

**APROVECHAMIENTO DE LODOS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES MUNICIPIO DE FUNZA, COMO INSUMO DE CULTIVO Y  
MEJORAMIENTO DEL SUELO.**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**ELABORADO POR:  
JUAN PABLO VASQUEZ ALEMAN  
GABRIELA VARGAS MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
TRABAJO DE INVESTIGACION TECNOLOGICA  
BOGOTÁ, D.C.  
2018**



FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
PROYECTO DE GRADO  
2018

ELABORÓ:  
JUAN PABLO VASQUEZ  
GABRIELA VARGAS

**APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE FUNZA, COMO INSUMO DE  
CULTIVO Y MEJORAMIENTO DEL SUELO.**

**JUAN PABLO VASQUEZ ALEMAN  
GABRIELA VARGAS MARTINEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniería Civil**

**Director  
FELIPE SANTAMARIA ALZATE**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
TRABAJO DE INVESTIGACION TECNOLOGICA  
BOGOTÁ, D.C.  
2018**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

**Usted es libre de:**

Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas



**Bajo las condiciones siguientes:**



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
PROYECTO DE GRADO  
2018

ELABORÓ:  
JUAN PABLO VASQUEZ  
GABRIELA VARGAS

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C. 02 de Mayo de 2018

## Tabla de contenido

1. GENERALIDADES .....	13
1.1 INTRODUCCION .....	13
1.2 ANTECEDENTES .....	14
1.3 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	17
1.4 OBJETIVOS .....	18
1.4.1 Objetivo General.....	18
1.4.2 Objetivos Específicos .....	18
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	19
1.6 DELIMITACIÓN.....	21
1.6.1 Espacio.....	21
1.6.2 Tiempo.....	21
1.6.3 Contenido .....	21
1.6.4 Alcance.....	22
1.7 MARCO REFERENCIAL.....	23
1.7.1 MARCO TEORICO .....	23
1.7.2 MARCO CONCEPTUAL.....	29
1.8 METODOLOGÍA .....	32
1.8.1 Tipo de Estudio.....	32
1.8.2 Fuentes de Información .....	32
1.9 DISEÑO METODOLÓGICO .....	33
1.9.1 LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA.....	33
1.9.2 FASE 1: IDENTIFICACIÓN PROCESO DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS ACTUAL.....	33
1.9.3 FASE 2: OBTENCIÓN DE LODOS PARA CULTIVO Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO.....	37
1.9.4 FASE 3: ANALISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO.....	38
1.9.4.1 Humedad.....	43

1.9.4.2	Ph.....	44
1.9.4.3	Materia orgánica.....	45
1.9.4.4	Nitrógeno total.....	46
1.9.5	FASE 4: DETERMINACION DE LAS PLANTAS A CULTIVAR .....	46
1.9.5.1	LECHUGA.....	46
1.9.5.2	ZANAHORIA .....	50
1.9.6	FASE 5: ANALISIS DEL CULTIVO DE LECHUGA Y ZANAHORIA ..	55
1.9.6.1	ANALISIS DE NUTRIENTES PRESENTES EN EL CULTIVO DE LECHUGA Y ZANAHORIA .....	69
1.9.6.1.1	NUTRIENTES DE LA LECHUGA.....	69
1.9.6.1.2	NUTRIENTES ZANAHORIA.....	73
	CONCLUSIONES .....	79
	RECOMENDACIONES.....	81
	ANEXOS .....	90

## Listado de tablas

Tabla 1. Variables de caracterización de Biosolidos para su uso.....	15
Tabla 2 Aprovechamiento de biosolidos en Colombia (I- Semestre de 2003).....	15
Tabla 3: Fases del tratamiento SBR.....	24
Tabla 4. Área, porcentaje y calificación de la fertilidad de las clases por Ph, S, Al, S.B, CaCO <sub>3</sub> , K, y P delineadas en el departamento de Cundinamarca.....	26
Tabla 5: Composición química típica de lodos producidos y tratados .....	29
Tabla 6: Ensayos de laboratorio aplicados.....	38
Tabla 7: Valores máximos permisibles de categorización de biosólidos para su uso. ....	39
Tabla 8: Resultados de laboratorio.....	41
Tabla 9: Valores máximos de metales según EPA.....	43
Tabla 10: Respuesta de la planta a la humedad .....	44
Tabla 11: Efecto del Ph sobre la disponibilidad de elementos y el crecimiento de cultivos .....	45
Tabla 12: Taxonomía de la lechuga .....	47
Tabla 13: Taxonomía de la zanahoria .....	50
Tabla 14: Requerimiento de Nitrógeno para cultivo de lechuga.....	69
Tabla 15: Requerimiento de Fosforo para cultivo de lechuga .....	70
Tabla 16: Requerimiento de Nitrógeno para cultivo de zanahorias.....	73
Tabla 17: Requerimiento de Fosforo para zanahorias .....	75

## Listado de Gráficos

Grafico 1: Comparación de resultados - Parte 1 .....	42
Grafico 2: Comparación de resultados - Parte 2 .....	42
Grafico 3: Comparación de contenido de Nitrógeno para cultivo de Lechuga.....	70
Grafico 4: Comparación de contenido de Fosforo para cultivo de Lechuga .....	71
Grafico 5: Comparación de contenido de Nitrógeno para cultivo de Zanahoria ....	74



## Listado de ilustraciones

Ilustración 1: Ubicación PTAR Funza.....	33
Ilustración 2: Partes del cultivo de zanahoria .....	52
Ilustración 3: Variedades de zanahorias .....	55
Ilustración 4: Cronograma de cosecha de lechuga .....	66

## Listado de Fotos

Foto 1: Cribas PTAR Funza .....	34
Foto 2: Bombas .....	34
Foto 3: Zanjones SBR .....	35
Foto 4: Tanque SBR.....	35
Foto 5: Hidro-ciclon .....	36
Foto 6: Celdas de secado (lodo en proceso de secado) .....	36
Foto 7: Celda de secado (lodo seco).....	37
Foto 8: 14 de Diciembre de 2017 .....	56
Foto 9: Semana del 18 al 28 de diciembre de 2017 .....	57
Foto 10: 02 de Enero de 2018.....	57
Foto 11: 18 de Enero de 2018 - Zanahoria .....	58
Foto 12: 18 de Enero de 2018 - Lechuga.....	58
Foto 13: 04 de Febrero de 2018 - Zanahoria.....	59
Foto 14: 04 de Febrero de 2018 - Lechuga.....	59
Foto 15: 24 de Febrero de 2018 - Zanahoria.....	60
Foto 16: 24 de Febrero de 2018 - Lechuga.....	61
Foto 17: 11 de Marzo de 2018 - Zanahoria .....	61
Foto 18: 11 de Marzo de 2018 - Lechuga .....	62
Foto 19: 15 de Abril de 2018 - Resultado final .....	63
Foto 20: 15 de Abril de 2018 - Lechuga .....	64
Foto 21: Hojas del cultivo de lechuga.....	64
Foto 22: Vegetación final del cultivo de Lechuga .....	65
Foto 23: Producto final cultivo de lechuga.....	66
Foto 24: 15 de Abril de 2018 - Zanahoria.....	67
Foto 25: Frutos del cultivo de zanahoria .....	68
Foto 26: Producto final del cultivo de zanahoria.....	68



FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
PROYECTO DE GRADO  
2018

ELABORÓ:  
JUAN PABLO VASQUEZ  
GABRIELA VARGAS

## Listado de anexos

Anexo 1: Informe de ensayos de laboratorio a lodos PTAR Funza ..... 90

## GLOSARIO

**Aguas residuales domésticas – ARD:** Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios. (RAS 0330, 2017).

**Alcantarillado de aguas combinadas o combinado:** Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte, tanto de las aguas residuales como de las aguas lluvias. (RAS 0330, 2017).

**Biosólido:** Producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso. (RAS 0330, 2017).

**Caudal:** Cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo. (RAS 0330, 2017).

**Deshidratación de lodos:** proceso de remoción del agua de lodos hasta formar una pasta sólida. (RAS 0330, 2017).

**Disposición final:** disposición del efluente de una planta de tratamiento o de los lodos tratados. (RAS 0330, 2017).

**Lodo:** Suspensión de un sólido en un líquido proveniente de los procesos de potabilización o del tratamiento de aguas residuales municipales. (RAS 0330, 2017).

**PTAR:** Planta de tratamiento de aguas residuales. (RAS 0330, 2017).

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCION**

Se denominan lodos residuales a los biosólidos resultantes del tratamiento y limpieza de las aguas residuales. El tratamiento de las aguas residuales, tiene como objetivo remover los contaminantes presentes en el agua con el fin de hacerlas aptas para otros usos. Sin embargo, el tratamiento del agua trae siempre como consecuencia la formación de lodos, los cuales son difíciles de tratar e implican un costo adicional para un apropiado manejo y disposición.

Los contaminantes presentes en las aguas residuales son transportados a las plantas de tratamiento donde se eliminan en gran medida por la capacidad de absorción de los lodos, los cuales son producto de un tratamiento fisicoquímico o biológico. El lodo resultante de estos procesos debe someterse a un análisis para determinar sus características físicas, químicas, microbiológicas lo que permitirá determinar que función se le podrá dar a estos lodos y plantear las alternativas para el manejo y disposición de los mismos, que en este caso se implementara para insumo de cultivo y posible mejoramiento del suelo.

En muchos casos, gran parte de los lodos generados en una PTAR debido al desconocimiento de su posible aprovechamiento conlleva a que los lodos sean remitidos a empresas especializadas en el manejo de residuos contaminantes, o en ocasiones dispuestos en rellenos sanitarios por temas económicos, desaprovechando su potencial como mejoradores de suelos en los cultivos.

## 1.2 ANTECEDENTES

El municipio de Funza, cuenta con una planta de tratamiento residual, encargada del tratamiento de la totalidad de las aguas residuales del municipio, que al finalizar su proceso genera residuos sólidos y debe realizar la disposición final de los mismos. Para mitigar el impacto ambiental que pueden generar estos residuos sólidos, que de presentarse un inadecuado manejo pueden ser vertidos en las fuentes hídricas, generando contaminación, deterioro en la biodiversidad y en ciertos casos afectación a la salud, se opta y de conformidad con la Constitución, la ley, y el Municipio de Funza en cumplimiento a lo establecido en la ley 142 de 1994 se crea la empresa municipal de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Funza EMAAF E.S.P. (Resolución N° 25, 2017 EMAAF).

De acuerdo con la gestión que se realiza actualmente en la planta de tratamiento de agua residual, donde se realiza un riguroso seguimiento y control de los vertimientos industriales “se estableció la resolución 2880 de noviembre de 2009 mediante la cual se aprobó el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos del municipio de Funza (PSMV), la cual fue modificada por la resolución N° 2658 del 03 de diciembre de 2012 la cual contempla el control y seguimiento a los vertimientos no residenciales como actividad relevante para alcanzar los objetivos de reducción de cargas contaminantes en el único punto de vertimiento, correspondiente al efluente de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Funza”. (Resolución N° 25, 2017 EMAAF).

Los residuos generados son conocidos como lodos o biosólidos, que en la mayoría de los casos tienen propiedades aprovechables debido a la cantidad de nutrientes que pueden llegar a contener.

Para considerar un posible aprovechamiento de este biosólido se debe tener en cuenta lo dispuesto en la tabla 1:

Tabla 1. Variables de caracterización de Biosólidos para su uso

Criterio	VARIABLE
QUÍMICOS - METALES	Arsénico (As)
	Cadmio (Cd)
	Cobre (Cu)
	Cromo (Cr)
	Mercurio (Hg)
	Molibdeno (Mb)
	Níquel (Ni)
	Plomo (Pb)
	Selenio (Se)
	Zinc (Zn)
Criterio	VARIABLE
MICROBIOLÓGICOS	Coliformes Fecales
	Huevos de Helmintos Viables
	<i>Salmonella sp.</i>
	Virus Entéricos

Fuente: Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. Decreto 1287 del 2014.

Durante el primer semestre del año las principales formas de aprovechamiento de biosólidos se describen en la tabla 2.

Tabla 2 Aprovechamiento de biosólidos en Colombia (I- Semestre de 2003)

PTAR	Forma de aprovechamiento principal I- semestre 2003
El Salitre (Bogotá)	Cobertura final (relleno sanitario Doña Juana)
San Fernando (Medellín)	Recuperación de suelos (Porce)
Cañaveralejo	Cobertura final (Basuro de Navarro)
Río Frió (Bucaramanga)	Aprovechamiento forestal (Viveros CDMB)
Otras	Aprovechamiento agrícola, adecuación de jardines internos de las PTAR(*)

\*Información no documentada.

Fuente: Gestión de biosólidos en Colombia. Daguer, 2003.

El Municipio de Funza, cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales que fue optimizada en el año 2014 a una tecnología de tratamiento SBR (Reactores Biológicos Secuenciales) y un caudal de tratamiento total de 140 Litros por segundo, se calcula que en promedio ingresan 90 Litros de agua residual por segundo a la Planta de Tratamiento para ser tratada; luego de su conducción por la red de alcantarillado municipal, los vertimientos del municipio ingresan a ella por gravedad, en donde se les retiran solidos gruesos y medios y se hace el tratamiento de remoción de contaminantes para que el resultado sea un agua que cumpla con los requisitos de la normatividad vigente. (EMAAF)

De acuerdo a lo anterior y concluyendo, se pretende generar un plan de aprovechamiento y mitigación de la contaminación, para darle un manejo diferente al lodo generado en este Municipio, y que no culmine como lodo para desechar, sino que pueda crear un valor agregado aprovechando sus propiedades fisicoquímica y pueda ser utilizado como un subproducto, adicional se puede utilizar como objeto de investigación y fomentar su estudio entre los habitantes del sector y que pueda ser usado como ayuda para mejorar las condiciones de nutrientes de los suelos.



### 1.3 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales, deben ser tratados antes de disponerlos y su contenido de sólidos debe ser tenido en cuenta para su correcto manejo. Estos lodos generalmente tienen componentes que no fueron removidos en su totalidad al pasar por las cribas de pretratamiento, como la basura; Convirtiéndolos en una amenaza para la salud humana y un problema ambiental, debido a la presencia de materia orgánica, patógenos, microorganismos, etc.

Con el pasar del tiempo y teniendo en cuenta la ciudad, cantidad de habitantes, y crecimiento en general, estos lodos van aumentando considerablemente. El volumen de lodo que se produce depende principalmente de las características del agua residual, del grado de tratamiento previo, del tiempo de sedimentación, de la densidad de sólidos, del contenido de humedad, del tipo de equipo o método de remoción de lodos y de la frecuencia de remoción de los mismos. (García, 2009).

De acuerdo a este gran volumen producido y al convertirse en un gran problema para las plantas de tratamiento en general, sobre encontrar la mejor y definitiva opción de cómo aprovechar y dar el mayor uso a este subproducto, y adicionando el aumento del costo de mantenimiento de las PTAR, debe considerarse que estos biosólidos tienen las propiedades necesarias para renovar y recuperar la materia orgánica de cualquier suelo y podría convertirse en el sustituto de los fertilizantes químicos.

De acuerdo a lo explicado anteriormente, la pregunta de este trabajo de investigación es:

¿Cómo se comporta un cultivo de hortalizas mediante el uso de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Funza?

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo General.

Plantear una alternativa para el manejo y aprovechamiento de los lodos generados en la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Funza.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Evaluar cómo se realiza actualmente la disposición de lodos en la planta de tratamiento de aguas residuales de Funza.
- Definir las propiedades fisicoquímicas de los lodos para ser utilizados como un posible abono orgánico para el cultivo de hortalizas.
- Determinación del comportamiento de las especies vegetales seleccionadas para ser cultivadas bajo las propiedades de estos lodos.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

En Colombia, y durante los últimos años se le ha dado prioridad al tratamiento de aguas residuales y a la correcta disposición de los lodos que esté genera, procurando mitigar los daños ambientales y los impactos negativos que se puedan causar. La descarga de lodos de plantas de purificación de agua sobre ríos y lagos conduce a la formación de depósitos, o bancos de lodos, en las zonas de baja velocidad de flujo. Dichos depósitos cubren a los organismos bénticos y alteran la cadena alimenticia de los peces. Los lodos reducen la calidad estética de la fuente receptora al aumentar la turbiedad del agua. El aumento de turbiedad puede disminuir la actividad fotosintética. (Romero, 1999)

Actualmente la caracterización de los lodos está regulada por el decreto número 1287 del 10 de Julio de 2014, por el cual se establecen criterios para el uso de los biosolidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

Los biosolidos obtenidos en el proceso de tratamiento, poseen unas características físicas, químicas, biológicas etc., que les permiten convertirse en un producto al que se le puede dar un mejor uso y mayor aprovechamiento y que no sea solamente desechado. “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” (Daguer, 2003).

El compost es el producto final de la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos del suelo y se constituye en un excelente fertilizante orgánico, a nivel forestal como abonos en plantaciones forestales, viveros o en áreas con bosques naturales degradados y sujetos a recuperación; En la recuperación de suelos degradados en regiones sujetas a procesos de

desertificación derivados de causas naturales o antrópicas; Para la recuperación de paisaje en áreas que fueron sometidas a extracción minera o en aquellas sujetas a pérdidas de suelos superficiales debido a obras de infraestructura; Como insumos en procesos de elaboración de productos fertilizantes, para recuperación de energía, entre otros. Se han llevado a cabo estudios en zonas semiáridas que han demostrado que la aplicación de lodos es beneficiosa en cuanto a que reduce la erosión, aumenta la capacidad productiva, así como su retención de agua reduciendo drásticamente la escorrentía (Lopez,1996).

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, es necesaria la realización de un proyecto que genere alternativas viables para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Funza, en búsqueda de beneficios sociales, ambientales, económicos para los habitantes del municipio y que permita disminuir el impacto que puede producir una mala disposición de estos biosolidos.

## **1.6 DELIMITACIÓN**

### **1.6.1 Espacio**

Para la adecuada realización del presente proyecto fue necesario contar con instalaciones y equipo especializado para realizar ensayos que determinen las propiedades químicas, físicas y biológicas de los lodos de la PTAR del municipio de Funza. La Universidad Católica cuenta con variedad de equipos, pero para este proyecto los equipos no nos arrojaban los resultados requeridos, por lo que se recurrió a laboratorios externos como los de la Universidad de los Andes para obtener la información necesaria en la investigación.

### **1.6.2 Tiempo**

El proyecto inició el 14 de diciembre de 2017, con la recolección de muestras e inicio de cultivos de hortalizas, para los ensayos de laboratorio se utilizaron las muestras tomadas el 20 de febrero de 2018, e inmediatamente fueron llevadas al laboratorio de la Universidad de los Andes, sus resultados fueron entregados el 02 de abril de 2018.

### **1.6.3 Contenido**

El proyecto contiene el reconocimiento del proceso en el cual se generan los lodos, análisis y resultados de las propiedades de los lodos y por último el resultado del plan de gestión de lodos propuesto para su aprovechamiento en el cultivo.

#### **1.6.4 Alcance**

De acuerdo a lo planteado en este proyecto de investigación, el alcance será la proposición de una alternativa para mejorar el uso dado actualmente a los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, permitiendo la evaluación y caracterización de plantas vegetales, que, de acuerdo a las condiciones del suelo, los nutrientes y propiedades fisicoquímicas de estos lodos podrán ser cultivadas a satisfacción en el Municipio de Funza.

## 1.7 MARCO REFERENCIAL

### 1.7.1 MARCO TEORICO

Durante muchos años no se había podido implementar un plan de manejo de aguas residuales que lograra la mitigación de este impacto al medio ambiente y a la sociedad. Inicialmente se utilizaron letrinas y canales de conducción de alcantarillado con vertimiento directo a la fuente hídrica, y actualmente plantas de tratamiento de aguas residuales o PTAR.

En 2008 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, observando la necesidad de optimizar el manejo de estas aguas, creo la política de gestión ambiental que evalúa los componentes o recursos renovables del medio ambiente como son el agua, atmosfera, suelo, etc.; Y al mismo tiempo las problemáticas ambientales como los factores que ocasionan contaminación, perdida y deterioro de la biodiversidad.




El tratamiento de aguas residuales genera un subproducto conocido como lodo, que por su volumen plantea el interrogante de cómo debe realizarse su correcta disposición, ya que sin un buen plan de manejo de estos podría ocasionar un gran impacto ambiental y generar un alto riesgo para la salud debido a la cantidad de microorganismos patógenos y materia orgánica que contienen.

El control de los lodos de las PTAR se basa en el análisis de parámetros físicos, químicos, agrológicos y microbiológicos. Es de resaltar que los resultados obtenidos en las grandes plantas en Colombia se han mantenido constantes desde el inicio de operación de las mismas. Las características y cantidades de los lodos varían mucho dependiendo de su edad, del tipo de proceso de tratamiento de agua del cual provienen y obviamente del tipo de agua residual que se trata. El

volumen de lodo que se produce depende principalmente de las características del agua residual, del grado de tratamiento previo, del tiempo de sedimentación, de la densidad de sólidos, del contenido de humedad, del tipo de equipo o método de remoción de lodos y de la frecuencia de remoción de los mismos. (García, 2009).

Para el caso de la PTAR Funza el tratamiento se realiza a través de SBR (Reactores biológicos secuenciales), esta tecnología necesita de dos cámaras, para un proceso de 4 fases, como se indica en el siguiente cuadro:

Tabla 3: Fases del tratamiento SBR

	<p><b>1. Fase de decantación:</b> El agua residual entra en la cámara de decantación (1ra cámara) y los sólidos se van depositando en el fondo. El agua más clara de la superficie se traspasa a la cámara de reacción SBR (2da cámara).</p>
	<p><b>2. Fase de aireación:</b> Se realiza la limpieza biológica mediante la combinación de periodos alternos de aportación de oxígeno y reposo. Los fangos activos desarrollan millones de microorganismos que limpian el agua de forma totalmente natural.</p>
	<p><b>3. Fase de reposo:</b> Se pasa por una fase de reposo en la cual los fangos se acumulan en el fondo del tanque. El agua limpia se acumula en la parte superior de la cámara.</p>





**4. Extracción de agua limpia:** El agua depurada sale del depósito y ya puede enviarse al medio natural o a un sistema de drenaje. Posteriormente, los fangos que se acumulan en el fondo de la cámara son devueltos a la primera cámara de decantación para el inicio de otro ciclo.

Fuente: EMAAF

Luego de este proceso de tratamiento, los lodos son removidos y llevados al lecho de secado y luego de esto son transportados a su disposición final, donde en la gran mayoría de plantas en Cundinamarca resulta ser un relleno sanitario, en este proceso final se evidencia el desaprovechamiento de estos biosólidos siendo el tema principal del proyecto.

Estos biosólidos contienen grandes propiedades para la agricultura, que permiten proponer posibles usos para estos suelos, dependiendo de su origen y edad de maduración. De acuerdo a la disposición de estos biosólidos generados en el proceso de tratamiento se plantean alternativas para darles un uso como abono orgánico que impactara al suelo de forma positiva mejorando sus características iniciales que no permiten un óptimo desarrollo como suelo de cultivo.

Los suelos, además, difieren entre sí en una serie de propiedades (Mineralógicas, físicas, químicas, biológicas y nutricionales, entre otras) por lo que es difícil, y a veces imposible, señalar como cada uno de estos va a afectar la productividad y sustentabilidad. Scholes y otros (1994) señalan que la fertilidad del suelo es el centro de la sustentabilidad tanto de ecosistemas naturales como manejados, porque es el medio a partir del cual emana la producción terrestre. (IGAC, 2000)

Tabla 4. Área, porcentaje y calificación de la fertilidad de las clases por Ph, S, Al, S.B, CaCO<sub>3</sub>, K, y P delineadas en el departamento de Cundinamarca.

Clase	Características de la propiedad							
	pH	Saturación de Aluminio (S.A.I) %	Saturación de Bases (SB). %	Carbonato de Calcio (CaCO <sub>3</sub> ) Cualitativo	Potasio intercambiable (K) meq.100g <sup>-1</sup>	Fósforo Disponible (P) ppm	%	Fertilidad
Suelos con pH ≤ 5.5								
1	≤ 5.5	< 30	-	-	< 0.4	< 40	13.8	Baja
2	≤ 5.5	< 30	-	-	< 0.4	> 40	0.1	Baja
3	≤ 5.5	< 30	-	-	> 0.4	> 40	2.4	Moderada
4	≤ 5.5	< 30	-	-	> 0.4	< 40	5.7	Baja
5	≤ 5.5	30-60	-	-	< 0.4	< 40	5.2	Baja
8	≤ 5.5	30-60	-	-	> 0.4	< 40	1.1	Baja
9	≤ 5.5	< 60	-	-	< 0.4	< 40	35.0	Muy Baja
10	≤ 5.5	< 60	-	-	< 0.4	> 40	0.1	Muy Baja
12	≤ 5.5	< 60	-	-	> 0.4	< 40	5.9	Muy Baja
Suelos con pH entre 5.6 y 7.0								
13	5.6-7.0	-	< 50	-	< 0.4	< 40	3.7	Moderada
16	5.6-7.0	-	< 50	-	> 0.4	< 40	0.2	Moderada
17	5.6-7.0	-	> 50	-	< 0.4	< 40	13.7	Moderada
18	5.6-7.0	-	> 50	-	< 0.4	> 40	0.5	Alta
19	5.6-7.0	-	> 50	-	> 0.4	> 40	6.1	Muy Alta
20	5.6-7.0	-	> 50	-	> 0.4	< 4	1.1	Alta
Suelos con pH > 7.0								
21	> 7.0	-	> 50	Si	< 0.4	< 40	2.3	Baja
22	> 7.0	-	> 50	Si	< 0.4	> 40	1.0	Baja
24	> 7.0	-	> 50	Si	> 0.4	< 40	0.9	Baja
25	> 7.0	-	> 50	No	< 0.4	< 40	1.2	Moderada

Fuente: IGAC

De acuerdo a las características dadas por esta tabla, y de acuerdo al contenido de PH podemos ver la clasificación de los suelos determinando el nivel de fertilidad. A partir de esta se tomará el suelo de clase 3, con fertilidad moderada para ser utilizado como suelo a mejorar mediante la implementación de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales.

El suelo clase 3 tiene una saturación de Aluminio inferior a 30%, K superior a 0.4 meq 100g<sup>-1</sup>; Se encuentran en el relieve de lomas localizado en el clima cálido

seco, en el que el material parental predominante corresponde a rocas clásticas arenosas y limo arcillosas con buena provisión de materiales alterables.

El porcentaje de área que abarcan es del 2.4% y se distribuyen principalmente en los sectores montañosos del occidente del departamento.

La limitación de la clase estriba en la fuerte acidez y en la saturación de Aluminio que puede inhibir el desarrollo normal de cultivos susceptibles al elemento; los contenidos de Potasio y Fosforo disponible son altos. Por tal motivo, la fertilidad de los suelos se cataloga como moderada; solo requiere enmiendas calcáreas para neutralizar el Aluminio de cambio presente e incrementar el PH. (IGAC, 2000).

## **DIGESTION DE LODOS**

La digestión de lodos es producida en las plantas de tratamiento de aguas residuales, durante su proceso, en las fases primaria, secundaria y terciaria, donde se involucra una combinación de procesos físico, químico y biológico. En la fase primaria, se pueden separar del agua servida componentes fluctuantes, basura arrastrada por el flujo del agua servida y arena. Los lodos están formados por sustancias contaminantes y peligrosas para la salud, por ese motivo los lodos deben ser tratados. Los lodos extraídos de los procesos de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales tienen un contenido en sólido que varía entre el 0.25 y el 12% de su peso. (Spena Group, 2010)

Los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales dependen del tipo de planta de tratamiento y de la operación de ésta. En una planta de aguas residuales domésticas, los lodos se generan principalmente en las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario.

**Lodos primarios:** Se producen en la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables. La cantidad depende de la carga superficial o

tiempo hidráulico de retención. En la sedimentación primaria con químicos se produce más lodo, producto de una mayor remoción y de la precipitación química de la materia coloidal. (Spena Group, 2010)

**Lodos Secundarios:** Se producen en procesos de tratamiento biológicos que convierten residuos o sustratos solubles en biomasa. También incluyen la materia particulada que permanece en el agua después de la sedimentación primaria y que se incorpora en la biomasa. La cantidad producida depende de varios factores: eficiencia del tratamiento primario, relación de SST a DBO, cantidad de sustrato soluble, remoción de nutrientes y criterios de diseño del tratamiento. Los lodos secundarios se producen en los reactores biológicos y se sedimentan o separan del agua en los sedimentadores secundarios. Estos sedimentadores tienen en su base una tolva para almacenar y concentrar los lodos sedimentados. La extracción del lodo sedimentado se efectúa por carga hidráulica y por el accionamiento mecánico de las rastras que “barren” el fondo del tanque, empujando los lodos sedimentados a la tolva para su extracción. (Spena Group, 2010)

El tipo depende del origen de los lodos, lo cual también hace que tenga ciertas características de acuerdo al tratamiento en el que se produjo. En este caso se describen los principales tipos de lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales, sus características, la normatividad corresponde para su tratamiento y la problemática en el manejo y disposición. (Spena Group, 2010)

Las características de los lodos dependen principalmente de su origen, su tiempo de retención en las etapas de la PTAR y el tipo de tratamiento que han recibido. La composición química típica de los lodos producidos y tratados se presenta en la Tabla 4 (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabla 5: Composición química típica de lodos producidos y tratados

Concepto	Unidades	Lodo primario	Lodo primario digerido	Lodo secundario
Hierro	% de ST	2-4	3-8	-
Óxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )	% de ST	15-20	10-20	-
pH	u. pH	5-8	6.5-7.5	6.5-8
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /l	500-1,500	2,500-3,500	580-1,100
Ácidos orgánicos	mg HAc/l	200-2,000	100-600	1,100-1,700
Contenido energético	kJ ST/kg	23,000-29,000	9,000-14,000	19,000-23,000

Concepto	Unidades	Lodo primario	Lodo primario digerido	Lodo secundario
Concentración de sólidos	%	5-9	2-5	0.8-1.2
Sólidos volátiles	% de ST <sup>1</sup>	60-80	30-60	59-88
Proteína	% de ST	20-30	15-20	32-41
Nitrógeno (N)	% de ST	1.5-4	1.6-3	2.4-5
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	% de ST	0.8-2.8	1.5-4	2.8-11
Óxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	% de ST	0-1	0-3	0.5-0.7
Celulosa	% de ST	8-15	8-15	-

Fuente: Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4 ed. Metcalf & Eddy, 2003

### 1.7.2 MARCO CONCEPTUAL

**Aguas residuales municipales:** Son las aguas vertidas, recolectadas y transportadas por el sistema de alcantarillado público, compuestas por las aguas residuales domésticas y las aguas no domésticas. (Ministerio de Vivienda, Dec. 1287, 2014).

**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. (Daguer, 2003).

**Eficiencia de tratamiento:** relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje. (RAS 0330, 2017)

**Estabilización de lodos:** Proceso que comprende los tratamientos destinados a controlar la degradación biológica, la atracción de vectores y la patogenicidad de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales acondicionándolos para su uso o disposición final. (Ministerio de Vivienda, Dec. 1287, 2014).

**Lechos de secado:** dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido. (RAS 0330, 2017)

**Lodo:** Suspensión de un sólido en un líquido proveniente del tratamiento de aguas residuales municipales. (Ministerio de Vivienda, Dec. 1287, 2014).

**Metales pesados:** son elementos tóxicos que tiene un peso molecular relativamente alto. Usualmente tienen una densidad superior a 5,0 g/cm<sup>3</sup> por ejemplo, plomo, plata, mercurio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, molibdeno, níquel, zinc. (RAS 0330, 2017)

**Pre tratamiento:** procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario. (RAS 0330, 2017)

**Sólidos activos:** parte de los sólidos volátiles en suspensión que representan los microorganismos. (RAS 0330, 2017)

**Sólidos no sedimentables:** materia sólida que no sedimenta en un período de 1 hora, generalmente. (RAS 0330, 2017)

**Sólidos sedimentables:** materia sólida que sedimenta en un periodo de 1 hora. (RAS 0330, 2017)

**Vertimiento:** el vertimiento es la disposición controlada o no de un residuo líquido doméstico, industrial, urbano agropecuario, minero, etc. Volumétrico: el aforo volumétrico consiste en recoger en un tiempo específico una cantidad de material que se está aforando o recoger un volumen específico midiendo el tiempo utilizado en la recolección de este. Es útil para el aforo de vertimientos puntuales de pequeño tamaño. (RAS 0330, 2017)

## **1.8 METODOLOGÍA**

### **1.8.1 Tipo de Estudio**

El proyecto está basado en un estudio experimental, mediante el cual se selecciona un lugar, un insumo y unas alternativas a evaluar, se investiga y recoge información y a partir de esto se analizan y se interpretan una serie de resultados.

Se realizará una comparación de las características y nutrientes de un cultivo de lechuga y zanahoria en condiciones normales, y un cultivo de estas hortalizas utilizando como subproducto el lodo obtenido del proceso de tratamiento de aguas residuales de la PTAR del Municipio de Funza, permitiendo así la interpretación de resultados y establecer que este lodo es viable y eficiente para usarse como insumo de cultivo y sus propiedades presentan características que lo hacen un producto aprovechable.

### **1.8.2 Fuentes de Información**

Los resultados registrados se obtienen de la toma de datos en la Planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Funza y el análisis de resultados de los laboratorios y ensayos realizados a las muestras de lodo tomadas.

Se utilizaron documentos como fuentes de información, usando libros e informes realizados como trabajos de grado por otras universidades en donde trataron temas sobre el aprovechamiento de lodos como subproducto para cultivo u otros usos, normas y reglamentación técnica tanto nacional como internacional que permitieron establecer parámetros de evaluación de las características obtenidas de los lodos residuales.



## 1.9 DISEÑO METODOLÓGICO

### 1.9.1 LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA

La Planta de Tratamiento de Agua Residual de Funza se encuentra ubicada en la Calle 20B No. 13A – 14 en el barrio la Aurora. Se calcula que en promedio ingresan 90 Litros de agua residual por segundo a la planta para ser tratada. (EMAAF)

Ilustración 1: Ubicación PTAR Funza



Fuente: EMAAF

### 1.9.2 FASE 1: IDENTIFICACIÓN PROCESO DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS ACTUAL

Se realizó la visita a la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Funza, donde se obtuvo la información del funcionamiento y proceso por el cual se producen los lodos.

El proceso inicia con la captación de agua en donde es transportada a través de las cribas y son retenidos los sólidos de mayor tamaño.

Foto 1: Cribas PTAR Funza



Fuente: Autores, 2018

Luego de esto pasa por las bombas hacia los tamices en donde se continúa con la separación de las partículas sólidas para así disminuir el riesgo de obstrucción del sistema, permitiendo que el agua sea transportada a los zanjones.

Foto 2: Bombas



Fuente: Autores, 2018

En los zanjones se realiza el proceso denominado SBR (Reactores biológicos secuencial) donde se realiza el proceso final del tratamiento de las aguas residuales, en donde a su vez son generados los lodos de purga.

Foto 3: Zanjonés SBR



Fuente: Autores, 2018

Foto 4: Tanque SBR



Fuente: Autores, 2018

Los lodos son transportados a un hidro-ciclon donde se les adiciona un polímero para iniciar el proceso de secado y luego es llevado a las celdas en donde culmina este proceso.

Foto 5: Hidro-ciclon



Fuente: Autores, 2018

Foto 6: Celdas de secado (lodo en proceso de secado)



Fuente: Autores, 2018

Foto 7: Celda de secado (lodo seco)



Fuente: Autores, 2018

La disposición final de estos lodos se da cuando son vertidos en una zona verde dentro de las instalaciones de la PTAR, ignorando las propiedades y el gran aprovechamiento que se le puede dar a estos lodos.

### **1.9.3 FASE 2: OBTENCIÓN DE LODOS PARA CULTIVO Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO**

La fase 2 del proyecto inicia con la obtención de muestras de lodo de la PTAR del Municipio de Funza. Estas muestras fueron recolectadas el 14 de Diciembre de 2017 de las celdas de secado, luego de culminar su proceso en el Hidro-ciclon, y que luego serán utilizadas en el proceso de cultivo de hortalizas.

Adicionalmente fueron tomadas otras muestras el 20 Febrero 2018 las cuales se destinaron para los ensayos en el laboratorio ambiental de la Universidad de los Andes para conocer sus propiedades y características químicas y orgánicas. Estas muestras fueron recolectadas en bolsas plásticas selladas y refrigeradas para

evitar su alteración, cumpliendo con los requerimientos necesarios para la realización de los ensayos detallados en la tabla 5.

Tabla 6: Ensayos de laboratorio aplicados

Parámetro	Técnica	Método de Referencia
Sólidos totales	Gravimétrica	SM 2540G
Humedad		
Sólidos Totales		
Materia orgánica	Walkley-Black Colorimetría	SSSA Serie 5
Nitrogeno total Kjeldahl	Digestión semi-micro Kjeldahl - titulación	SSSA Serie 5
pH en suelos	Potenciométrico	EPA 9045D
Fósforo total	Digestión - Colorimetría (ácido fosfovanado molibdico)	MT-PRE-038 y SM 4500-P C
Digestión de muestras sólidas	Digestión microondas	EPA 3051A
Metales (9 elementos)		
Arsénico	ICP - OES	EPA-6010C
Cadmio		
Cinc		
Cobre		
Cromo		
Mercurio		
Níquel		
Plomo		
Selenio		

Fuente: Laboratorio ambiental Universidad de los Andes.

### 1.9.4 FASE 3: ANALISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

El Ministerio de vivienda, mediante el Decreto 1287 del 10 de Julio de 2014, en donde “se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”, indica las consideraciones generales que debe tener el lodo para lograr darle un uso razonable a este subproducto.

A partir de esto y una vez son recibidos los resultados de laboratorio, se analiza el contenido de químicos-metales, teniendo en cuenta los parámetros dados en la tabla 6.

Tabla 7: Valores máximos permisibles de categorización de biosólidos para su uso.

CRITERIO	VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	CATEGORÍA BIOSÓLIDO	
			Valores máximos permisibles	
			A	B
QUÍMICOS - METALES Concentraciones máximas	Arsénico (As)	mg / Kg de biosólido (base seca)	20,0	40,0
	Cadmio (Cd)		8,0	40,0
	Cobre (Cu)		1.000,0	1750,0
	Cromo (Cr)		1.000,0	1500,0
	Mercurio (Hg)		10,0	20,0
	Molibdeno (Mb)		18,0	75,0
	Níquel (Ni)		80,0	420,0
	Plomo (Pb)		300,0	400,0
	Selenio (Se)		36,0	100,0
	Zinc (Zn)		2.000,0	2800,0

Fuente: Ministerio de Vivienda, 2014

De acuerdo con la categoría de la tabla anterior los biosólidos pueden destinarse para los siguientes usos:

#### Categoría A:

- a. En zonas verdes tales como cementerios, separadores viales, campos de golf y lotes vacíos.
- b. Como producto para uso en áreas privadas tales como jardines, antejardines, patios, plantas ornamentales y arborización.
- c. En agricultura.
- d. Los mismos usos de la categoría B.

#### Categoría B

- a. En agricultura, se aplicará al suelo.
- b. En plantaciones forestales.

- c. En la recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados.
- d. Como insumo en procesos de elaboración de abonos o fertilizantes orgánicos o productos acondicionadores para suelos a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos que modifiquen su calidad original. Los procesos de elaboración y características de los productos finales y su uso, queda sujeto a la regulación establecida por el ICA.
- e. Para remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración, absorción y adsorción.
- f. Como insumo en la fabricación de materiales de construcción.
- g. En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial secundaria o terciaria.
- h. En la operación de rellenos sanitarios como: cobertura diaria, cobertura final de cierre y de clausuras de plataformas y en actividades de revegetalización y paisajismo.
- i. Actividades de revegetalización y paisajismo de escombreras.
- j. En procesos de valorización energética.

Teniendo en cuenta los criterios anteriormente establecidos, es necesario conocer los metales pesados y nutrientes que estos biosólidos contengan. Para el análisis de las muestras de lodo, se realizaron ensayos para determinar el contenido de humedad y sólidos totales, basado en el método SM 2540 G Edición No. 22-2012; Para determinar el Ph en suelos a 18.9°C se utilizó el método EPA SW-846 9045 D – Revisión 4-2004- Acreditado; Para los metales pesados se basaron en los métodos EPA 3051A y EPA 6010C; Para determinar el contenido de materia orgánica y Nitrógeno total Kjeldahl se utilizaron los métodos MT-PRE-043 SSSA serie 5, MT-PRE-081 SSSA serie 5 respectivamente; Para el contenido de fósforo



total se utilizó el método MT-PRE-038 SSSA serie 5 y SM-PC- Edición No. 22-2012. Los resultados son los siguientes:

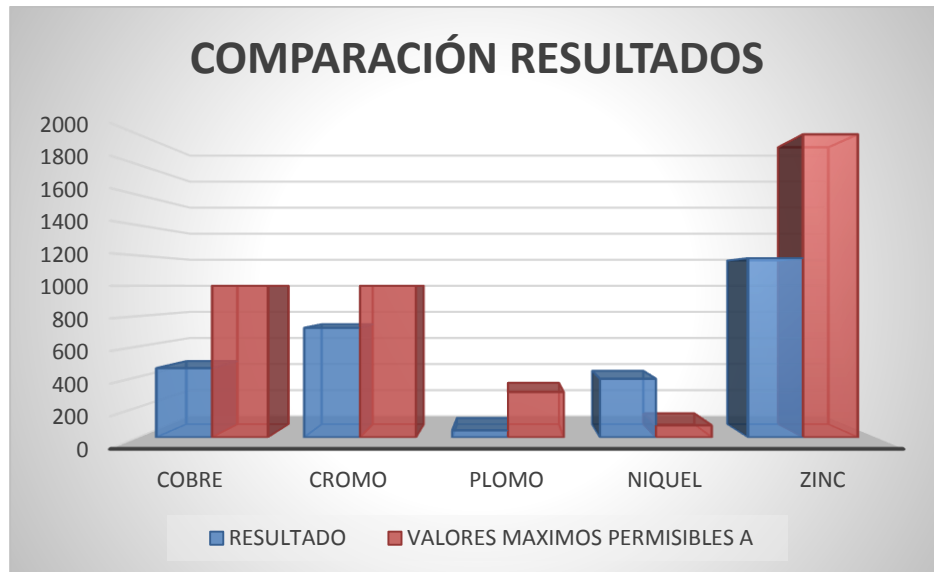
Tabla 8: Resultados de laboratorio

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDADES	METODO
Humedad	14,5	%	SM 2540 G Edición No. 22-2012
Solidos totales	85,5	%	SM 2540 G Edición No. 22-2012
PH en suelos a 18,9 °C	5,53	Unidades PH	EPA SW-846 9045 D-Revision 4-2004-ACREDITADO
Materia Organica	22,4	% BS	MT-PRE-043-SSSA Serie 5
Nitrogeno total Kjeldahl	4,00	% BS	MT-PRE-081-SSSA Serie 5
Fosforo total	8,12	% BS	MT-PRE-038 y SM 4500-P C Edición No. 22-2012
Arsénico	<9,00	mg/Kg-Bs	EPA 3051A- Revisión No. 1-2007 y EPA 6010C Revisión 3-2007
Cadmio	"5,10"	mg/Kg-Bs	
Cinc	1182	mg/Kg-Bs	
Cobre	457	mg/Kg-Bs	
Cromo	723	mg/Kg-Bs	
Mercurio	<4,00	mg/Kg-Bs	
Niquel	387	mg/Kg-Bs	
Plomo	"47"	mg/Kg-Bs	
Selenio	<9,00	mg/Kg-Bs	
<b>&lt;XX: Valor por debajo del límite de detección del metodo</b> <b>"XXX": Valor entre el límite de detección y el límite de cuantificación</b>			

Fuente: Laboratorio ambiental Universidad de los Andes, 2018

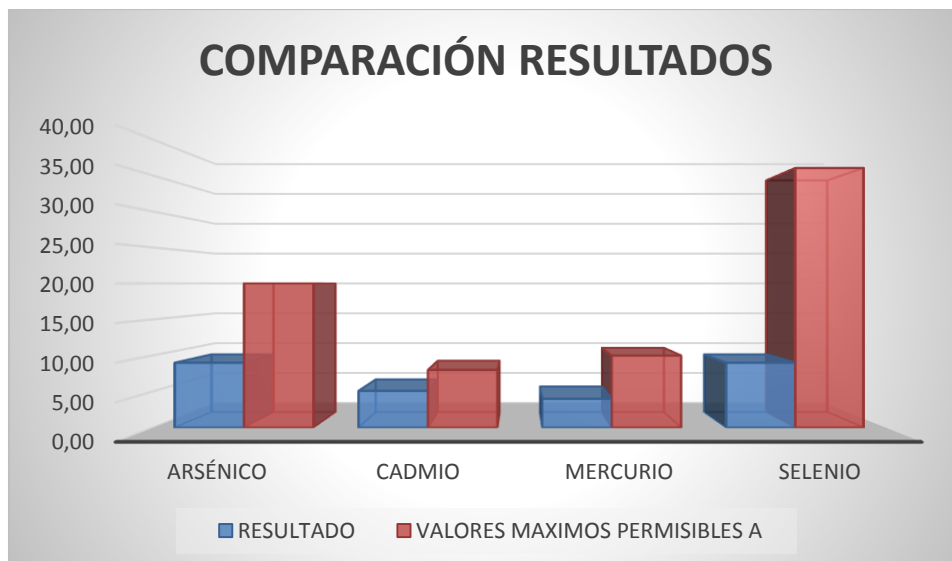
Al comparar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, plasmados en la tabla 7 con las condiciones normativas dadas en la tabla 6, es claro determinar que estos lodos se encuentran ubicados en la Categoría A, validando que pueden ser utilizados en la agricultura, en plantaciones forestales, como insumo para elaboración de abonos, reparación y mejoramiento de suelos degradados, cobertura en rellenos sanitarios, etc. Y no representan una amenaza sanitaria o que puedan necesitar algún proceso de desinfección. Como se evidencia en los gráficos 1 y 2 el único parámetro que sobrepasa los límites máximos permisibles es el Níquel ya que se obtuvo como resultado un valor de 387 mg/Kg-Bs en comparación 80 mg/Kg-Bs el cual es el máximo permitido.

Grafico 1: Comparación de resultados - Parte 1



Fuente: Autores, 2018

Grafico 2: Comparación de resultados - Parte 2



Fuente: Autores, 2018

Igualmente la agencia de protección ambiental (EPA) Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA) en el título 40, sección 530, sub parte B "Land

applications”, reglamenta los límites de metales permitidos en los lodos para ser usados en los suelos. Estas regulaciones son la base de las establecidas en Colombia y antes de establecerse en Decreto 1287 de 2014, se debían cumplir con los siguientes parámetros (Ruiz y otros, 2017):

Tabla 9: Valores máximos de metales según EPA

Pollutant	Ceiling concentration(mg/kg)
Arsenic (As)	75
Cadmium (Cd)	85
Copper (Co)	4300
Lead (Cr)	840
Mercury (Hg)	57
Molybdenum (Mb)	75
Nickel (Ni)	420
Selenium (Se)	100
Zinc (Zn)	7500

Fuente: United States Environmental Protection Agency, 2017

Después de evaluar las normas tanto nacionales como internacionales, se demuestra que los lodos de Funza cumplen a cabalidad con los índices y restricciones propuestos en cada una de estas.

#### 1.9.4.1 Humedad

Se define a la humedad como la cantidad de vapor de agua existente en el aire. Para el adecuado crecimiento de una planta, el suelo debe tener una buena formación de agregados que permitan la circulación de agua, aire y nutrientes y la penetración y crecimiento de sus raíces. La cantidad de agua en el suelo es importante para la germinación de la semilla y el desarrollo del cultivo. Así mismo, los suelos con bajo contenido de materia orgánica no tienen la capacidad de almacenamiento de agua y por lo tanto impiden el crecimiento del cultivo.

Las plantas siempre están ajustando las aberturas de las estomas de las hojas según el DPV (Déficit de Presión de Vapor) y la humedad del aire. La humedad alta es un problema, ya que el uso de agua de la planta es demasiado lento y compromete la calidad, incluso si las estomas están constantemente abiertas. Asimismo, si la humedad es muy baja y la transpiración posterior es demasiado alta, la planta cierra las aberturas de las estomas para minimizar la pérdida de agua y el marchitamiento. Desafortunadamente, esto también significa que la fotosíntesis es más lenta y, finalmente, también lo será el crecimiento de la planta. (Peery, 2017).

Tabla 10: Respuesta de la planta a la humedad

Humedad demasiado baja	Humedad demasiado alta
Marchitamiento	Crecimiento débil
Plantas atrofiadas	Aumento de enfermedades de las hojas
Tamaño más pequeño de las hojas	Deficiencias de nutrientes
Puntas secas y quemadas	Aumento de enfermedades de las raíces
Hojas rizadas	Edemas
Aumento de la infestación de arañuela roja	Bordes quemados (gutación)

Fuente: ¿Cómo influye la humedad en la calidad de los cultivos? Peery, 2017.

#### 1.9.4.2 Ph

De acuerdo a la tabla 9, en donde se muestra el efecto del Ph en la disponibilidad de los elementos y el crecimiento de los cultivos. De acuerdo a los valores de pH obtenidos los lodos analizados se encuentran en valores medios dentro de un rango de 5.5 – 7.0, esto significa que los lodos aplicados se encuentran en el rango preferido por muchos cultivos; Mas debajo de este rango comienza a ser muy acido para algunas plantas. (Cardozo, 1999)

Tabla 11: Efecto del Ph sobre la disponibilidad de elementos y el crecimiento de cultivos

Valores	Rango	Interpretación General
Muy alto	>8.5	Suelos alcalinos: el Ca y Mg no están disponibles; tal vez la concentración de Na sea alto; posible toxicidad de B.
Alto	7.0-8.5	Decrementa la disponibilidad de P y B. Arriba de 7.0 se incrementa la deficiencia de Co, Cu, Fe, Mn y Zn
Medio	5.5-7.0	Rango preferido por muchos cultivos; más debajo de este rango comienza a hacer muy ácido para algunas plantas
Bajo	<5.5	Suelos ácidos: posible toxicidad de Al y exceso de Co, Cu, Fe, Mn, Zn; deficiencias de Ca, K, N, Mg, Mo, P, S. Con pH debajo de 5, se presenta deficiencia de B

Fuente: Cardozo, 1999.

#### 1.9.4.3 Materia orgánica

Las muestras de lodo analizadas tienen un alto contenido de materia orgánica (22.4%), los suelos deben conservar entre 1% y 6% del mismo, por lo tanto, esto va a representar uno de los aportes benéficos más apreciables del uso de estos lodos residuales en los suelos para cultivo. La materia orgánica va a contrarrestar los efectos nocivos de la salinidad, va a incrementar la actividad de los microorganismos nativos del suelo, lo que va a inducir a una correcta mineralización de los nutrimentos del lodo que van a quedar disponibles a los cultivos. Además, van a mejorar algunas características físicas de los suelos como es la retención del agua, los riegos van a necesitar ser más pesados, pero más espaciados. (Cardozo, 1999)

#### **1.9.4.4 Nitrógeno total**

Los contenidos de nitrógeno total son altos, (4%). Sin embargo, como sucede con muchos abonos orgánicos, el nitrógeno se encuentra en formas orgánicas e inorgánicas que sólo quedan disponibles a las plantas en pequeñas concentraciones, pero que van a estar presentes en varios ciclos agrícolas después de la aplicación. (Cardozo, 1999)

#### **1.9.5 FASE 4: DETERMINACION DE LAS PLANTAS A CULTIVAR**

En la fase cuatro se realiza la investigación de posibles especies a cultivar teniendo en cuenta tiempo de cosecha y cultivos de plantas más comunes en el municipio de Funza; Estos datos son consultados con un agrónomo quien recomienda enfocarse en la producción de hortalizas, llegando a la conclusión de cultivar y analizar el comportamiento y desarrollo del cultivo de lechuga y zanahoria, las cuales tienen un tiempo de aproximadamente dos meses para que la planta sea desarrollada en su totalidad.

##### **1.9.5.1 LECHUGA**

La lechuga es una hortaliza que ha incrementado su importancia en los últimos años evidenciando que en el año 2013 se sembraron aproximadamente 3.860 ha siendo Cundinamarca el departamento que obtuvo la mayor participación con el 64.20%. (Agronet, 2014).

En Cundinamarca la producción se reparte en los municipios de Mosquera, Bojacá, Madrid, Funza y Cota (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2011).

La lechuga cuenta con la siguiente clasificación botánica:

Tabla 12: Taxonomía de la lechuga

REINO	VEGETAL	
Clases	Angiospermas	
Subclase	Dicotiledónea	
Familia	Compositae (Asteracea)	
Tribu	Cichorieae	
Género	Lactuca	
Especie	Sativa	
Variedad Botánica	Capitata	
	Longifolia	Romana o cos
	Inybabacea	Lechugas de hoja o foliares

Fuente: Hortalizas. Manual de asistencia técnica No. 28. Osorio y Lobo, 1983.

A continuación, se detalla las características de la planta y sus componentes:

**a) Raíz:** La raíz principal es corta, puede llegar a penetrar hasta 30 cm de profundidad, con pequeñas ramificaciones; crece muy rápido, con abundante látex, tiene numerosas raíces laterales de absorción, las cuales se desarrollan en la capa superficial del suelo con una profundidad de 5 a 30 cm (Granval & raviola, 1991; Valadez, 1997; Alzate & Loaiza, 2008).

**b) Tallo:** El tallo es pequeño, muy corto, cilíndrico y no se ramifica cuando la planta está en el estado óptimo de cosecha; sin embargo, cuando finaliza la etapa comercial, el tallo se alarga hasta 1,2 m de longitud, con ramificación

del extremo y presencia, en cada punta, de las ramillas terminales de una inflorescencia (Valadez, 1997).

**c) Hojas:** Por su forma son redondas. El borde de los limbos es liso, lobulado, ondulado, aserrado o dentado, lo cual depende de la variedad. Su color es verde amarillento, claro u oscuro; rojizo, púrpura o casi morado, dependiendo del tipo y el cultivar (Granval & Graviola, 1991; Valadez, 1997).

**d) Flores:** Las flores están agrupadas en racimos, compuestos por 10 a 25 flores, con receptáculo plano, rodeado por brácteas imbricadas. La flor tiene pétalos periféricos amarillos o blancos. Los interiores presentan corola tubular de borde dentado. El androceo está formado por cinco estambres adheridos a la base de la corola, con presencia de cinco anteras soldadas que forman un tubo polínico, que rodea el estilo. El cáliz es filamentososo y al madurar, la semilla forma el papus o vilano, que actúa como órgano de diseminación anemófila, o sea, por el viento. Los pétalos son soldados. (Leslie & Pollard, 1954; Whitaker & Ryder, 1964; Valadez, 1997).

**e) Semilla:** El fruto es un aquenio típico y la semilla es ex albuminosa, picuda y plana, la cual botánicamente es un fruto (Osorio & Lobo, 1983); tiene forma aovada, achatada, con tres a cinco costillas en cada cara, de color blanco, amarillo, marrón o negro, mide de 2 a 5 mm. En su base se encuentra el vilano o papus plumoso, que facilita la diseminación por el viento; este se desprende fácilmente, con lo cual el aquenio de la semilla queda limpio (Granval & Graviola, 1991; Valadez, 1997).

Para cultivar lechuga adicionalmente se deben tener en cuenta los siguientes factores:



## **SUELO**

Una ventaja de la lechuga es su alta capacidad de adaptación a diferentes tipos de suelo, aunque su mayor desempeño resulta de suelos con alto contenido de materia orgánica y cuando este cuenta un buen drenaje. Adicionalmente tolera PH ácido. (Ureña Huizar & Campoverde Gutierrez, 2010)

## **TEMPERATURA**

Así mismo como se presenta en el tipo de suelo a utilizar para el cultivo, la lechuga se adapta fácilmente en climas frescos y con humedad oscilando en temperaturas entre los 15 y 20 C.

Las temperaturas elevadas generan plantas débiles, favorecen la aparición de quemaduras en los bordes de las hojas, induce floración prematura, generan sabores amargos por la acumulación de látex en su sistema vascular y, específicamente en las lechugas tipo cabeza, afecta la formación del repollado. Es de resaltar que la planta de lechuga es resistente a las bajas temperaturas, aunque ante los efectos de una helada se generan daños irreversibles disminuyendo así su valor comercial. (Tarigo, Repetto, & Acosta, 2004).

## **RIEGO**

Otras características que se deben contemplar es el riego, en este se debe tener en cuenta la cantidad y frecuencia del riego el cual depende del tipo de suelo, del tamaño de la planta y del clima, teniendo en cuenta que la aplicación debe realizarse teniendo la precaución de no generar excesos. El requerimiento hídrico del cultivo de lechuga es de aproximadamente 300 a 600 mm de agua durante todo el ciclo. El momento ideal para realizar la aplicación de agua es en las primeras horas de la mañana o en las últimas de la tarde, ya que si se realiza el

riego cuando se presenten temperaturas elevadas, se pueden originar desequilibrios como el amarillamiento de las hojas. (Martínez, 2008)

Adicionalmente a las características mencionadas se debe tener en cuenta la reacción del cultivo a abonos orgánicos, la reacción de la lechuga a la fertilización con abonos orgánicos es alta, ya que la formación de cabeza es más rápida y de mejor calidad. El estiércol de corral o gallinaza, bien descompuesto y compostado, es una fuente muy recomendable de materia orgánica. (Whitaker & Ryder, 1964)

### 1.9.5.2 ZANAHORIA

Aun no se conoce con exactitud el centro de origen de la zanahoria, algunos tratadistas lo ubican en Europa y otros en Asia. La zanahoria es una de las hortalizas más antigua que se conoce. Las antiguas civilizaciones de Grecia y Roma hacían uso de ella fundamentalmente, como planta medicinal. (Huerres, 1991).

La taxonomía general de la zanahoria es la siguiente:

Tabla 13: Taxonomía de la zanahoria

Nombre científico	Daucus carota L.
Reino	Vegetal
Clase	Angiospermae
Orden	Umbeliflorae
Familia	Umbeliferae
Género	Daucus
Especie	Carota L.

Fuente: Identificación de las propiedades fisicoquímicas de la zanahoria amarilla.

Cuaran, 2009

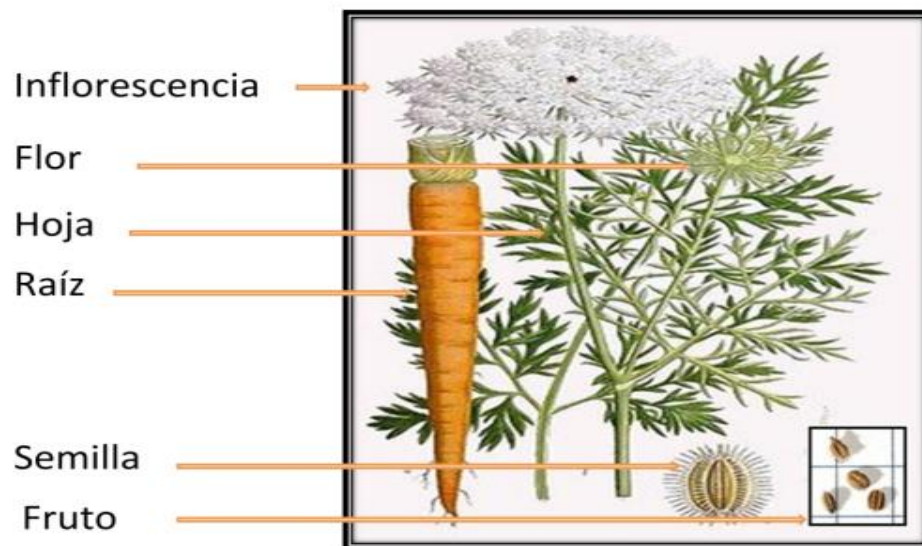
La zanahoria presenta unas características botánicas, mencionada a continuación:

- a) **La Planta:** La planta de zanahoria es bienal y durante el primer año se forma una roseta de pocas hojas y la raíz después de un periodo de descanso, presenta un tallo corto en la que se forman las flores durante la segunda estación de crecimiento. (Cárdenas, 1969)
- b) **Sistema radicular:** Tiene raíces napiformes de forma y de color variable con una función almacenadora, y también presenta numerosas raíces que sirven como órganos de absorción. Al realizar un corte transversal se distinguen dos zonas bien definidas: una exterior constituida principalmente por el floema secundario, interior por el xilema y la medula. (Cárdenas, 1969)
- c) **Hoja:** Las hojas están compuestas por folíolos marcados hendidos y en algunos casos vellosos de acuerdo con las distintas variedades, los pecíolos pueden ser más o menos largos y el color de las hojas puede variar de verde claro a oscuro. (Huerres 1999). Las hojas de la zanahoria son en número de 7 a 13 y forman una roseta, como también las primeras hojas salen después de 10 a 15 días. (Vigliola, 1992).
- d) **Tallo:** El tallo es reducido a un pequeño disco o corona en la parte superior de la raíz. (Vigliola, 1992). Sin embargo se indica que el tallo floral se desarrolla al 2do año, pudiendo alcanzar una altura de 1.5 m. (Maroto 1995),
- e) **Raíz:** La raíz es un órgano de reserva y alcanza una longitud de 10 a 30 cm, según las variedades. Su forma puede ser cónica o cilíndrica, con su extremo superior redondeado y el inferior cono o puntiagudo. El color es

anaranjado y su intensidad está en relación con el contenido de caroteno (pro vitamina A). (Vigliola, 1992).

- f) **Fruto y semilla:** El fruto es un diaquenio y las semillas son pequeñas (3 mm) y elípticas, de color café claro. También indica que puede ser de color verde oscuro y con dos caras asimétricas, una plana y otra convexa provista de unos aguijones curvados. (Valadez, 1993)

Ilustración 2: Partes del cultivo de zanahoria



Fuente: Horticultura Herbácea Especial. Maroto, 1995

De acuerdo a la información del manual de la zanahoria dada por la cámara de comercio de Bogotá, existe gran variedad de tipos de zanahorias, como se menciona a continuación: (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

- a. **Chantenay:** Raíz de corona ancha con diámetro entre 5 y 6 cm. Tipo cónica corta, comercialmente se conocen 2 tipos: (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

- Chantenay Corazon Rojo: Ciclo de vida de 70 dias hasta la cosecha, de buen sabor, zanahorias gruesas en el cuello y delgadas de abajo, tienen punta redonda y son de alta productividad.
- Real Chantenay: Su color anaranjado es mas brillante y se desenvuelven bien en los suelos pesados o superficiales.

**b. Nantes:** El ciclo fenológico es de 70 días hasta la cosecha. Comercialmente se conocen 6 tipos: (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

- Bolero: Son zanahorias de 18 a 20 cm, uniformemente gruesas, resistentes a enfermedades de follaje.
- Lingote: Son zanahorias de 20 cm de largo, de 3.8 cm de grueso, de color anaranjado oscuro, hojas fuertes y extremadamente dulces.
- Nantes sin corazón: De color anaranjado a rojo y de corazón pequeño.
- Nantes Escarlata: Color anaranjado brillante, son zanahorias de 15 cm de largo, quebradiza, blanda y de buen sabor.
- Dulzura: Son zanahorias dulces y crujientes, son de 15 cm de largo y 2.5 cm de grueso.
- Touchon: Tanto el interior como el exterior son de color brillante y son zanahorias de 18 cm de largo.

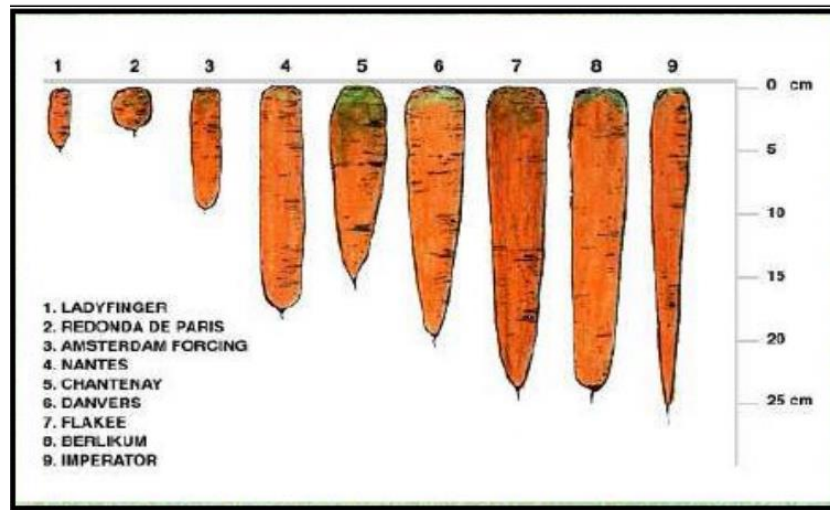
**c. Imperator:** En promedio su ciclo fenológico es de 75 días hasta la cosecha. Comercialmente se conocen 3 tipos de zanahoria: (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

- Avenger: Son zanahorias de 23 a 25 cm, con el cuello grueso y la punta levemente delgada y redonda.
- Oro Park: Son zanahorias de 20 cm de largo, dulces, suaves, sin centro.

- Leyenda: Alta producción, son zanahorias de 23 a 27 cm de largo de 3.5 cm en el cuello, lisas y uniformes.
- d. Danvers:** Raíz de 15 a 17 cm de largo y de 5 a 6 cm de diámetro en la corona. Tolerantes al calor, de follaje grande y fuerte, con madurez mediana. Su ciclo de vida es de 120 a 150 días después de la siembra. Comercialmente se conocen 2 tipos: (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).
- Danvers Media Larga: Son zanahorias de 17 a 20 cm, gruesa de arriba y delgada de abajo, desde puntiagudas hasta puntas redondas, suave y dulce.
  - Danvers 126: Produce más que las Danvers media, son zanahorias lisas y sus hojas soportan el calor.
- e. Oxheart (Baby):** Los tallos son rectos con hojas divididas. La parte comestible tiene formas y colores diferenciados, puede ser de redonda a cilíndrica con colores entre blanca y morada. El tipo más aceptado es la de raíz delgada, lisa, cilíndrica y de color anaranjado fuerte. (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).
- f. Bangor:** Zanahoria híbrida tipo *Berlicum*, de 4 a 4.5 cm de diámetro y de 18 a 30 cm de largo, forma cilíndrica gruesa con un peso de 250 a 450 g, excelente color interno y externo, follaje vigoroso con alta tolerancia a enfermedades. Tienen un ciclo promedio de 110 a 125 días. (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

Según Valadez (1993), indica las variedades de zanahoria más comunes y se muestra en la ilustración 3.

Ilustración 3: Variedades de zanahorias



Fuente: Producción de hortalizas. Valades, 1993.

La recolección se efectúa antes de que la raíz alcance su completo desarrollo (hasta 5 cm. de diámetro según sean destinadas para conserva, o para su consumo en fresco). El periodo entre siembra y recolección varía según las variedades, el uso final del producto y la época del año, siendo en general un intervalo de 3-7 meses. (Cáceres, 1979)

### 1.9.6 FASE 5: ANALISIS DEL CULTIVO DE LECHUGA Y ZANAHORIA

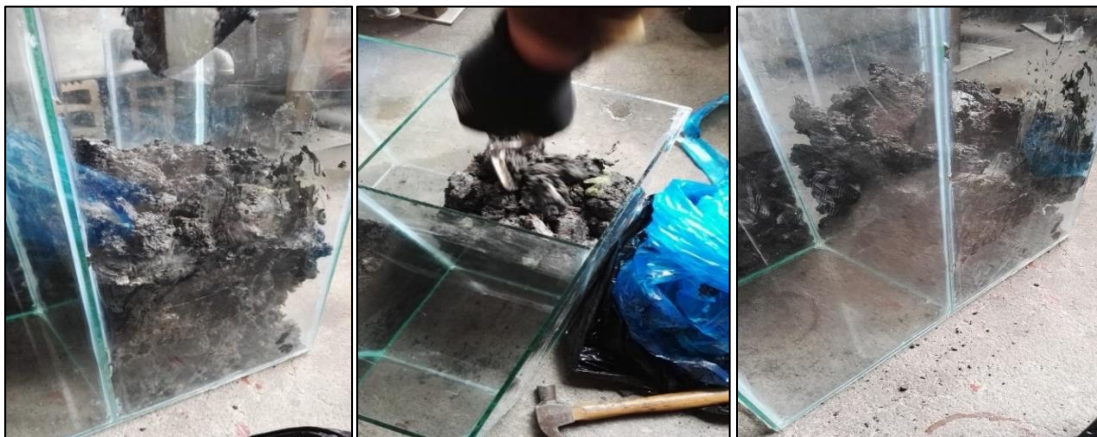
Luego de definir las hortalizas a evaluar se da inicio a su proceso de cultivo, teniendo en cuenta las condiciones necesarias para su completo y óptimo desarrollo. De acuerdo a esto se realizará un constante seguimiento y vigilancia, que permitirá analizar las etapas, crecimiento y culminación de cosecha de estas hortalizas.

Este seguimiento cronológico se muestra a continuación:

### **14 de diciembre de 2017:**

Luego de ser recolectadas las muestras son dispuestas en los envases destinados para su cultivo. Son envases de vidrio de 0.20 m x 0.20m en sus lados y con una altura de 0.50 m. Dentro de cada espacio se colocan las muestras de lodo, dejando una altura para cada uno de más o menos 0.30 m permitiendo así, el espacio necesario para el desarrollo de la raíz de la planta. Seguido a esto son roseadas las semillas de zanahoria y lechuga respectivamente.

Foto 8: 14 de Diciembre de 2017



Fuente: Autores, 2017

### **Semana del 18 al 28 de diciembre de 2017:**

Se puede evidenciar el inicio del crecimiento de la planta de zanahoria, la cual fue sembrada en la muestra de lodo que se tomó antes de terminar su proceso de secado y se encuentra en un estado más húmedo. En este lodo se observaba mayor cantidad de insectos y moscas, y su olor es fétido. También se observa que en algunos sectores del cultivo se han generado capas de moho, que son hongos que se propagan mediante esporas y se reproducen igual, y crecen en condiciones húmedas, calidas y mojadas. (Sarmiento, 2017); Mientras que la



planta de lechuga aun no muestra indices de iniciar su crecimiento, el lodo se encuentra seco y no presenta insectos, ni mal olor.

Foto 9: Semana del 18 al 28 de diciembre de 2017



Fuente: Autores, 2017

### 2 de enero de 2018:

Para esta fecha se puede apreciar el nacimiento de la primera rama de la planta de lechuga y su suelo no presenta cambio alguno; Mientras que la de zanahoria continúa con su crecimiento, y se observan más zonas cubiertas con moho.

Foto 10: 02 de Enero de 2018



Fuente: Autores, 2018

### 18 de Enero de 2018:

Se observa que las plantas de zanahoria han avanzado en su crecimiento, alcanzando una altura de aproximadamente 10 cm en su tallo; Aun se presentan malos olores, presencia de insectos y persisten las zonas con hongos.

Foto 11: 18 de Enero de 2018 - Zanahoria



Fuente: Autores, 2018

En la lechuga se observa que su proceso de crecimiento es mas demorado, pero ya empieza a verse su evolucion y desarrollo.

Foto 12: 18 de Enero de 2018 - Lechuga



Fuente: Autores, 2018

#### 04 de Febrero de 2018:

La lechuga continua con su proceso de crecimiento, su tallo alcanza los 15 cm de altura y se observa mayor abundancia de ramas. Para esta fecha el olor ha mejorado y la presencia de insectos ha disminuido.

Foto 13: 04 de Febrero de 2018 - Zanahoria



Fuente: Autores, 2018

En el cultivo de lechuga se observa que ha agilizado su proceso de crecimiento y sus ramas alcanzan una altura de aproximadamente 10 cm. El lodo aun se ve arido y seco.

Foto 14: 04 de Febrero de 2018 - Lechuga



Fuente: Autores, 2018

## 24 de Febrero de 2018

Se observa que las ramas de la zanahoria alcanzan una altura de aprox. 20 cm, sus hojas tienen color verde sin presentarse moho u hongos y ya no se presenta mal olor, ni insectos.

Foto 15: 24 de Febrero de 2018 - Zanahoria



Fuente: Autores, 2017

A esta fecha la vegetación de la lechuga alcanzó una altura de 18 cm, evidenciándose un crecimiento muy acelerado, adicionalmente a simple vista se puede evidenciar una mejora en sus propiedades.

Foto 16: 24 de Febrero de 2018 - Lechuga



Fuente: Autores, 2018

**11 de Marzo de 2018:**

Los tallos de la planta de zanahoria han alcanzado una longitud de 26 cm estando casi listos para su extracción, todos los tallos han crecido de manera similar y constante y se observa abundancia en sus ramas, sus hojas continúan verdes sin presencia de hongos u organismos que impidan su normal crecimiento.

Foto 17: 11 de Marzo de 2018 - Zanahoria



Fuente: Autores, 2018

Para esta fecha la planta de lechuga, y en su rapido crecimiento ha alcanzado una altura similar a la de las ramas de la zanahoria, de aprox. 25 cm. El tallo mas sobresaliente ha tomado una textura vellosa con cinco ramales de hojas de color verde de mas o menos 5 cm de longitud.

Foto 18: 11 de Marzo de 2018 - Lechuga



Fuente: Autores, 2018

### **15 de abril de 2018:**

Luego de transcurridos 4 meses (120 días) desde el inicio del cultivo de zanahoria y lechuga, se toma el ultimo registro fotografico y se procede a la extraccion de cada una de ellas, ya que de acuerdo a la investigacion realizada, esta dentro del tiempo establecido para que estas hortalizas completen el crecimiento y desarrollo de sus raices y posteriormente hayan dado los frutos esperados.

Foto 19: 15 de Abril de 2018 - Resultado final



Fuente: Autores, 2018

### **LECHUGA:**

En el momento de la extracción de la planta, se pudo evidenciar que la lechuga, alcanza una altura de 65 cm en el tallo, sigue presentando una textura vellosa y fuerte, teniendo aproximadamente 10 ramales, cada uno con hojas de color verde.

Foto 20: 15 de Abril de 2018 - Lechuga



Fuente: Autores, 2018

En las hojas de la planta no se observó ninguna alteración en su color, textura y crecimiento.

Foto 21: Hojas del cultivo de lechuga



Fuente: Autores, 2018



Al realizar la excavación en el lodo a una profundidad de 8 cm, se pudo determinar que no se encontró el fruto de la lechuga, y solamente hay presencia de sus raíces con una longitud de más o menos 15 cm en los tallos de mayor altura y en los de menor tamaño una longitud en su raíz de aproximadamente 7 cm.

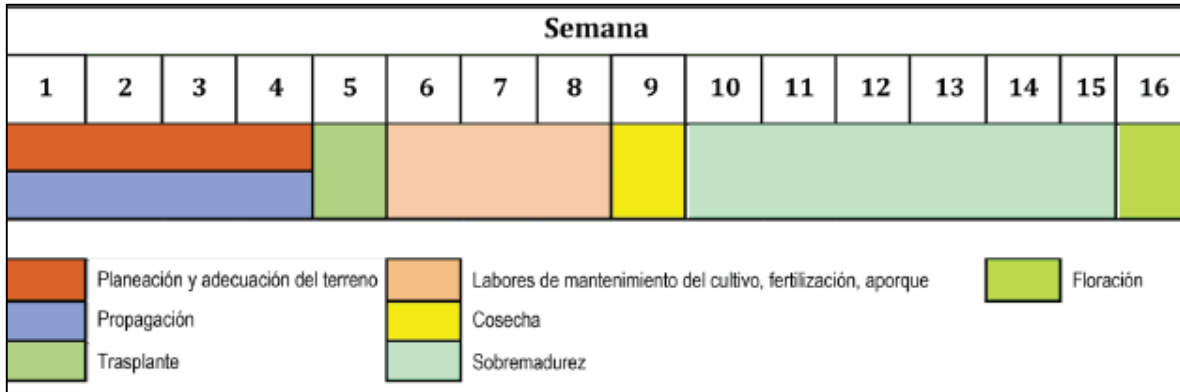
Foto 22: Vegetación final del cultivo de Lechuga



Fuente: Autores, 2018

De acuerdo con el resultado final del proceso de cultivo (120 días) se puede considerar que se presentó un crecimiento excesivo de la vegetación sin encontrar un resultado satisfactorio, teniendo en cuenta que las prácticas agrícolas recomiendan un tiempo máximo de 90 días en donde el cultivo experimental no evidenció crecimiento de las flores ni el producto final como se puede apreciar en la foto 23.

Ilustración 4: Cronograma de cosecha de lechuga



Fuente: Camara de comercio de Bogotá, 2015

Foto 23: Producto final cultivo de lechuga

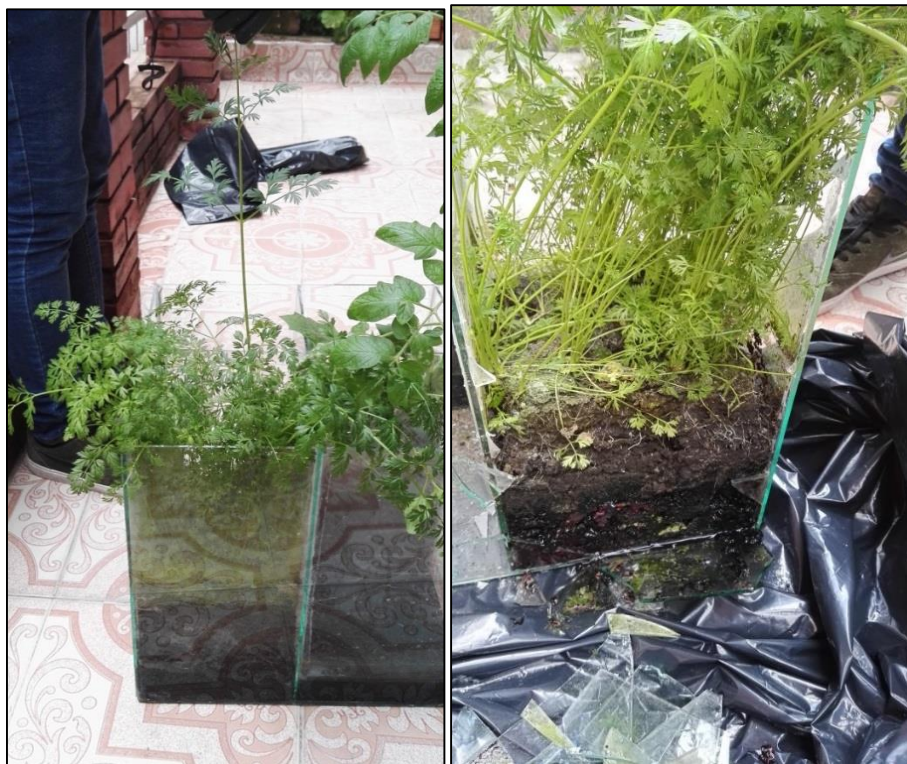


Fuente: Autores, 2018

## ZANAHORIA:

Al finalizar la etapa de cultivo de la zanahoria, el tallo mas sobresaliente ha alcanzado una altura final de 53 cm, pero en general todos presentan una altura similar, continua y no presentan problemas en su desarrollo, sus hojas son de color verde y se observa gran abundancia de estas.

Foto 24: 15 de Abril de 2018 - Zanahoria



Fuente: Autores, 2018

Al realizar la excavacion en el lodo a una profundidad de 5 cm, se pudo evidenciar un minimo crecimiento de algunas zanahorias, presentando un desarrollo de aproximadamente 2 cm de longitud, de color anaranjado y con presencia de sus raices, deduciendo que la obtencion de un producto completamente desarrollado no fue logrado debido al minimo tiempo de cultivo al que estuvo expuesto.

Foto 25: Frutos del cultivo de zanahoria



Fuente: Autores, 2018

Foto 26: Producto final del cultivo de zanahoria



Fuente: Autores, 2018

### 1.9.6.1 ANALISIS DE NUTRIENTES PRESENTES EN EL CULTIVO DE LECHUGA Y ZANAHORIA

Los elementos esenciales para las plantas son aquellos que desempeñan funciones específicas y que no pueden ser reemplazados por otro elemento. Las deficiencias de nutrientes esenciales son el resultado de un inadecuado nivel del elemento en el suelo o de factores ambientales que limitan su disponibilidad para las plantas. Contrariamente, la toxicidad es causada cuando una excesiva cantidad de nutriente es absorbida por la planta. Para evitar estas condiciones, se debe prestar atención a factores de suelo tales como textura, pH, nivel de humedad del suelo, y mantener el equilibrio de los nutrientes en el suelo, ya presentes o agregados con la fertilización. (Gaviola, 2013)

#### 1.9.6.1.1 NUTRIENTES DE LA LECHUGA

##### Nitrógeno

Interviene en la síntesis de las proteínas, la clorofila y el metabolismo vegetal (Gutiérrez, 2010).

Tabla 14: Requerimiento de Nitrógeno para cultivo de lechuga

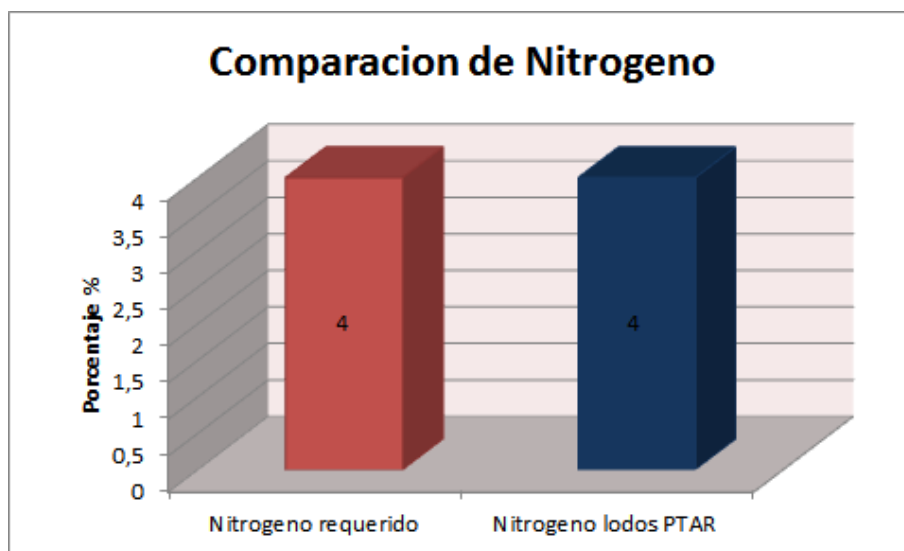
Nutriente	% a los 6 días	% Etapa de madurez
Nitrógeno	4.0 – 5.0	2.0 – 3.0

Fuente: Maynard y otros, 1997

Teniendo en cuenta la información de la tabla 13 con respecto al porcentaje requerido de nitrógeno para la etapa inicial del cultivo de lechuga y realizando la comparación con los resultados de laboratorios obtenidos que fueron del 4% de

contenido de nitrógeno, se puede analizar que el lodo cumplía con la cantidad necesaria y requerida para la obtención y crecimiento e una planta de lechuga.

Grafico 3: Comparación de contenido de Nitrógeno para cultivo de Lechuga



Fuente: Autores, 2018

## Fosforo

Ejerce una acción estimuladora del desarrollo radicular y de la formación del cogollo (Gutiérrez, 2010).

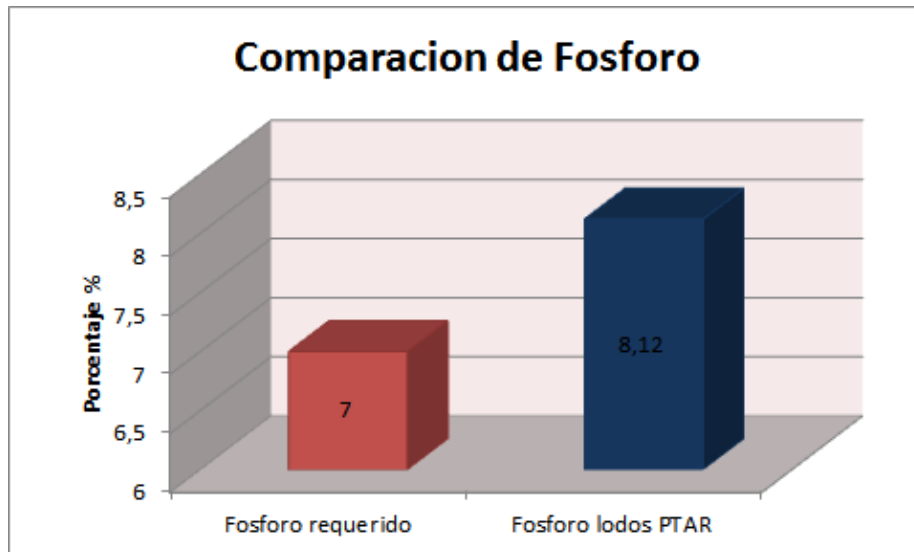
Tabla 15: Requerimiento de Fosforo para cultivo de lechuga

Nutriente	% a los 6 días	% Etapa de madurez
Fosforo	5.0 – 7.0	2.5 – 5.0

Fuente: Maynard y otros, 1997

Teniendo en cuenta la información de la tabla 14 con respecto al porcentaje requerido de fósforo para la etapa inicial del cultivo de lechuga y realizando la comparación con los resultados de laboratorios obtenidos que fueron del 8.12% de contenido de fósforo, se puede analizar que el lodo excede la cantidad necesaria y requerida para la obtención y crecimiento de una planta de lechuga. El exceso de fósforo puede bloquear la absorción del hierro que puede ocasionar clorosis intervenal o amarillamiento en las hojas más jóvenes.

Grafico 4: Comparación de contenido de Fosforo para cultivo de Lechuga



Fuente: Autores, 2018

## Potasio

Mineral indispensable en el transporte de los hidratos de carbono. Las plantas que cubren las necesidades de potasio son más resistentes a condiciones adversas como el frío, la sequía, los ataques de plagas y enfermedades, así como a la manipulación, transporte, conservación y frescura de la lechuga (Gutiérrez, 2010).

El cultivo de lechuga es exigente en abonado potásico, por lo que se debe tener cuidado con los aportes de este elemento, especialmente en épocas de baja temperatura teniendo en cuenta que al absorber más potasio, la planta requerirá más magnesio. Se debe tener precaución de no generar exceso en el abonado nitrogenado para no generar toxicidad de sales. (Salinas, 2013).

Adicionalmente a los nutrientes (N, K, P) encontramos otros nutrientes que intervienen en el desarrollo del cultivo de lechuga, como son:

### **Calcio**

Catión necesario en la planta para regular el pH de la célula vegetal. Es el encargado de la asimilación racional de potasio, sodio y magnesio, así como de favorecer la economía del agua en la planta (Gutiérrez, 2010).

### **Magnesio**

Nutriente esencial en la fotosíntesis de la lechuga. No es frecuente su deficiencia, siempre que el suelo disponga de 180 a 250 partes por millón (ppm) de magnesio asimilable y en el caso de las soluciones nutritivas de hidroponía si se aseguran 2-2,2 mili moles/litro del catión magnesio. El elemento debe estar bien equilibrado con el potasio y el calcio, pues estos dos cationes pueden inhibir su absorción (Gutiérrez, 2010).

### **Azufre**

Favorece el metabolismo del nitrógeno, así como la evolución de la materia orgánica. Es catalizador para la síntesis de la clorofila y forma parte de las vitaminas, sobre todo de la vitamina B (Gutiérrez, 2010).



### 1.9.6.1.2 NUTRIENTES ZANAHORIA

#### Nitrógeno:

Cuando se habla de nitrógeno se puede decir que se encuentra involucrado en la síntesis de aminoácidos y proteínas, y es un componente de la clorofila. Al presentarse deficiencia de nitrógeno en un cultivo de zanahoria, el crecimiento es lento y restringido, sus raíces son pequeñas, presenta tallos finos, erectos y duros, y su maduración es retardada. Las hojas de la planta de zanahoria se tornan de color verde pálido, y cuando las deficiencias son severas pierden el verde completamente. Las hojas viejas pueden desarrollar un tinte rojo en el margen. La raíz se ve afectada directamente por la deficiencia de este elemento siendo de menor tamaño y color. (Gaviola, 2013)

Tabla 16: Requerimiento de Nitrógeno para cultivo de zanahorias

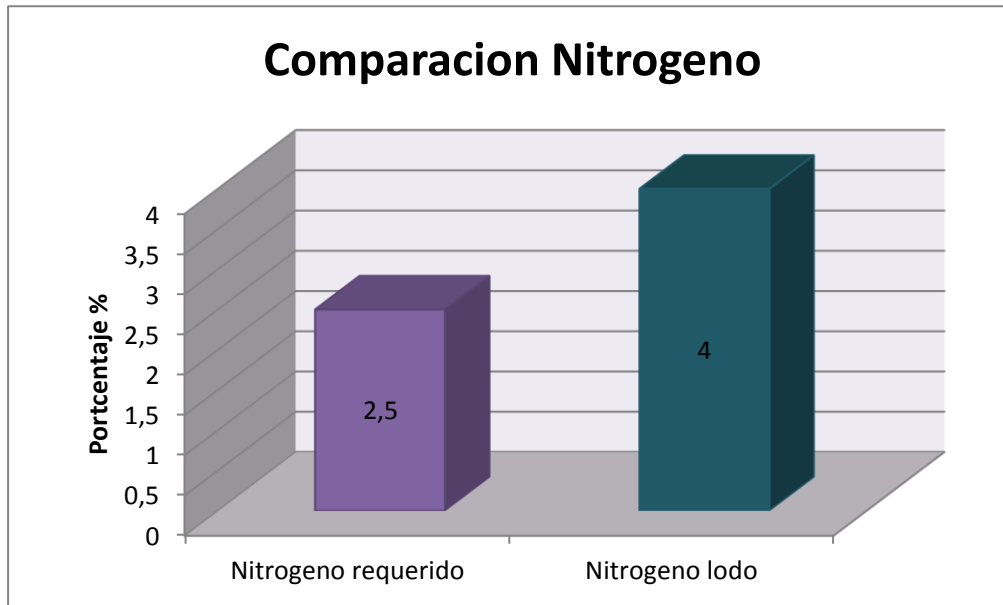
Nutriente	% a los 6 días	% Etapa de madurez
Nitrógeno	1.8 – 2.5	1.5 – 2.5

Fuente: Maynard y otros, (1997)

De acuerdo a la información de la tabla 17 con respecto al porcentaje requerido de nitrógeno para la etapa inicial del cultivo de zanahoria y realizando la comparación con los resultados de laboratorios obtenidos que fueron del 4% de contenido de nitrógeno, se puede analizar que el lodo contiene exceso de nitrógeno y tiende a favorecer el crecimiento exagerado de las hojas, de los órganos de reserva y las semillas. Adicionalmente, provoca efectos negativos sobre el ambiente, como lo son la contaminación con nitratos y la volatilización de óxido nitroso que interviene

junto con los gases de efecto invernadero. Un exceso de riego provoca el lavado de nitrógeno y por lo tanto la aparición de síntomas de deficiencia. (Gaviola, 2013)

Grafico 5: Comparación de contenido de Nitrógeno para cultivo de Zanahoria



Fuente: Autores, 2018

### Fosforo:

En los cultivos de zanahoria el fosforo (P) está vinculado principalmente a la fotosíntesis, la respiración y otros procesos metabólicos. Cuando se tiene una adecuada nutrición fosfórica se puede deducir que se presentará un incremento del tamaño de la raíz y su maduración será temprana. Así mismo, la deficiencia de fosforo determina un crecimiento lento del tallo, ramas cortas y maduración retardada. El rendimiento de raíces y semillas se reduce. Las hojas, tallos y pecíolos pueden desarrollar coloraciones rojizas o púrpuras, sin embargo, se debe tener presente que la zanahoria desarrolla normalmente color morado en el margen de hojas viejas. (Gaviola, 2013).

Tabla 17: Requerimiento de Fosforo para zanahorias

Nutriente	% a los 6 días	% Etapa de madurez
Fosforo	0.2 – 0.4	0.18 – 0.4

Fuente: Maynard y otros, (1997)

A partir de la información de la tabla 18 con respecto al porcentaje requerido de fosforo para la etapa inicial del cultivo de zanahoria y realizando la comparación con los resultados de laboratorios obtenidos que fueron del 8.12% de contenido de fosforo, se puede analizar que el lodo excede la cantidad necesaria y requerida para la obtención y crecimiento de una planta de zanahoria. La absorción excesiva de fosforo y por lo tanto la toxicidad, rara vez se observa por las propiedades de fijación que tienen la mayoría de los suelos y que reducen su disponibilidad para las plantas. (Gaviola, 2013)

### **Potasio:**

El Potasio se encuentra involucrado en la transpiración, crecimiento del tejido meristemático, formación de azúcar y almidón, síntesis de proteínas, y también la regulación de las funciones de nutrición de otros minerales. Cuando se presenta deficiencia de este, conduce a la disminución del rendimiento, con síntomas típicos en las hojas, caracterizados por un moteado y manchado acompañado por un enrulamiento y quemado del borde de las hojas. Las hojas viejas desarrollan áreas bronceadas y grisáceas cerca de los márgenes y áreas cloróticas que pueden desarrollarse a lo largo de toda la hoja, tomando una apariencia de quemadas y colapsan. Los pecíolos de hojas afectadas se secan y mueren. Los tallos tienden a ser débiles y el sistema radical se desarrolla pobremente. (Gaviola, 2013)

Los riegos excesivos pueden incrementar la deficiencia de potasio. Además, las plantas pueden absorber altas cantidades de potasio (consumo de lujo) sin sufrir efectos negativos. Sin embargo, cantidades elevadas de K en el suelo incrementan la salinidad del mismo además de provocar deficiencias de magnesio y, a veces, de calcio, por efecto antagónico. (Gaviola, 2013)

### **PH:**

El pH del suelo es un factor importante ya que influye en la disponibilidad de nutrientes presentes en el cultivo. En suelos minerales el pH óptimo para zanahoria es de alrededor de 6,5 y en los orgánicos 5,8. En general la zanahoria tolera un amplio rango de pH, entre 5 y 8. En muchas zonas del mundo la zanahoria se cultiva exitosamente en suelos ligeramente alcalinos con pH entre 7 y 7,5. (Gaviola, 2013).

### **Calcio**

Tiene un papel importante en la formación de la pared celular, crecimiento y división celular y asimilación de Nitrógeno. La deficiencia de este elemento en zanahoria causa el colapso de los folíolos y de los tejidos cercanos al punto de inserción al pecíolo, los tejidos suculentos se secan o mueren. La disponibilidad de calcio es baja en suelos ácidos y de textura arenosa. Altos contenidos de K en el suelo y la falta de humedad limitan la disponibilidad de Ca. (Gaviola, 2013).

### **Magnesio**

Es otro elemento esencial en la formación de clorofila como también en la síntesis de algunos aminoácidos y vitaminas. Cuando el contenido es bajo, las hojas más viejas exhiben amarillamiento y clorosis internerval, empezando en los márgenes, y los bordes adquieren un tinte rojo. Una deficiencia prolongada o severa causa

síntomas en hojas jóvenes semejantes a las deficiencias de nitrógeno. (Gaviola, 2013).

### **Azufre**

Es un componente esencial de algunos aminoácidos y vitaminas. El crecimiento general es reducido y los tallos son débiles. La disponibilidad de S es pobre en los suelos ácidos. (Gaviola, 2013).

### **Hierro**

Está involucrado en la síntesis de clorofila y es un componente de muchas enzimas. Los síntomas de deficiencia aparecen como un típico amarillamiento en áreas entre nervaduras de las hojas más jóvenes. (Gaviola, 2013).

### **Zinc**

Juega un papel importante en la síntesis de cloroplastos, almidón y auxinas. El primer síntoma es la aparición de amarillamiento internerval en hojas jóvenes de umbelíferas, seguido por un crecimiento reducido del tallo. Las deficiencias son comunes en suelos gruesos ácidos y lavados. Altos contenidos de materia orgánica y fertilizaciones exageradas de P incrementan las posibilidades de deficiencias de Zn. La mayoría de las umbelíferas tienen requerimientos bastante bajos en Zn. (Gaviola, 2013).

### **Cobre**

Es esencial en la síntesis de enzimas y clorofila, la respiración y en el metabolismo de carbohidratos y proteínas. Cuando hay deficiencia las hojas más jóvenes se presentan verde oscuro y no se despliegan. Las hojas más viejas parecen

marchitas y es común el amarillamiento. Las deficiencias son más comunes en suelos orgánicos. Una alta alcalinidad disminuye la disponibilidad de Cu. (Gaviola, 2013).

## **Cloro**

Es importante para el crecimiento de raíces y tallos. Su deficiencia resulta en el detenimiento del crecimiento de las raíces, marchitamiento, pardeamiento y clorosis de hojas, y algunas veces estas últimas mueren. Si bien es poco frecuente la zanahoria es bastante sensible a la toxicidad con Cl. (Gaviola, 2013).

## CONCLUSIONES

- El análisis experimental realizado en este proyecto, permite demostrar que los lodos obtenidos del tratamiento de aguas residuales, son una alternativa viable para su utilización como subproducto para cultivo de lechuga y zanahoria, y mediante esta práctica reducen el impacto ambiental ocasionado por la mala disposición que se les da actualmente a estos lodos.
- La composición y contenido de materia orgánica en el lodo evaluado, arroja resultados positivos para su utilización para el mejoramiento del suelo ya que contrarresta los efectos nocivos de la salinidad, incrementa la actividad de los microorganismos nativos del suelo, lo que va a inducir a una correcta mineralización de los nutrientes del lodo que van a quedar disponibles para la realización de cultivos.
- Evaluando desde el punto de vista normativo y técnico, el uso de los biosólidos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Funza, cumplen con el decreto 1287 del 10 de Julio de 2014 en donde se establecen los criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, y adicionalmente con los índices y restricciones reglamentados por la EPA en el título 40, sección 530, sub parte B “Land Applications”, en donde se estipulan los límites de metales permitidos en los lodos para ser usados en los suelos.
- El aprovechamiento del lodo como insumo para cultivo de hortalizas se convierte en la mejor opción, ya que, debido a sus propiedades y características orgánicas, otorga a las prácticas agrícolas un manejo de



FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
PROYECTO DE GRADO  
2018

ELABORÓ:  
JUAN PABLO VASQUEZ  
GABRIELA VARGAS

nutrientes en sus cultivos que permiten la disminución del impacto ambiental que pueda generar la utilización de fertilizantes químicos.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el tiempo de cosecha para estos cultivos sea más extenso, ya que en el tiempo evaluado no alcanzaron el desarrollo y crecimiento esperado, y así lograr ver sus características físicas y compararlas con los cultivos en condiciones normales.
- Se recomienda evaluar los polímeros utilizados en su paso por el Hidrociclón para el proceso de secado de los lodos y analizar su contenido de metales u otros elementos que puedan generar deficiencia en los cultivos.
- Se recomienda hacer ensayos de laboratorio después del proceso de cosecha, con el fin de evaluar el contenido de materia orgánica, nutrientes y metales con los que finalizó el lodo de cultivo.
- Se recomienda estabilizar la acidez del pH para el cultivo de lechuga, ya que el pH del lodo estaba en un rango ácido y no era recomendable para su utilización.
- Se recomienda realizar las prácticas experimentales en un suelo en campo abierto dentro del área municipal a evaluar, que permita observar el desarrollo de estos cultivos bajo condiciones climáticas, existencia de plagas u otros factores que influyen en la actividad agrícola.
- Se recomienda a los estudiantes de Ingeniería civil e Ingeniería ambiental continuar con los trabajos de investigación que contribuyan con nuevas alternativas para la solución y aprovechamiento de los lodos residuales, evitando su mala disposición e impactos ambientales.

## BIBLIOGRAFÍA

**AgroEs. Cultivos y Agricultura [En línea].** España: La Empresa [Citado 03 Abril, 2018]. Disponible en internet: <http://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-huerta-horticultura/zanahoria/518-zanahorias-dosis-de-nutrientes-para-abonado-cultivo>

**Agronet. 2014.** Destino de las exportaciones del sector agropecuario 2013-2014. Recuperado el 3 de 9 de 2014, de [http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/excepcionesNuke/cargaNet/netcarga124.aspx?cod=124&fechaF\\_year=2014&submit=Ver%20Reporte&reporte=Destino%20de%20las%20exportaciones%20del%20sector%20agropecuario%20por%20producto&file=20069615527\\_ReportComercioExpoProduc](http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/excepcionesNuke/cargaNet/netcarga124.aspx?cod=124&fechaF_year=2014&submit=Ver%20Reporte&reporte=Destino%20de%20las%20exportaciones%20del%20sector%20agropecuario%20por%20producto&file=20069615527_ReportComercioExpoProduc), 2014.

**Ariza, Julián y López, Edison. 2009.** La evaluación EX-POST como instrumento de aprendizaje y gestión de proyectos ambientales, aplicada al cierre del botadero Mondoñedo en Mosquera-Cundinamarca. 2009: Universidad de la Salle, 2009.

**Barbara, J. S. (2007).** The false promise of biofuels. Special Report from the International Forum on Globalization and the Institute for Policy Studies.

**Cámara de Comercio de Bogotá, 2015.** Manual de la zanahoria. 2015

**Cuaran Rosero, Nuria Janet. 2009.** Identificación de las propiedades fisicoquímicas de la zanahoria amarilla (*daucus carota* L) variedad chantenay, en dos estados de madurez (inmaduro-maduro) proveniente de Antonio ante-imbabura." Universidad técnica del norte. Ibarra, Ecuador. 2009

**Daguer, Gian. 2003.** Gestión de biosólidos en Colombia. Congreso Internacional de Acodal. [En línea] 2003. <http://www.bvsde.paho.org/>.

**Dáguer. (2003)** 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.

**Domiciliarios, Superintendencia de Servicios Públicos. 2015.** Disposición final de residuos sólidos. Colombia: Departamento Nacional de Planeación, 2015.

**Donado, Roger. 2013.** Plan de gestión para lodos generados en las PTAR de los municipios de Cumaral y San Martín de los Llanos en el departamento del Meta. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana, 2013.

**Donaldo, Roger. 2013.** Plan de gestión para lodos generados en las ptar-d de los municipios de cumaral y san Martín de los llanos en el departamento del Meta. [En línea] Agosto de 2013. [repository.javeriana.edu.co](http://repository.javeriana.edu.co).

**Empresa Municipal de Acueducto, alcantarillado y aseo de Funza.** [En línea]. [emaafesp.gov.co](http://emaafesp.gov.co).

**EPA, 1999.** Biosolids Generation, Use, and Disposal in the United States. [En línea] 1999. [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/biosolids\\_generation\\_use\\_disposal\\_in\\_u.s\\_1999.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/biosolids_generation_use_disposal_in_u.s_1999.pdf)

**García, Norma. (2009).** Lodos residuales: estabilización y manejo.

**Gaviola, Julio Cesar. (2013).** Manual de producción de zanahoria 1a ed. - Buenos Aires: Ediciones INTA, 2013.

**Granval N, Graviola JC. 1991.** Manual de producción de semillas hortícolas. Asociación Cooperadora de la Estación Experimental Agropecuaria La consulta, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina, 1991.

**Gutiérrez MC. 2010.** El cultivo de la lechuga en Cantabria. Gobierno de Cantabria, Consejería y desarrollo rural, ganadería, pesca y biodiversidad, Centro de investigación y formación agrarias, 2010.

**Gómez, Manuel Iván; López Miguel Ángel y Cifuentes Yenny Carolina. 2006.** El manganeso como factor positivo en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) y arveja (*Pisum sativum* L.) en suelos del altiplano Cundiboyacense. Agronomía colombiana. Volumen 24, Número 2, p. 340-347, 2006.

**Hochmuth, G., Maynard, D., Vavrina, C., Hanlon, E., Simonne, E., 1997.** Plant Tissue Analysis and Interpretation for Vegetable Crops in Florida. University of Florida, 1997.

**Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2000.** Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca, 2000.

**Joo, Sung Hee; Dello Monaco, Francesca; Antmann, Eric; Chorath, Philip. 2015.** Sustainable approaches for minimizing biosolids production and maximizing reuse options in sludge management: A review. Journal of Environmental Management. Volume 158, Pages 133-145. 1 August 2015.

**Leslie H, Pollard L. 1954.** Vegetable and Flower Seed Production. New York and Toronto, Blakiston, 1954.

**Limón, Juan. 2013.** Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales ¿Problema o recurso? Guadalajara: Academia de Ingeniería de México, 2013.

**Londoño Calle, Viviana. 2012.** Así están los suelos de la región. El espectador. 05 de julio de 2012.

**López, Manuel; Gutiérrez, Antonio y Sastre Andrés. 1996.** Biosólidos Generados en la Depuración de Aguas. Artículo publicado en Ingeniería del Agua. Vol. 3. No. 2.

**Mantilla Oviedo, Gustavo Adolfo. 2015.** Validación de uso de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales tipo UASB como insumo en recuperación de suelos agrícolas. Revista ESAICA, Vol.1 n°1, pp. 18-23, junio 2015.

**Marína Sklenárova; Janko Hodolič y Milan Majerník. 2009.** Management of waste sludge from waste water treatment plants, 2009.

**MAROTO, J. 1995.** Horticultura Herbácea Especial 4ta Edición. Ediciones Mundi Prensa. Impreso por Grafo, S.A. Bilbao Madrid, España pp 45-54. 1995.

**Martínez Pérez, Z. A, 2008.** Algunos aspectos epidemiológicos del Moho Blanco de la lechuga en dos municipios productores de Cundinamarca. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2008.

**Mata González, Ricardo; Sosebee, Ronald E.; Wan Changgui. 2006.** Effect of Types of Biosolids and Cattle Manure on Desert Grass Growth. Rangeland Ecology & Management. Volume 59, Issue 6, Pages 664-667, November 2006.

**Metcalf & Eddy. (2003).** Wastewater Engineering Treatment and Reuse (4 ed.). Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill. 2003.

**Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2011.** Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas. Resultados de evaluaciones agropecuarias municipales. Bogotá, 2011.

**Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. 2014.** Decreto No 1287 de 10 de Julio de 2014. <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf>.

**Ministerio del medio ambiente de Colombia. 2002.** Gestión para el manejo, Tratamiento y Disposición Final de las Aguas Residuales Municipales. Guía. Santa Fe de Bogotá.

**Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. 2012.** [Citado en Diciembre de 2012] Disponible en: <http://www.slideshare.net/search/slideshow?lang=%2A%2A&page=3&q=cobertura+de+alcantarillado+colombia&searchfrom=header&sort=relevance>. Santa Fe de Bogotá.

**NTC 5197. 2004.** Productos para la industria agrícola productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. 2004.

**Osorio J, Lobo M. 1983.** Hortalizas. Manual de asistencia técnica No. 28. Instituto Colombiano Agropecuario, 1983.

**Ospina López, Fabián Andrés; Rodríguez González, Alejandra y González Guzmán, Juan Manuel. 2017.** Comparación de la reglamentación para el manejo de lodos provenientes de agua residual en Argentina, Chile y Colombia. [En línea] 2017. [hemeroteca.unad.edu.co](http://hemeroteca.unad.edu.co).

**Oswald, W. J., Lee, E. W., Adan, B., & Yao, K. H. (1978).** New waste water treatment method yields a harvest of saleable algae. *WHO Chronicle*, 32(9), 348–350.

**Peery, Joann. 2017.** ¿Cómo influye la humedad en la calidad de los cultivos? [En Línea]: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/como-influye-la-humedad-en-la-calidad-de-los-cultivos/> 2017.

**Perdomo Rivera, Carlos Ovidio. 2014.** Diagnóstico del sistema de “lodos activados” de la planta de tratamiento de aguas Residuales Funza, Cundinamarca, Colombia. Bogotá D.C. Universidad de los Andes. 2014.

**RAS 0330. 2017.** Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá: s.n., 2017.

**Romero Rojas, Jairo Alberto. 1999.** Potabilización del agua: 3ª edición, Escuela Colombiana de Ingeniería. Editorial Alfaomega Grupo editor 1999.

**Romero Rojas, Jairo Alberto. 1999.** Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. 1ª edición, Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá. SEMINARIO de actualización jurídica y Regulatoria en infraestructura, servicios públicos y TIC. (2012). El Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico en Colombia.

**Ruiz Saldaña, Anggye Paola y Quevedo Moscoso, Laura Alejandra. 2017.**

Análisis de los lodos provenientes del proceso de tratamiento de aguas residuales del municipio de guatavita. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia 2017.

**Sarmiento, Lurdes. 2017.** ¿Por qué sale moho en las plantas? En LInea:

<https://www.jardineriaon.com/sale-moho-las-plantas.html>.

**Sharma, Bhavisha; Sarkar, Abhijit; Singh, Pooja; Pratap Singha Rajeev.**

**2017.** Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown. Waste Management. Volume 64, Pages 117-132, June 2017.

**Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J., & Roessler, P. (1998).**

A look back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae. Close-Out Report, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-580-24190.

**SPENA GROUP, 2010.** Digestión de lodos y sistemas de digestión de

residuos. [En línea] 2010. <http://spenagroup.com/digestion-de-lodos-y-sistemas-de-digestion-de-residuos/>

**Tarigo, A., Repetto, C., & Acosta, D, 2004.** Evaluación agronómica de

biofertilizantes en la producción de Lechuga a campo. Montevideo: Universidad de la República, 2004.

**Ureña Huizar, A., & Campoverde Gutiérrez, P. 2010.** Efecto de

biofertilizantes en la producción de Lechuga. Uroapán Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2010.




**Valadez A. 1997.** Producción de hortalizas. México, Noriega Editores, 298 pp, 1997.

**Waterhouse, Benjamin R.; Boyer, Stéphane; Adair Karen L.; Wratten Steve D. 2014.** Using municipal biosolids in ecological restoration: What is good for plants and soil may not be good for endemic earthworms. Ecological Engineering. Volume 70, Pages 414-421, September 2014.

**Whitaker T, Ryder EJ. 1964.** La lechuga y su producción. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, Servicio de Investigaciones Agrícolas, Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional, México, 53 pp, 1964.

## ANEXOS

### Anexo 1: Informe de ensayos de laboratorio a lodos PTAR Funza

	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL LABORATORIO AMBIENTAL INFORME DE RESULTADOS	CODIGO: MT-INF-027 FECHA: 2014-07-22 VERSION: 3

INFORME DE RESULTADOS MUESTRA 119-18

FECHA: 2018-03-16

CLIENTE: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
DIRECCIÓN: Carrera 136 N° 153-32 Apt: 101

MUESTRA No	119-18
MATRIZ:	LODOS
CLASE DE MUESTRA:	PUNTUAL
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	Lodos Secos
SITIO DE TOMA:	PTAR Funza
TOMADO POR:	Juan Pablo Vásquez
FECHA DE TOMA	2018-02-20
HORA DE TOMA	08:30
FECHA DE RECEPCIÓN	2018-02-20

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	FECHA EJECUCIÓN ANÁLISIS		MÉTODO
			Inicio	Final	
Humedad	14,5	%	2018-03-05	2018-03-06	SM 2540 G Edición No.22-2012
Sólidos Totales	85,5	%	2018-03-05	2018-03-06	SM 2540 G Edición No.22-2012
pH en suelos a 18,9 °C	5,53	Unidades pH	2018-03-05	2018-03-05	EPA SW-846 9045 D-Revisión 4-2004- ACREDITADO
Materia orgánica	22,4	% BS	2018-03-06	2018-03-07	MT-PRE-043-SSSA Serie 5
Nitrogeno total Kjeldahl	4,0	% BS	2018-03-08	2018-03-09	MT-PRE-081-SSSA Serie 5
Fósforo total	8,12	% BS	2018-03-06	2018-03-06	MT-PRE-038 y SM 4500-P C Edición No.22-2012
Arsénico	<9,00	mg/Kg-Bs	2018-03-08	2018-03-13	EPA 3051A-Revisió No. 1-2007 y EPA 6010C Revisión 3-2007
Cadmio	"5,10"	mg/Kg-Bs			
Cinc	1182	mg/Kg-Bs			
Cobre	457	mg/Kg-Bs			
Cromo	723	mg/Kg-Bs			
Mercurio	<4,00	mg/Kg-Bs			
Níquel	387	mg/Kg-Bs			
Plomo	"47"	mg/Kg-Bs			
Selenio	<9,00	mg/Kg-Bs			

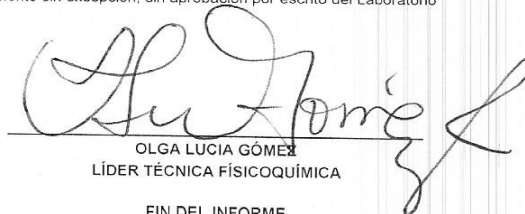
OBSERVACIONES: Muestra puesta en el laboratorio.

<XXX: Valor por debajo del limite de detección del método.

"XXX": Valor entre el límite de detección y el límite de cuantificación.

BS: base seca

Los resultados son válidos única y exclusivamente para las muestras analizadas .  
Este reporte no se debe reproducir parcialmente sin excepción, sin aprobación por escrito del Laboratorio

  
 OLGA LUCIA GÓMEZ  
 LÍDER TÉCNICA FÍSICOQUÍMICA  
 FIN DEL INFORME