos expresados en porcentaje que indican el contenido de distintos materiales analizados.

**Tabla 6. Porcentajes de nutrientes de biosólido.**

<b>Parámetro</b>	<b>%</b>	<b>*Rango</b>
Carbono Orgánico	37,5	24,0 - 53,0
Nitrógeno total	3,21	2,34 - 4,85
Fosforo total	2,13	1,19 - 2,79

**Fuente:** Análisis del biosólido en muestra P.T.A.R de la empresa ACUASUR S.A E.S.P., realizado en el laboratorio LASA (Laboratorio de aguas y suelos de la Universidad del Valle).

\*Rangos de nutrientes fueron encontrados en el artículo: Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos, Guerra. P, 2004.

### ***Variables de crecimiento***

Para evaluar el desarrollo fisiológico de las plantas del cultivo de cilantro al final de la cosecha, se midieron los siguientes parámetros: Altura de planta y longitud de la raíz. Se escogieron para ser evaluadas 9 plantas por cada tratamiento, para un total de 36 plantas. En cada una de ellas la medición de los parámetros anteriormente descritos se realizó el mismo día. En el anexo 1, se ilustran los datos de las medidas efectuadas.

El protocolo para tomar las determinaciones fue el siguiente:

- Altura de la planta: Medida desde el nodo hasta el follaje
- Longitud de la raíz: Desde el nodo hasta la punta de la raíz primaria

## **6.2 Pruebas microbiológicas y estabilización del biosólido.**

En la actualidad, el sub producto sólido de una P.T.A.R., es clasificado como un residuo peligroso para la salud del ser humano y el medio ambiente, es por esta razón que es muy importante conocer el origen del biosólido y la composición microbiológica junto con la clase a la que pertenece según la Norma 40 CFR parte 503 (EPA, 2003) la cual establece el precedente importante en cuanto al manejo de estos lodos, y recomendaciones a cerca del proceso de estabilización.

Para la determinación de los indicadores de contaminación fecal, las muestras del biosólido se enviaron al Laboratorio de Microbiología de la Universidad del Valle, para la prueba de Salmonella sp y a la Planta de Tratamiento de Puerto Mallarino de EMCALI (Fundación CINARA), para las pruebas de Coliformes fecales y Huevos de helmintos, los resultados son presentados en la Tabla 8 y la Tabla 7 los métodos empleados en los laboratorios para el análisis.

**Tabla 7. Técnicas microbiológicas utilizadas.**

<b>Parámetro</b>	<b>Técnica</b>
<b>Coliformes fecales</b>	Filtración por membrana
<b>Huevos de helmintos</b>	Método Bailenger
<b>Salmonella sp</b>	Presencia/Ausencia

**Tabla 8. Concentraciones microbiológicas del lodo.**

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
<b>Coliformes fecales (UFC/100mL)</b>	$6 \times 10^5$	$3 \times 10^5$	$4 \times 10^5$	$7 \times 10^5$
<b>Huevos de helmintos (Número de huevos/Gramo de muestra)</b>	6	0	0	0
<b>Salmonella sp</b>	Ausencia /25g	Ausencia /25g	Ausencia /25g	Ausencia /25g

Con el fin de obtener los mejores resultados, es indispensable realizar un proceso de estabilización del lodo, debido a que los patógenos presentes en el agua cruda que es el flujo que ingresa a la P.T.A.R. sin ningún tratamiento, puede quedar contenido en el sub producto sólido. Sin un proceso de estabilidad de los sólidos, estos pueden generar enfermedades en la población humana y en los animales. El proceso de estabilización se basó en el uso de un tratamiento alcalino para la estabilización del lodo. Este proceso crea un ambiente que retrasa sustancialmente reacciones microbianas que generan malos olores; es un método que inactiva los virus, bacterias y parásitos, debido a que los agentes alcalinos inducen cambios en la naturaleza coloidal del protoplasma, y posteriormente la muerte de la célula (Metcalf & Eddy, 1996). Los valores altos de pH realizan una desnaturalización en la capa proteica de los virus y así su destrucción (Arboleda, 2000). Algunas maneras de transmisión de las enfermedades se encuentra relacionada con la inhalación de aerosoles provenientes del lodo e ingestión de alimentos de agua contaminada (Banas, 2002).

Cada una de las características microbiológicas de los biosólidos presenta grupos de microorganismos: bacterias, virus y parásitos; entre el primer conjunto mencionado se encuentra la salmonella como una de las más estudiadas en el laboratorio para este tipo de lodos, debido a que la contaminación para los seres vivos puede ocurrir de manera rápida, ya que su crecimiento se da en condiciones específicas y tiende a ser una bacteria muy perseverante. En el caso de los virus, un subproducto de P.T.A.R puede presentar 100 especies diferentes, en algunos estudios realizados se comprueba que este tipo de patógenos suele ser resistente a los métodos de desinfección de los organismos Coliformes. Debido a esto, se considera que estos últimos son un indicador esencial en la reducción o ausencia de los virus. En el grupo de los parásitos se tienen los protozoarios y helmintos, de los primeros se dice que no resiste los procesos de secado y son caracterizados por su alto potencial infeccioso para la salud humana (Guzmán & Campos, 2004), los helmintos son huevos muy resistentes a los tratamientos, por lo cual son utilizados para medir la efectividad de métodos en la desinfección del lodo.

De acuerdo a las concentraciones microbiológicas del lodo y acorde a los resultados, las muestras se caracterizan por presentar áscaris decorticados, lo que se conoce comúnmente como “lombriz intestinal” y es el nematodo de mayor tamaño que parasita al hombre.



**Figura 12. Huevo decorticado**

En cuanto a los huevos de helmintos la muestra 1 es la única que presenta huevo dañado, probablemente de las siguientes clases de huevos: *Diphyllobothrium latum* o el *Enterobius vermicularis*; la primera clase es conocida como “gusano ancho”, es una especie de platelminto parásito del orden de los cestodos, provocando enfermedades tales como, difilobotriasis, botricefalosis o botriocéfaliasis. El segundo es un pequeño nematodo del hombre, comúnmente conocido como oxiuro, que causa la enfermedad intestinal esenterobiasis. Esto puede deberse a que fue la primera muestra que se tomó y la concentración de microorganismos en el tapón es más alta.



**Figura 13. *Diphyllobothrium latum***



**Figura 14. *Enterobius vermicularis***

Según los resultados obtenidos y de acuerdo con los criterios microbiológicos presentes en la Tabla 1, el biosólido es clasificado como clase A, ya que, todos los parámetros medidos se encuentran en este rango de clasificación.

El biosólido presentó un pH de 11.5, lo que indica que todo organismo presente fue destruido y por tanto este lodo puede ser utilizado en la agricultura sin ningún tipo de restricción.

### **6.3 Desarrollo del cultivo**

Las necesidades nutricionales del cilantro son satisfechas mediante la aplicación de abonos orgánicos lo cual favorece al suelo debido a que estos contribuyen a mejorar la estructura del suelo.

En este proyecto de investigación, se utilizaron dos variables de respuesta para determinar la factibilidad de los tratamientos con respecto al cultivo, los cuales fueron: altura de la planta y longitud de raíces; contribuyen a la caracterización física del desarrollo del cultivo. La realización del análisis estadístico, se desarrolló con el programa de estadística llamado SPSS, (Statistical Package for the Social Sciences, versión 19, 2010). La distribución se realizó mediante la prueba de la t de student, con un nivel de significancia para rechazar la hipótesis nula al 0.005 (5%). Esta hipótesis plantea que las alturas de las plantas con aplicación de biosólido (T1, T2 y T3), son iguales a las del testigo; y la hipótesis investigativa, afirma que T1, T2 y T3 tienen mayores alturas respecto al testigo.

**Tabla 9. Altura de plantas**

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

		T1	T2	T3	T4
N		9	9	9	9
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	16,75	15,99	9,85	11,31
	Desviación típica	2,20	2,95	2,47	2,40
Diferencias más extremas	Absoluta	,174	,135	,150	,216
	Positiva	,174	,135	,112	,132
	Negativa	-,116	-,120	-,150	-,216
Z de Kolmogorov-Smirnov		,673	,447	,450	,716
Sig. Asintót. (bilateral)		,756	,988	,987	,684

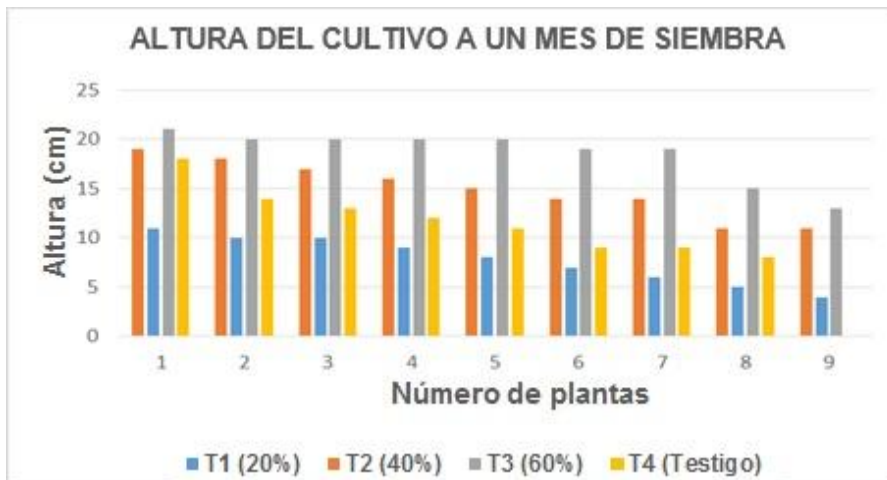
**Tabla 10. Longitud de raíces**

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

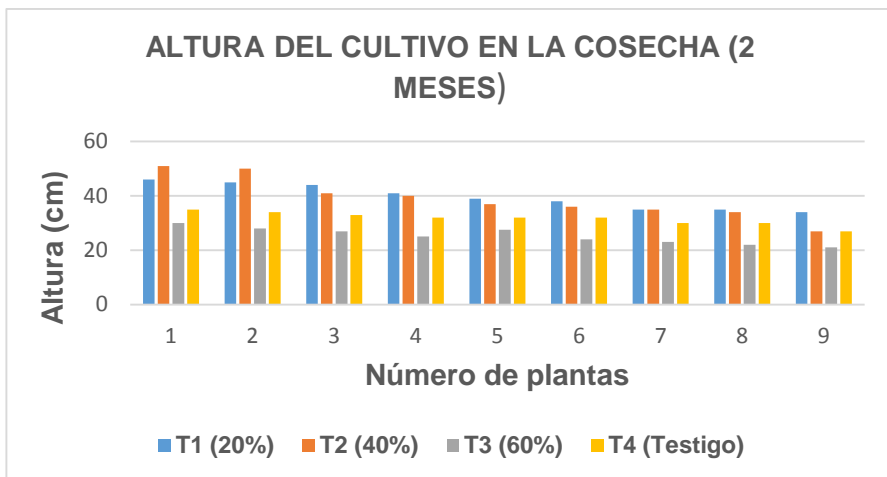
		T1R	T2R	T3R	T4R
N		9	9	9	9
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	39,66	39,00	25,33	31,66
	Desviación típica	4,58	7,65	3,03	2,40
Diferencias más extremas	Absoluta	,185	,132	,236	,157
	Positiva	,185	,111	,236	,157
	Negativa	-,106	-,132	-,123	-,098
Z de Kolmogorov-Smirnov		,718	,438	,707	,520
Sig. Asintót. (bilateral)		,681	,991	,699	,950

### **Altura de las plantas**

Durante el desarrollo de la investigación se llevaron a cabo diversas lecturas de altura a las plantas. Las figuras 15 y 16 muestran la altura de las plantas a un mes y dos meses del momento de la siembra.



**Figura 15. Medición realizada a un mes de siembra del cultivo.**



**Figura 16. Medición realizada a dos meses de siembra del cultivo (cosecha).**

De acuerdo a las figuras, se observa la variación del crecimiento de las plantas con diferente porcentaje de aplicación. Independientemente de la luz solar, lo que se busca analizar es la influencia de cada tratamiento.

El promedio de los valores obtenidos en el primer mes de siembra, en cuanto a la altura de la planta, osciló en un rango entre los 4 a 21 cm, y en el segundo mes valores de 21 a 51 cm, mostrando una gran diferencia en cuanto al crecimiento de los tallos, alcanzando en algunos casos alturas máximas de 51 cm.



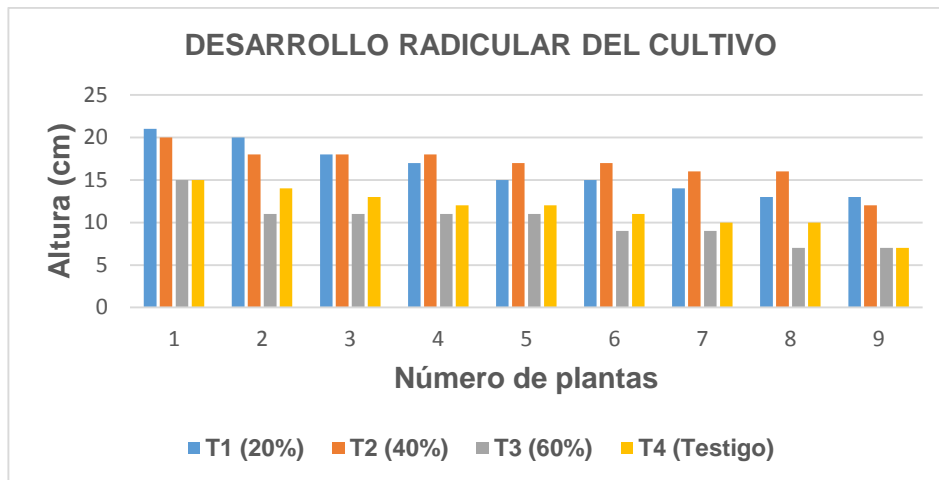
Cabe resaltar, que los tratamientos presentan el mismo número de grados de libertad y por ende la misma  $t_0$ ; esto se debe a que poseen igual número de muestras analizadas. Además, se debe tener en cuenta los valores presentados en la t-Student para rechazar la hipótesis nula.

En el T1, el nivel de significancia es de 98.54% con 16 grados de libertad, un  $t_0=1.7459$ , obteniendo un  $t=0.0146$  (1.460%). Para T2, logró un nivel de significancia de 99.136% con 16 grados de libertad, un  $t_0=1.7459$ , obteniendo un  $t=0.00864$  (0.864%). Esto demuestra que T1 y T2, rechazan la hipótesis nula y aceptan la investigativa, mostrando que estos tratamientos poseen mayor altura respecto al testigo, probablemente por las cargas nutricionales del biosólido. El mayor grado de significancia lo arrojó el tratamiento T2 (0.00864). En cuanto a T3, se presentó 16 grados de libertad, un  $t_0=1.7459$ , obteniendo un  $t= -0.01544$  (-1.544%); en este caso se acepta la hipótesis nula y se rechaza la investigativa, demostrando que las alturas en el testigo (T4) son mayores que las presentadas por éste tratamiento.

En Anexo 1, expone los valores obtenidos en el análisis estadístico realizado con un nivel de significancia de 0.05.

### ***Longitud de las raíces***

El cultivo de cilantro cuenta con un sistema radicular, que consta de una raíz principal axonomorfa, muy delgada y con muchas ramificaciones, haciendo el trasplante es muy difícil. La figura 17 muestra el desarrollo radicular durante el periodo vegetativo del cultivo.



**Figura 17. Medidas realizadas en las raíces de cultivo de estudio.**

De acuerdo a la literatura, la longitud promedio de desarrollo radicular de esta variedad de cilantro, se encuentra entre los 7 a 10 cm. La longitud promedio obtenida al finalizar la investigación, oscilando en un rango de a 20 a 5 cm, demostrando que el incremento radicular es mayor para los tratamientos que tuvieron aplicación de biosólido.

De acuerdo a los resultados obtenidos para este parámetro, en el tratamiento T1, se obtuvo un nivel de significancia es de 99.984% con 16 grados de libertad, un  $t_0=1.7459$ , obteniendo un  $t=0.0158$  (1.58%). Respecto a T2, los valores obtenidos muestran un nivel de confianza, de 99.989% con 16 grados de libertad, un  $t_0=1.7459$ , obteniendo un  $t=0.0111$  (1.11%). Demostrando así, que T1 y T2, rechazan la hipótesis nula y aceptan la investigativa, por tanto, presentan mayor altura respecto al testigo. El mayor grado de significancia lo arrojó el tratamiento T2 (0.0111). En el caso de T3, se obtuvieron 16 grados de libertad, un  $t_0=1.7459$ , obteniendo un  $t= -0.004$  (-0.40%); en este caso la hipótesis nula, es aceptada y se la investigativa, se rechaza. Demostrando que las alturas en el testigo (T4) son mayores que las presentadas por éste tratamiento.

En Anexo 1, expone los valores obtenidos en el análisis estadístico realizado con un nivel de significancia de 0.05.

### ***Análisis estadístico***

El análisis estadístico del proyecto se realizó con el programa estadístico: IBM SPSS Statistics versión 19, 2010.

Respecto al primer parámetro podemos observar que los intervalos de confianza para la altura de cada tratamiento oscilan de acuerdo, al rango esperado. Para T1, los intervalos están entre 42.327-36.993; para T2, los valores son 43.451-34.549 y T3, entre 27.095-23.565, en los cuales se observa la diferencia de crecimiento que se obtuvo en cada uno de los bloques.

En cuanto a la longitud de raíces los valores variaron para cada tratamiento, para T1 los intervalos de confianza varían entre 16.589-15.458, en cuanto a T2 entre 17.707-14.273 y T3 presento intervalos de 9.572-7.629.

De acuerdo a los datos obtenidos, podemos observar que el tratamiento T2 es el más óptimo, ya que presento la mayor altura y el mejor crecimiento radicular; mostrando así, el gran aporte nutricional que poseen los biosólidos como un compost hacia el desarrollo de las plantas.

## 7. CONCLUSIONES

De acuerdo a las normas de bioseguridad y protocolo de toma de muestras establecidas, se concluye que estos dos procesos requieren de un buen manejo y aplicación en el momento de ser usados, ya que de estas depende la salud de los estudiantes, laboratorista y habitantes del sector; así como el buen resultado de las pruebas microbiológicas.

Se concluye que T2 fue el tratamiento con el nivel de significancia más alto en cuanto a los dos parámetros medidos, y en comparación con los valores obtenidos por testigo, presentando valores de 99.136 % y 99.989%. Mostrando así, ser tratamiento que presenta una combinación de suelo-biosólido más acertado, debido a la aplicación de materia orgánica, en consecuencia a la consistencia que tomó el suelo y el grado de humedad retenido por el biosólido. Sin embargo, T1 mostró un buen crecimiento radicular y de altura respecto a T4. En cuanto a T3, sus valores obtenidos fueron menores que el testigo, por tanto su hipótesis fue anulada.

Los datos obtenidos de coliformes fecales y huevos de helminto, demostraron que el biosólido presentó un nivel de contaminación. Con base en lo anterior, se estimó que los valores de estas pruebas, no sobrepasan los límites de clasificación en el rango de clase A, según lo plantea la norma mexicana. Pero para la eliminación de estos patógenos, se aumento el pH a un valor de 11,5, proceso que se desarrolla para realizar la desinfección del lodo (estabilización), permitiendo la eliminación de los microorganismos patógenos.

Se concluye que el biosólido generado en la planta el Castillo, tiene un gran potencial para ser usado como abono o enmienda orgánica desde el punto de vista de la composición físico-química. Sin embargo, su aplicación directa debe ajustarse

a las indicaciones de la norma 40 CFR parte 503 de la EPA o debe ser sometido a procesos adicionales de estabilización.

La composición química del biosólido como abono orgánico, es muy favorable, debido a los resultados de análisis realizados en el laboratorio, por consiguiente estos indican gran presencia de nutrientes primarios, para el buen desarrollo de las plantas (ver tabla 6); del mismo modo se puede observar que estos valores son cercanos a los límites máximos establecidos para este tipo de lodos.

## 8. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la empresa ACUASUR S.A. E.S.P, realizar pruebas microbiológicas constantes, que indiquen el estado actual de los lodos resultantes de la P.T.A.R., y permitan un mayor control de los patógenos que puedan presentar el sub producto. Además, es muy importante la aplicación de un tratamiento químico al lodo en los tanques de almacenamiento, con el fin de mejorar la calidad del biosólido y disminuir el riesgo para la salud de los habitantes. Esta recomendación se hace con el fin de prevenir algunas enfermedades que se puedan presentar en los trabajadores (jardineros) de la urbanizadora “El Castillo”.

Se deben continuar las investigaciones, con el fin de determinar posibles efectos no previstos que los biosólidos puedan generar en la salud humana y/o medioambiental. Además se pueden desarrollar nuevos procesos de estabilización y eliminación de patógenos, que mejorarían los ya existentes, permitiendo la creación de nuevas posibilidades de uso y mejora en la disposición final de los biosólidos, que se generan en el proceso de limpieza de nuestras aguas residuales. Se recomienda continuar con proyectos de investigación, que permitan conocer la patogenicidad de diferentes cultivos al finalizar el período vegetativo.

El desarrollo de este proyecto permite ofrecer una alternativa para aprovechar materiales producidos en plantas de tratamiento con el fin que puedan ser empleados como abono orgánico a fin de disminuir la dependencia de fertilizantes no orgánicos, ofreciendo a los agricultores alternativas económicas para la producción. Igualmente el proyecto pretende contribuir a mitigar los impactos ambientales producidos por lodos de las plantas de tratamiento. Por tanto, es conveniente continuar los estudios de manipulación del biosólido, intentando ajustar su manejo con normas de bioseguridad, y garantizar que su aprovechamiento agrícola se encuentre libre de patógenos.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Acuña, R.J. (1988). Guía para la producción de hortalizas de hoja para la industria. Perejil (*Petroselinum Hortense Hoffm*) y cilantro (*Coriandrum Sativum l*). Cali Colombia.

Álvarez, J. & León M. (1997). Fertilidad del suelo y sistemas simbióticos. El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas. Chiapas, México.

Alexander, M. (1994). Introducción a la Microbiología del Suelo. México, D. F.: AGT Editor, S. A.

Araque, M. (2006). Evaluación de los tratamientos térmico y alcalino en la desinfección del lodo generado en la P.T.A.R. el salitre. Bogotá D.C.

Arboleda, J. (2000). Teórica y práctica de la purificación del agua. Bogotá: Mc Graw Hill.

Banas, S. (2002). Sludge Hygienization: Helminth eggs destruction by lime treatment *Ascaris* eggs model. 7th European biosolids and organic residuals conference.

Borges, E. (2007). Utilización Agraria de los biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de Tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*).

Caicedo, R. (1993). Horticultura. Universidad Nacional de Colombia.

Castro, H. & Gómez, M. (2010). Fertilidad de suelos y Fertilizantes. Ciencia del suelo. Principios básicos. Sociedad Colombina de la Ciencia del Suelo.

Chandar, K. S. & M.N.V. Prasad. (2005). Risk Assessment, Pathways, and Trace Toxicity of Sewage Sludge-Amended Agroforestry and Solis.

Chandar, K. S. & M. N. V. Prasad. (2005). Risk Assessment, Pathways and Trace Toxicity of Sewage Sludge-Amended Agroforestry and Solis.

Corporación Colombiana de investigación. (2012). Producción bajo condiciones protegidas.

Cortez, E. (2003). Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la región Metropolitana. Facultad de Ciencias Físicas Y Matemáticas. Universidad de Chile.

Costa, F. (2009). Efeitos Residuais da aplicação de biossólidos e da irrigação água residuária no crescimento do milho. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.

Cruz, Y. (2004). Evaluación del comportamiento agronómico del cultivar de cilantro bajo tres formas de abonamiento en un Andisol en el departamento del Valle del Cauca. Tesis de grado.

Dáguer, G. (2005). Gestión de Biosólidos en Colombia. ACODAL Sociedad, Ambiente y Futuro.

Díaz & Raviña. (1993). Acea, and T. Carballas. Microbial biomass and its contribution to nutrients concentrations in forest soils. Soil Biol.

EPA - Environmental Protection Agency. (1993). Federal Register: 40 CFR Part 503 et al. Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge; Final Rules. Environmental Protection Agency (Part II),



EPA - Environmental Protection Agency. (2003). Folleto informativo de tecnología de biosólidos, Aplicación de biosólidos al terreno. Washington, D.C.

Erickesen, L. (1995). Inactivation of *Ascaris suum* eggs during storage in lime treated sewage sludge. *Water Research*.

Escobar, M. (2008). Efecto de la aplicación del biosólido de la PTAR de Río Frío (Floridablanca, Santander, Colombia), compostado o estabilizado con cal, en plantas de lechuga (*lactuca sativa*), guadua (*bambusa guadua*) y saman (*pithecellobium saman*).

Espinosa, A. & Solano, S. (2008). Detección de Rota virus por medio de la técnica de RT-PCR en muestras de compost elaborado a partir de biosólidos y residuos vegetales. *Microbiología Industrial*, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1999). Current trends in the production, trade and consumption of chemical fertilizers. Statistical analysis service, statistics division.

Guzmán, C. & Campo, C. (2004). Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. Pontificia Universidad Javeriana.

Haubry, A., et al. (1992). *Aerobic and Anaerobic Sludge Treatment Disinfection Techniques*.

Ingallinella, A. (2001). The challenge of faecal sludge management in urban áreas-estrategias, regulations and treatment options Sludge Management: regulation, treatment, utilisation and disposal.

Ingeniería Ambiental, S.O.S. (2013). Evaluación ambiental del vertimiento proyectado a la planta de tratamiento de agua residual de la empresa AcuaSur S.A. E.S.P. Cali.

Ingeniería Ambiental, S.O.S. (2013). Diagnóstico: planta de tratamiento de agua residual (Ptar), AcuaSur S.A. E.S.P. Cali. Ciudadela “El Castillo”.

Jaramillo, J. (2001). Introducción a la Ciencia del Suelo. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

Lenis, E. (2006). Acondicionadores Orgánicos para mejorar las propiedades físicas de los suelos. Trabajo de grado en Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira.

Luna, C. (2006). Aumento de la Productividad de Caña de Azúcar por Unidad de Área Cultivada. TECNICAÑA – Asociación de Técnicos Cultivadores de Caña.

Merli, G. & Ricciuti, O. (2009). Microbiología de las aguas residuales –Aplicación de Biosólidos en el suelo, Procesos fundamentales fisicoquímicos y microbiológicos. Universidad Tecnológica Nacional.

Metcalf & Eddy. (2004). Engineering Treatment and Reuse, 4th edition, Mc Graw Hill.

Ministerio de Agricultura y desarrollo rural. (2012). Anuario estadístico de frutas y hortalizas.

Olaya, N. & Ramirez, A. (2001). Environmental impact assessment (EIA) guidelines for sludge management & disposal in Latin American wastewater treatment projects. Acapulco, Mexico.

Papamija, D. (2014). Evaluación de densidades de siembra de dos cultivadores de cilantro. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

Peña, J. (2012). Evaluación de las propiedades hidrodinámicas del suelo y desarrollo de un cultivo de caña de azúcar (*saccharumofficinarum* L.) bajo la aplicación de biosólidos provenientes de la Ptar cañaveralejo – Cali (Ptar-c). EIDENAR. Escuela de ingeniería de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente. Universidad del Valle.

Peñarete, W. (2013). Efecto de aplicación de biosólidos sobre las propiedades físicas de un suelo cultivado con caña de azúcar. Universidad del Valle.

Puga, S. (2001). Evaluación de un sistema de multiplicación y beneficio de cilantro *Coriandrum sativum* L. Unapal-Precoso. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira

Quinchía, A. & Carmona, D. (2004). Factibilidad de disposición de los biosólidos generados en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales combinada. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia).

Ramírez, R. & Pérez, M. (2006). Evaluación del potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rábano rojo. Facultad Nacional de Agronomía.

Secretaria de Agricultura de la Gobernación del Valle (2014). Evaluaciones Agrícolas 2000 – 2012.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, S. D. (2002). Norma oficial Mexicana, Protección ambiental - Lodos y biosólidos - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Estados Unidos de México.

Silva, et al., (2009). Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas

Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. (2013). Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Popayan, Colombia.

SPSS, Statistical Package for the Social Sciences (Version 19, IBM SPSS Statistics, 2010)

Suh, Y. & Rosseaux, P. (2001). An LCA of alternatives waste water sludge treatment scenarios. Resources, Conservation and Recycling. Article in press.

Tafur, H. (2005). Conceptos básicos para el riego de los cultivos. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira

Torres, P., et al. (2005). Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales- PTAR.

Torres, P., et al. (2007). Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Torres, P., et al (2009). Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Vélez, J. (2007). Los biosólidos una solución o un problema. Revista Producción + Limpia.

Verstraete, W. & Voets, J. (1977). Soil microbial and biochemical characteristics in relation to soil management and fertility. Soil Biol.

## ANEXOS

### ANEXO 1. TABLAS DEL DESARROLLO DE LAS PLANTAS Y RAÍCES

*Altura de la planta*

DATOS ALTURA DEL CULTIVO A DOS MESE DE SIEMBRA (cm)				
No.	T1 (20%)	T2 (40%)	T3 (60%)	T4 (Testigo)
1	46	51	30	35
2	45	50	28	34
3	44	41	27	33
4	41	40	25	32
5	39	37	28	32
6	38	36	24	32
7	35	35	23	30
8	35	34	22	30
9	34	27	21	27

<b>Media</b>	39,66	39,00	25,33	31,66
<b>Desviación Estándar</b>	4,58	7,65	3,03	2,40
<b>Número de datos</b>	9	9	9	9
<b>Error Estándar</b>	5,48	8,5	4,10	
<b>t de Student</b>	1,460	0,864	-1,544	
<b>Grados de libertad</b>	16	16	16	
<b>Tabla t-Student</b>	1,7459	1,7459	1,7459	

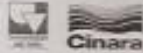
**Longitud de raíz**

<b>DATOS LONGITUD DE RAICES A DOS MESES DE SIEMBRA (cm)</b>				
<b>No.</b>	<b>T1 (20%)</b>	<b>T2 (40%)</b>	<b>T3 (60%)</b>	<b>T4 (Testigo)</b>
1	20	21	15	15
2	18	20	11	14
3	18	18	11	13
4	18	17	11	12
5	17	15	11	12
6	17	15	9	11
7	16	14	9	10
8	16	13	7	10
9	12	13	7	7

<b>Media</b>	16,75	15,99	9,85	11,31
<b>Desviación Estándar</b>	2,20	2,95	2,47	2,40
<b>Número de datos</b>	9	9	9	9
<b>Error Estándar</b>	3,45	4,09	3,65	
<b>t de Student</b>	1,58	1,11	-0,40	
<b>Grados de libertad</b>	16	16	16	
<b>Tabla t-Student</b>	1,7459	1,7459	1,7459	

## ANEXO 2.

### RESULTADOS DE PRUEBAS MICROBIOLÓGICAS DEL BIOSÓLIDO.


 <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA</b>		<b>FORMATO</b>	Versión: 1.0 Código: F-1. 3.03.01				
Fecha de emisión: 09.09.2013		Título: <b>INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS</b>					
Elaborado por: Edwin Fernando Benítez Berahona		Revisado por: Noel Muñoz Soto	Aprobado por: Director General				
FECHA (dd.mm.aaaa): 25.03.2015		N° 0240					
Código interno de la muestra: MC-RED-0240-15		Fecha de recepción: 06.03.2015					
Fecha muestreo: 06.03.2015	Hora de muestreo: --	Fecha de realización de ensayos: 06.03.2015					
Muestreado por: Jhon Benavidez		Lugar de muestreo:	Dirección:				
Proyecto: EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL MEDIO FILTRANTE SOBRE EL CONTROL DEL RIESGO SANITARIO EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE		Teléfono:	Correo electrónico: lina.ceron@correounivalle.edu.co				
Servicio solicitado por: Lina Ceron		Ciudad: Santiago de Cali					
Descripción de la muestra: Biosólidos							
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA							
PARAMETRO	METODO	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
Coliformes Fecales (UFC/100 mL)	Filtración x membrana	900000	300000	400000	700000	1600000	-
Coliformes Fecales (Unidades Log de UFC/100 ml)	Filtración x membrana	5,75	5,48	5,60	5,85	6,20	-
Huevos de Helmintos (numero Huevos/Gramo de muestra)	Método Belenger	6	0	0	0	5	-


Digno: Andrés Vega

1. Los resultados presentados en este informe se refieren únicamente a los ensayos realizados a la muestra.  
 2. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe sin el consentimiento del laboratorio.

$$N = \frac{A}{V} \cdot \frac{100}{P} \cdot \frac{1}{Xg}$$

**N** = Número de Huevos por Gramo de muestra  
**A** = Numero huevos observados en el portaobjetos  
**V** = Volumen Final del Pellet  
**P** = Volumen del Portaobjetos (0,3 ml)  
**Xg** = gramos de la muestra

  
**COORDINADOR DEL LABORATORIO**

  
**ANALISTA DE MICROBIOLOGIA**

**LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA**  
 Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino  
 Teléfono: 662 9505 - Telefax: 662 9458  
 Correos electrónicos: dara.gonzalez@correounivalle.edu.co; noel.muñoz@correounivalle.edu.co

**Nota:** En el análisis de huevos de helminto y coliformes fecales, la muestra 5 se realizó en lodo seco; por pedido del laboratorio de la P.T.A.R.





LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS

<i>Muestra No:</i> 15221	<i>Clase de muestra:</i> muestra 2 el Castillo Biosólido Crudo
<i>Fecha de toma:</i> 16-mar-15	<i>Fecha de recepción:</i> 16-mar-15
<i>Análisis solicitado por:</i> Diana Patricia Bravo	<i>Recibido por:</i> E. Giraldo
<i>Muestra tomada por:</i> Carolina Camacho	<i>Municipio:</i> Cali
<i>Lugar de muestreo:</i> No reporta	
<i>Nombre y dirección del establecimiento:</i>	
<i>Teléfono:</i> 3156164043	<i>Lote:</i> No reporta
<i>Fecha de elaboración:</i> No reporta	<i>Fecha de vencimiento:</i> No reporta
<i>Temperatura de recepción:</i> 10°C	<i>Tipo envase:</i> Plástico 500 mL
<i>Análisis solicitados:</i> Investigación de <i>Salmonella sp.</i>	

ANÁLISIS	TÉCNICA	RESULTADOS
Investigación de <i>Salmonella sp.</i>	Presencia/Ausencia	Ausencia/25 g

OBSERVACIONES:

Los resultados de este informe sólo afectan a la muestra sometida al ensayo, no constituye certificado ni estudio.

LUIS ENRIQUE MORA A.  
Coordinador (E)

Santiago de Cali, 25 de marzo de 2015

FACULTAD DE CIENCIAS  
NATURALES Y EXACTAS  
Departamento de Biología  
Laboratorio de Microbiología  
Industrial y Ambiental

Departamento de Biología

Universidad del Valle  
Ciudad Universitaria Meléndez - A.A. 25360 - Ed 320 - Exp 2004  
Teléfono: 321 2100 Ext. 2861 - 3212146 Fax: 3393243  
www.biologos.univalle.edu.co  
e\_mail: labmie@correounivalle.edu.co  
Cali - Colombia



LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL  
 INFORME DE RESULTADOS

<b>Muestra No:</b>	15220	<b>Clase de muestra:</b> muestra 4 el Castillo Biosólido crudo
<b>Fecha de toma:</b>	16-mar-15	<b>Fecha de recepción:</b> 16-mar-15
<b>Análisis solicitado por:</b>	Diana Patricia Bravo	<b>Recibido por:</b> E. Giraldo
<b>Muestra tomada por:</b>	Carolina Camacho	<b>Municipio:</b> Cali
<b>Lugar de muestreo:</b>	No reporta	
<b>Nombre y dirección del establecimiento:</b> No Reporta		
<b>Teléfono:</b>	3156164043	<b>Lote:</b> No reporta
<b>Fecha de elaboración:</b>	No reporta	<b>Fecha de vencimiento:</b> No reporta
<b>Temperatura de recepción:</b>	10°C	<b>Tipo envase:</b> Plástico 500 mL
<b>Análisis solicitados:</b> Investigación de <i>Salmonella</i> sp.		

ANÁLISIS	TÉCNICA	RESULTADOS
Investigación de <i>Salmonella</i> sp.	Presencia / Ausencia	Ausencia /25g

**OBSERVACIONES:**

Los resultados de este informe sólo afectan a la muestra sometida al ensayo, no constituye certificando ni estudio.

LUIS ENRIQUE MORA A.  
 Coordinador (E)

Santiago de Cali, 30 de marzo de 2015

FACULTAD DE CIENCIAS  
 NATURALES Y EXACTAS  
 Departamento de Biología  
 Laboratorio de Microbiología  
 Industrial y Ambiental

**Departamento de Biología**  
 Universidad del Valle  
 Ciudad Universitaria Meléndez - A.A. 25360 - Ed 320 - Esp 2034  
 Teléfono: 321 2100 Ext: 2851 - 3212146 Fax: 3363243  
 www.biologos.univalle.edu.co  
 e\_mail: labmia@correounivalle.edu.co  
 Cali - Colombia



LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS

<i>Muestra No:</i> 15219	<i>Clase de muestra:</i> muestra 3 el Castillo Biosólido Crudo
<i>Fecha de toma:</i> 16-mar-15	<i>Fecha de recepción:</i> 16-mar-15
<i>Análisis solicitado por:</i> Diana Patricia Bravo	<i>Recibido por:</i> E. Giraldo
<i>Muestra tomada por:</i> Carolina Camacha	<i>Municipio:</i> Cali
<i>Lugar de muestreo:</i> No reporta	
<i>Nombre y dirección del establecimiento:</i> No Reporta	
<i>Teléfono:</i> 3156164043	<i>Lote:</i> No reporta
<i>Fecha de elaboración:</i> No reporta	<i>Fecha de vencimiento:</i> No reporta
<i>Temperatura de recepción:</i> 10°C	<i>Tipo envase:</i> Plástico 500 mL
<i>Análisis solicitados:</i> Investigación de <i>Salmonella sp.</i>	

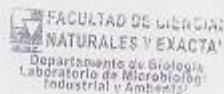
ANÁLISIS	TÉCNICA	RESULTADOS
Investigación de <i>Salmonella sp.</i>	Presencia/Ausencia	Ausencia/25 g

OBSERVACIONES:

Los resultados de este informe sólo afectan a la muestra sometida al ensayo, no constituye certificado ni estudio.

LUIS ENRIQUE MORA A.  
Coordinador (E)

Santiago de Cali, 25 de marzo de 2015





LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS

Muestra No:	15222	Clase de muestra:	muestra 1 el Castillo Biosólido Crudo
Fecha de toma:	16-mar-15	Fecha de recepción:	16-mar-15
Análisis solicitado por:	Diana Patricia Bravo	Recibido por:	E. Giraldo
Muestra tomada por:	Carolina Camacho	Municipio:	Cali
Lugar de muestreo:	No reporta		
Nombre y dirección del establecimiento:			
Teléfono:	3156164043	Lote:	No reporta
Fecha de elaboración:	No reporta	Fecha de vencimiento:	No reporta
Temperatura de recepción:	10°C	Tipo envase:	Plástico 500 mL
Análisis solicitados:	Investigación de <i>Salmonella</i> sp.		

ANÁLISIS	TÉCNICA	RESULTADOS
Investigación de <i>Salmonella</i> sp.	Presencia/Ausencia	Ausencia/25 g

OBSERVACIONES:

Los resultados de este informe sólo afectan a la muestra sometida al ensayo, no constituye certificado ni estudio.

LUIS ENRIQUE MORA A.  
Coordinador (E)

Santiago de Cali, 25 de marzo de 2015

