

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						 ISO 9001 SC 7384-1	 GP 205-1	 CERTIFIED I-Net MANAGEMENT SYSTEM CO-SC 7384-1
	CARTA DE AUTORIZACIÓN								
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 1		

Neiva, septiembre 24 del 2018

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
Neiva

Los suscritos:

ANA MILENA ALMARIO OCHOA, con C.C. No. 1.081.516.479 y YURY SAMARA ORTEGA LINCER, con C.C. No. 1.083.910.903, autores del trabajo de grado titulado Potencial de reutilización del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Timaná- Huila para riego de pasto estrella (*cynodon plectostachius*), presentado y aprobado en el año 2018 como requisito para optar al título de Ingenieras Agrícolas; autorizamos al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacional e internacional “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:
ANA MILENA ALMARIO OCHOA
Firma:



EL AUTOR/ESTUDIANTE:
YURY SAMARA ORTEGA LINCER
Firma:



	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

Título completo del trabajo: potencial de reutilización del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Timaná- Huila para riego de pasto estrella (*Cynodon Plectostachius*).

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Almario Ochoa	Ana Milena
Ortega Lincer	Yury Samara

JURADOS TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Katiusca Castro	Jennifer
Olaya Amaya	Alfredo

DIRECTOR:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Mujica Rodríguez	Edinson

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agrícola

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2018

NÚMERO DE PÁGINAS: 111

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general X
 Grabados___ Láminas___ Litografías___ Mapas X Música impresa___ Planos X
 Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros X

Palabras claves en español e inglés:

Español	Inglés
1. Requerimientos hídricos	Water requirements
2. Requerimientos nutricionales	Nutritional requirements
3. Reúso	Reuse
4. Eficiencia	Efficiency
5. Cultivo	Cultivation

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El tratamiento de las aguas residuales es una necesidad que tiene la sociedad para proteger su medio ambiente y garantizar el bienestar humano, por su parte el reúso de las aguas residuales tratadas es importante en la gestión integrada del recurso hídrico. En este estudio se realizó una revisión bibliográfica, recolección de información edafológica y climatológica, requerimientos hídricos y nutricionales del pasto estrella, y cálculo de la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Timaná.

Según los resultados obtenidos en la investigación, se determinó que el efluente pertenece a la clase C2S1, indicando que el agua es apta para riego, con peligro de salinidad medio y de alcalinidad baja. También, se estableció según las directrices de la Organización Mundial de la Salud que pertenece a la categoría B por su riesgo microbiológico y puede ser utilizada para riego del cultivo de pasto, lo que exige un adecuado monitoreo del riego para minimizar riesgos de salud pública.

El área de estudio tiene déficit hídrico anual durante los meses de enero y febrero, y junio a septiembre. El efluente como riego para el cultivo de Pasto Estrella, podría haber aportado un volumen de agua de 519.946 m³/año con el cual se pudo haber regado en promedio 98 Has, el aporte de macronutrientes; Nitrógeno 193.030 kg/año, Fosforo 6.376 kg/año, Potasio 14 kg/año y lodos 2.226 kg/año de materia seca, para el año 2017, supliendo los requerimiento hídricos y nutricionales con una proyección que se calculó a 20 años.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The treatment of wastewater is a need that society has to protect its environment and ensure human well-being, while the reuse of treated wastewater is important in the integrated management of water resources. In this study, a bibliographic review, collection of soil and climatological information, hydrological and nutritional requirements of the stargrass, and calculation of the efficiency of the Timaná Wastewater Treatment Plant were carried out.

According to the results obtained in the investigation, it was determined that the effluent belongs to the C2S1 class, indicating that the water is suitable for irrigation, with danger of medium salinity and low alkalinity. Also, it was established according to the guidelines of the World Health Organization that belongs to category B because of its microbiological risk and can be used to irrigate grass crops, which requires an adequate monitoring of irrigation to minimize public health risks.

The study area has an annual water deficit during the months of January and February, and June to September. The effluent as irrigation for the cultivation of Pasture Star, could have contributed a volume of water of 519,946 m³ / year with which it could have been irrigated on average 98 Has, the contribution of macronutrients; Nitrogen 193,030 kg / year, Phosphorus 6,376 kg / year, Potassium 14 kg / year and sludge 2,226 kg / year of dry matter, for the year 2017, supplying the water and nutritional requirements with a projection that was calculated at 20 years.

APROBACIÓN DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado
JENNIFER KATUISCA CASTRO
 Firma:

Jennifer Katuisca Castro

Nombre del jurado
ALFREDO OLAYA AMAYA
 Firma:

Alfredo Olaya Amaya

**POTENCIAL DE REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TIMANÁ- HUILA PARA RIEGO
DE PASTO ESTRELLA (*Cynodon Plectostachius*)**

**ANA MILENA ALMARIO OCHOA
YURY SAMARA ORTEGA LINCER**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
PITALITO- HUILA
2018**

**POTENCIAL DE REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES DE TIMANÁ- HUILA PARA RIEGO DE
PASTO ESTRELLA (*Cynodon Plectostachius*)**

**ANA MILENA ALMARIO OCHOA
YURY SAMARA ORTEGA LINCER**

**Proyecto de Grado presentado a la Facultad de Ingeniería como requisito parcial para
optar al Título de Ingeniero Agrícola**

**EDINSON MUJICA RODRIGUEZ
M.I. Agrícola y Uso Integral del Agua
Director**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
PITALITO- HUILA
2018**

Nota de aceptación

Este trabajo fue aprobado
con nota mentoria.



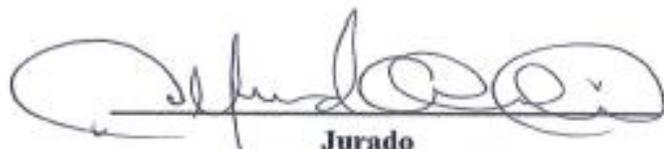
Director

EDINSON MUJICA RODRIGUEZ
M.I. Agrícola y Uso Integral del Agua

Jennifer Katiusca Castro C

Jurado

JENNIFER KATIUSCA CASTRO
Magister Ingeniería y gestión Ambiental



Jurado

ALFREDO OLAYA AMAYA
Doctorado Ingeniería área recursos hidráulicos

DEDICATORIA

ANA MILENA ALMARIO OCHOA

Dedico este proyecto a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, a mis padres Roman Almario y Stella Ochoa quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, a mi hermano Hernan Darío, por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas. Finalmente quiero dedicar este proyecto a todos mis amigos, por apoyarme cuando más las necesite, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias, siempre las llevo en mi corazón.

DEDICATORIA

YURY SAMARA ORTEGA LINCER

Dedico este trabajo a Dios por darme la vida, la sabiduría y las fuerzas para culminar mis estudios, a mi madre María Argenis Lincer por su apoyo, amor incondicional y porque con su esfuerzo y dedicación he podido alcanzar esta importante meta. A mis hermanos Einy Yisela Ortega Lincer y Jesus Ortega Lincer, por su cariño y acompañamiento constante, a mis sobrinos Sergio Josué Hoyos Ortega y Luiana Victoria Hoyos Ortega, por ser el motor que me impulsó a salir adelante siempre con este sueño, a todos muchas gracias por su amor, sus consejos, comprensión y por darme las fuerzas necesarias durante este importante y bello proceso, los amo infinitamente.

A doña Ana Hilia Salazar por su acompañamiento y palabras de aliento, a Jhon Alexis Plazas Salazar mi compañero de vida, por su apoyo y amor incondicional en cada paso que di durante esta etapa de mi vida. A mis compañeros y amigos que estuvieron siempre ahí en todo momento, por brindarme su amistad y apoyo constante. Gracias infinitas a todos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por darnos la vida, las fuerzas y la sabiduría necesaria para culminar este importante sueño. De igual manera, agradecemos profundamente a nuestros padres por su dedicación, su apoyo y amor incondicional, por guiar nuestros pasos por el mejor camino. A nuestros hermanos por su cariño y acompañamiento constante y a toda nuestra familia porque de una u otra manera nos han apoyado, dándonos voz de aliento en este bello proceso.

También agradecer a la Universidad Surcolombiana por ser nuestro segundo hogar, por acogernos durante todo este tiempo y brindarnos las condiciones necesarias. A los profesores (as) que con su sabiduría y compromiso nos guiaron por el mejor camino inculcando en nosotras conocimientos y valores para la vida profesional. De igual forma agradecer a nuestro director de tesis, el profesor Edinson Mujica Rodríguez, por compartirnos sus conocimientos y por dedicar su tiempo en el desarrollo de este trabajo.

Agradecemos a las empresas públicas de Timaná por el apoyo brindado en el desarrollo de esta investigación, al gerente por su disposición y a los operarios de la planta por brindarnos la información necesaria y pertinente, también agradecemos al señor Nelson presidente de la asociación de zorreros del municipio de Timaná.

Por ultimo agradecemos a todos nuestros compañeros (as) por extender su mano en situaciones difíciles, por brindarnos su amistad y cariño cada instante. Gracias por todos los momentos compartidos y por acompañarnos siempre durante este bello camino que hoy culmina.

ABREVIATURA

%R: porcentaje de remoción
AC: agua residual urbana o cloacal
Af: afluente
AG: factor de agotamiento permisible
AR: Agua Residual
AS: agua subterránea
C: concentración
Ca: carga
Ccpc: Carga contaminante per cápita
CE: conductividad eléctrica
CF: coliformes fecales
CR: coeficiente de retorno
CT: coliformes totales
DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno.
Dot: Dotación
DQO: demanda química de oxígeno
DRn: Demanda de Riego Neta
Ef: efluente
FAFA: Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
G y A: grasas y aceites
HH: huevos de helmintos
HR: humedad relativa
K: potasio
Kc: factor de crecimiento de una planta o cultivo
LARA: Lámina de Agua Rápidamente Aprovechable
MMH: Clima Medio Muy Húmedo
MO: materia orgánica
N: nitrógeno
NMP: número más probable
NTU: unidades nefelométricas de turbidez
OMS: Organización Mundial de la salud
PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales.
P: Fosforo.
QAC: Caudal de agua para consumo
QAR: caudal de agua residual.
QRn: caudal de riego neto.

RAFA-MC: Reactor Anaeróbico de Flujo ascendente y Mezcla Completa.

RAS 2000: Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico

Ras: Relación de Adsorción de Sodio.

Re: Requerimiento v

SD: sólidos disueltos

SS: Sólidos Suspendidos.

ST: Sólidos Totales

t: tiempo

UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reactor anaerobio de flujo ascendente).

UFC: unidades formadoras de colonias.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	19
1.1. Objetivo general.....	19
1.2. Objetivos específicos	19
2. MARCO TEORICO.....	20
2.1. Aguas residuales urbanas: características, y composición.....	20
2.1.1. Color	20
2.1.2. Turbiedad	20
2.1.4. Temperatura	21
2.1.5. Demanda química de oxígeno.....	21
2.1.6. Demanda bioquímica de oxígeno.....	22
2.1.7. Materia sólida del agua residual.....	22
2.1.8. Grasas.....	23
2.1.9. pH.....	24
2.1.10. Alcalinidad.....	24
2.1.11. Cloruros.....	24
2.1.12. Metales pesados	24
2.1.13. Cobre.....	25
2.1.14. Hierro	25
2.1.15. Plomo	25
2.1.16. Mercurio.....	25
2.1.17. Manganeso	25
2.1.18. Zinc	26
2.1.19. Nitrógeno	26
2.1.20. Fósforo	27
2.2. Tratamientos de aguas residuales.....	30
2.2.1. Pretratamientos o tratamientos primarios	30

2.2.2.	Tratamientos secundarios	31
2.2.3.	Tratamientos terciarios.....	36
2.2.4.	Disposición de lodos	37
	Lecho de secado.....	38
2.3.	Marco normativo y criterios de calidad	38
2.4.	Reutilización en riego	44
2.5.	Características del cultivo de pasto estrella	47
2.5.1.	Adaptación	47
2.5.2.	Fertilización	48
2.5.3.	Rendimiento.....	48
3.	METODOLOGIA	49
3.2.	Revisión de literatura	49
3.3.	Reconocimiento del área de estudio.....	49
3.4.	Adquisición y análisis de información climatológica	49
3.5.	Muestreo y análisis de suelo	51
3.6.	Descripción de la PTAR	51
3.7.	Evaluación de la PTAR.....	51
3.8.	Potencial de reutilización del efluente de la PTAR de Timaná para riego de pasto estrella.....	51
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1.	Localización.....	52
4.1.1.	Población.....	52
4.1.2.	Climatología.....	53
4.1.3.	Hidrografía.....	53
4.1.4.	Suelos.....	54
4.1.5.	Servicios públicos	55
4.2.	Análisis de la información climatológica.....	57
4.3.	Análisis de suelos.....	62
4.3.1.	Propiedades químicas.....	62
4.3.2.	Propiedades físicas	66
4.4.	Planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Timaná.....	67
4.5.	Evaluación de la PTAR.....	72

4.5.1.	Caracterización del Afluente.....	72
4.5.2.	Caracterización del Efluente	72
4.5.3.	Eficiencia	73
4.6.	Potencial reutilización del efluente en el cultivo de pasto estrella.....	74
4.6.1.	Calidad del efluente como agua para riego	74
4.6.2.	Caudal del Efluente de la PTAR	75
4.6.3.	Volumen de agua de la PTAR.....	76
4.6.4.	Nutrientes aportados por el efluente	77
4.6.5.	Localización del cultivo de Pasto Estrella	80
4.6.6.	Requerimiento nutricional para el cultivo de pasto estrella	81
4.6.7.	Requerimientos Hídricos.....	81
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
6.	BIBLIOGRAFÍA	93
7.	ANEXOS	98

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Definiciones para solidos encontrados en agua residual.	22
Continuación Tabla 1. Definiciones para solidos encontrados en agua residual.	23
Tabla 2. Composición típica de las aguas residuales urbanas.	28
Tabla 3. Tipo y número (NMP) de microorganismos en las aguas residuales urbanas.	29
Tabla 4. Procesos preliminares del tratamiento de aguas residuales.	31
Tabla 5. Diferencias entre los sistemas de tratamiento aerobio y anaerobio.	32
Tabla 6. Principales sistemas de tratamiento anaerobio.	33
Continuación Tabla 6. Principales sistemas de tratamiento anaerobio.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7. Procesos de tratamiento terciario.	37
Tabla 8. Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las AR empleadas en agricultura.	39
Tabla 9. Directrices para interpretar la calidad de las aguas de riego.	41
Continuación Tabla 9. Directrices para interpretar la calidad de las aguas de riego. ...	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 10. Guías sugeridas para aguas tratadas en el reúso agrícola y sus requerimientos de tratamiento.	42
Tabla 11. Criterios de calidad para el reúso agrícola.	43
Continuación Tabla 11. Criterios de calidad para el reúso agrícola.	44
Tabla 12. Distancias mínimas de retiro para el desarrollo del reúso.	45
Tabla 13. Abastecimiento de agua del municipio de Timaná.	56
Tabla 14. Abastecimiento de agua del municipio de Timaná.	56
Tabla 15. Precipitación media mensual multianual.	57
Tabla 16. Temperatura media, máxima y mínima mensual multianual.	59
Tabla 17. Humedad Relativa media, máxima y mínima mensual multianual.	60
Tabla 18. Brillo solar medio, máximo y mínimo mensual multianual.	61
Tabla 19. Evaporación media, máxima y mínima mensual multianual.	62
Tabla 21. Mantenimiento de los componentes de la PTAR.	70
Tabla 23. Caracterización del efluente.	73
Tabla 24. Eficiencias reales de la PTAR.	74
Tabla 25. Cargas Per cápita de Nutrientes en el Efluente.	78
Tabla 27. Demanda de Riego mensual multianual (2005-2015).	85
Tabla 28. Hectáreas a regar y nutrientes aportados en época de estiaje.	89
Tabla 29. Potencial de Reutilización del Efluente de la PTAR de Timaná.	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema metodológico para reutilización de aguas residuales en riego.....	50
Figura 2. Localización de Timaná.	52
Figura 3. Precipitación media, máxima y mínima mensual (2005-2015).....	58
Figura 4. Temperatura media, máxima y mínima mensual multianual (2005-2015).	59
Figura 5. Humedad Relativa máxima, media y mínima mensual (2005-2015).....	60
Figura 6. Brillo solar medio, máximo y mínimo mensual multianual (2005-2015).....	61
Figura 7. Evaporación media, máxima y mínima mensual multianual (2005-2015).	62
Figura 8. Localización de la PTAR.	67
Figura 9. Tratamiento preliminar y primario.	68
Figura 10. Trampa grasas, Canal de Distribución y RAFA.....	68
Figura 11. Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA).	69
Figura 12. RAFA Y FAFA.	69
Figura 15. Balance Hídrico 2005-2015.....	85
Figura 16. Demanda de Riego Neta para el cultivo de pasto estrella.	86

ANEXOS

Anexo 1. PTAR del municipio de Timaná.	98
Anexo 2. Toma de muestra de aguas residuales.	98
Anexo 3. Esquema de los Reactores de Flujo Ascendente (RAFA).....	100
Anexo 4. Resultados del análisis fisicoquímicos y microbiológico del AR de la PTAR de Timaná-Huila	103
Anexo 5. Resultados del análisis fisicoquímico del suelo del área de estudio.	109
Anexo 6. Aforos de la PTAR.....	111

RESUMEN

Para determinar el potencial de reutilización del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del municipio Timaná con fines de riego para un cultivo de pasto estrella (*Cynodon Plectostachius*), se realizó una revisión de estado del arte, se hizo el reconocimiento de la PTAR y la respectiva recolección de información del área de estudio, por medio de las visitas de campo realizadas; se calcularon también las eficiencias reales de la PTAR y el potencial de reutilización de los recursos del efluente y con base en el balance hídrico de la zona se determinó el número de hectáreas a irrigar.

Según los resultados obtenidos en la investigación, se logró determinar que el efluente como agua para riego pertenece a la clase C2S1, lo que quiere decir que el agua es apta para riego, de buena calidad, con un peligro de salinidad medio y de alcalinidad bajo. También, se logró establecer según las directrices de la OMS que el efluente pertenece a la categoría B por su riesgo microbiológico y puede ser utilizada para riego del cultivo de pasto estrella, lo que exige un adecuado monitoreo del riego para minimizar posibles riesgos de salud pública.

Se logró determinar también que la zona de influencia tiene déficit hídrico durante los meses de enero y febrero en el primer semestre del año y en el segundo de junio a septiembre, siendo estos los meses con déficit hídrico del año. El efluente se establece como un recurso potencial para el cultivo de Pasto Estrella, aportando un volumen de agua de 519.946 m³/año para el año 2017, macronutrientes; N 193.030 kg/año, P 6.376 kg/año, K 14 kg/año y lodos 2.226 kg/año de materia seca. Con el efluente en verano se puede regar en promedio 98 Has de Pasto Estrella.

Palabras claves: Riego, reutilización, aguas residuales, Pasto Estrella.

ABSTRACT

To determine the reuse potential of the effluent from the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of the Timaná municipality for irrigation purposes for a star grass crop (*Cynodon Plectostachius*), a state of the art review was carried out. Of the WWTP and the respective collection of information from the study area, through field visits; the real efficiencies of the WWTP and the potential for reuse of the effluent resources were also calculated and, based on the water balance of the area, the number of hectares to be irrigated was determined.

According to the results obtained in the investigation, it was determined that the effluent as water for irrigation belongs to the class C2S1, which means that the water is suitable for irrigation, of good quality, with a danger of medium salinity and low alkalinity. Also, it was established according to WHO guidelines that the effluent belongs to category B due to its microbiological risk and can be used to irrigate the star grass crop, which requires adequate monitoring of irrigation to minimize potential public health risks.

It was also determined that the area of influence has a water deficit during the months of January and February in the first half of the year and in the second from June to September, these being the months with water deficit for the year. The effluent is established as a potential resource for the cultivation of Star Grass, providing a volume of water of 519,946 m³ / year by 2017, macronutrients; N 193,030 kg / year, P 6,376 kg / year, K 14 kg / year and sludge 2,226 kg / year of dry matter. With the effluent in summer you can irrigate an average of 98 hectares of Estrella Grass.

Keywords: Irrigation, reuse, wastewater, grass crop.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales es una necesidad que tiene la sociedad para proteger su medio ambiente y garantizar el bienestar humano, pues estas aguas configuran un peligro potencial para la salud pública, ya que a través de ellas se pueden transmitir innumerables enfermedades; lo cual genera grandes impactos a la población y la economía de los países (Hrudey, 2004).

Una de las prácticas más comunes de disposición final de las aguas residuales domésticas ha sido la disposición directa sin tratamiento a los cuerpos de agua superficiales y en el suelo; sin embargo, la calidad de estas aguas puede generar dos tipos de problemas: La primera de salud pública, particularmente importantes en países tropicales por la alta incidencia de enfermedades infecciosas, cuyos agentes patógenos se dispersan en el ambiente de manera eficiente a través de las excretas o las aguas residuales crudas (Mara, 1996), segundo son los problemas ambientales, por afectar la conservación o protección de los ecosistemas acuáticos y del suelo, lo que contribuye a la pérdida de valor económico del recurso y del medio ambiente y genera a su vez una disminución del bienestar para la comunidad ubicada aguas abajo de las descargas (Pierce & Turner, 1990).

El concepto de prevención y control de la contaminación de los cuerpos hídricos, involucra estrategias de manejo adecuado de aguas residuales que deben implementarse, en el contexto de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. El reúso de agua residual en la agricultura es una de estas estrategias de prevención y control de la contaminación hídrica y es una alternativa para aumentar los recursos donde se presenta escasez de agua (Moscoso & Alfaro, 2007). De acuerdo con diferentes organizaciones internacionales aproximadamente el 90% del agua residual en los países en vías de desarrollo se descarga sin tratamiento alguno a los cuerpos hídricos (UNEP, 2010). En Latinoamérica, sólo el 8% del agua residual que se produce diariamente es tratado (Banco mundial *et al.*, 2007) y es entregada a fuentes superficiales y cerca de 500.000 hectáreas son irrigadas, la mayoría con agua cruda (Madera, 2005). En el contexto colombiano solo se trata el 24% de las aguas residuales generadas por los municipios (MAVDT, 2010).

Colombia tiene una superficie irrigada con aguas residuales de 1.230.193 ha, con 27% de agua residual tratada y 73% sin tratar, por lo general diluida con aguas superficiales; al igual que sucede en toda América Latina, no se cuenta con información completa y confiable sobre el tema del reúso (Cepis, 2003) y solamente 8% del total de aguas residuales que se producen diariamente es tratado (Banco mundial *et al.*, 2007). A pesar de la alta capacidad de autopurificación, los ríos colombianos se encuentran en muchos casos contaminados en largos trayectos debido a la alta carga orgánica, de patógenos y de nutrientes que reciben. La mayoría de estos ríos, que por su belleza podrían recibir la categoría de ríos de calidad de agua apta para la recreación y la preservación ecológica, no cumplen muchas veces, ni siquiera, con la calidad del agua apta para riego con restricciones (Camacho *et al.*, 2006).

El riego agrega un tratamiento extra significativo a las aguas residuales, debido a la destrucción de compuestos refractarios en el suelo, evaporación de compuestos volátiles, muerte de patógenos, degradación de la materia orgánica remanente y otros procesos. Al contrario de lo que se piensa, la irrigación agrícola suele ser la alternativa más barata para la disposición final de las aguas servidas tratadas (comparada con la descarga a ríos, lagos u otras alternativas) tanto en costos de construcción como de operación y mantenimiento. Finalmente el riego agrícola suele ser la alternativa con menor impacto ecológico para la disposición final de las aguas servidas tratadas (Juanico, 2009).

Pérez y Hernández (2007) expresan algunas posibilidades que ofrece la utilización de aguas residuales en el riego de los cultivos las cuales contribuyen al aumento del 20% de la disponibilidad productos agrícolas frescos, ahorro del 10% de fertilizante, debido al valor nutritivo de esta agua, y disminuye al 60% los gastos por concepto de transporte y otros insumos.

El municipio de Timaná en el departamento del Huila cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales que vierte su efluente en el río Timanejo creando problemas de contaminación ambiental y afectando comunidades aguas abajo que utilizan las aguas de este río para consumo doméstico. Este estudio presenta el potencial de reutilización del efluente de la PTAR de Timaná como suministro de agua y nutrientes para el cultivo de pasto estrella, como una alternativa ambiental y productiva, considerada como un tratamiento terciario para la PTAR, donde el efluente pasa de ser un contaminante a convertirse en un recurso. El manejo integral del recurso hídrico implica la gestión eficaz basada en el ahorro, el reusó y la no contaminación del agua, todo ello en una planificación sostenible del territorio y una gestión integrada de las cuencas hidrográficas (Morató *et al.*, 2006).

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Potencial de reutilización del efluente de la planta de tratamiento de agua residuales de Timaná Huila en pasto estrella (*Cynodon Plectostachius*).

1.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar la PTAR del municipio de Timaná y su efluente con fines de reúso para riego.
- ✓ Realizar el balance hídrico y estudio de suelos de la zona de estudio para efectos de irrigación teniendo en cuenta el requerimiento hídrico y nutricional de pasto estrella.
- ✓ Determinar el balance de recursos (agua y nutrientes) aportados por la PTAR al cultivo de pasto estrella.

2. MARCO TEORICO

2.1. Aguas residuales urbanas: características, y composición

Las aguas residuales urbanas son aquellas que se han canalizado en los núcleos urbanos, que se han utilizado en usos domésticos (inodoros, fregaderos, lavadoras, lavabos, baños) (Seoáñez, 2004). Además, pueden contener residuos provenientes de los arrastres que las aguas de lluvias y actividades industriales urbanas.

La calidad de agua residual es medida de acuerdo con los parámetros físicos, químicos y biológicos que indican el grado y tipo de contaminación del agua.

Entre los parámetros físicos se encuentran color, turbiedad, olor, temperatura, y conductividad; entre los químicos están parámetro como la demanda química de oxígeno (DQO), demando bioquímica de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD), solidos suspendidos totales (SST), gases (ácido sulfhídrico y metano), pH y constituyentes químicos inorgánicos como: alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, fosforo y azufre. Las características biológicas se determinan por los principales grupos de microorganismos y la evaluación de organismos patógenos (Metcalf & Eddy, 1996).

2.1.1. Color

Para la descripción de un agua residual se emplea el término condición junto con la composición y la concentración. Este término se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual (Metcalf & Eddy, 1996).

2.1.2. Turbiedad

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. La materia coloidal dispersa o absorbe la luz, impidiendo su transmisión. Aun así, no es posible afirmar que exista una relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión de un agua no tratada. No obstante,

sí están razonablemente ligados la turbiedad y los sólidos en suspensión en el caso de efluentes procedentes de la decantación secundaria en el proceso de fangos activados (Metcalf & Eddy, 1996).

2.1.3. Olor

Se debe principalmente a la presencia de determinadas sustancias producidas por la descomposición anaerobia de la materia orgánica: ácido sulfhídrico, indol, mercaptanos y otras sustancias volátiles. Si las aguas residuales son recientes, no presentan olores desagradables ni intensos. A medida que pasa el tiempo, aumenta el olor por desprendimiento de gases como el sulfhídrico o compuestos amoniacales por descomposición anaerobia (Metcalf & Eddy, 1996).

2.1.4. Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. En función de la situación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21°C, pudiéndose tomar 15,6 °C como valor representativo.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. Por ejemplo, el aumento de la temperatura del agua puede provocar cambios en las especies piscícolas.

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con la reducción del oxígeno presente en las aguas superficiales. Estos efectos se ven amplificados cuando se vierten cantidades considerables de agua caliente a las aguas naturales receptoras. Es preciso tener en cuenta que un cambio brusco de temperatura puede conducir a un fuerte aumento en la mortalidad de la vida acuática. Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos (Metcalf&Eddy, 1996).

2.1.5. Demanda química de oxígeno

La medida de la DQO es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua cualquiera que sea su origen orgánico o mineral (hierro ferroso, nitritos, amoniacos, sulfuros y cloruros). La DQO corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido. El DQO generalmente es mayor que la DBO.

Es importante recalcar que si la relación entre la DBO5/DQO es mayor a 0.5, los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Si la relación DBO5/DQO es menor a 0.3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos. (Metcalf & Eddy, 1996).

2.1.6. Demanda bioquímica de oxígeno

La DBO expresa la cantidad de oxígeno necesaria para biodegradar la materia orgánica (degradación por microorganismos). En la práctica, permite apreciar la carga de agua en materias putrescibles y su poder autodepurador, y de ello se puede deducir la carga máxima aceptable. Este indicador se aplica principalmente en el control del tratamiento primario en las estaciones depuradoras y en evaluar el estado de degradación de los vertidos que tengan carga orgánica. Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de materia orgánica de aguas residuales es el ensayo de DBO que normalmente se mide en un período de incubación de 5 días (DBO5) a 20 °C (Metcalf & Eddy, 1996).

2.1.7. Materia sólida del agua residual

La materia sólida del agua residual está presente tanto en forma disuelta como en suspensión. Además, es importante determinar su presencia, ya que determinan el mayor o menor grado de depuración que se obtendría de acuerdo con la eficiencia de las distintas etapas de tratamiento. La clasificación de los diferentes tipos de sólidos identificados se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Definiciones para sólidos encontrados en agua residual.

PRUEBA	DESCRIPCIÓN
Sólidos totales (ST)	Residuo remanente de la muestra que ha sido evaporada y secada a una temperatura específica (103 a 105 °C).
Sólidos volátiles totales (SVT)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los ST con calcinados (500 ± 50 °C).
Sólidos fijos totales (SFT)	Residuo que permanece después de incinerar los ST (500± 50°C).
Sólidos suspendidos totales (SST)	Fracción de ST retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica.

Continuación **Tabla 2.** Definiciones para solidos encontrados en agua residual.

PRUEBA	DESCRIPCIÓN
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	Estos sólidos pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SST son calcinados (500 ± 50 °C)
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	Residuo remanente después de calcinar SST (500 ± 50 °C)
Sólidos disueltos totales (SDT)	Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica.
Sólidos disueltos volátiles (SDV)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SDT son calcinados (500 ± 50 °C)
Sólidos disueltos fijos (SDF)	Residuo remanente después de calcinar los SDT (500 ± 50 °C)
Sólidos sedimentables	Sólidos suspendidos, expresados como mililitros por litros, que se sedimentan por fuera de la suspensión dentro de un período de tiempo específico.

Fuente: Adaptado del Standard Methods (1995).

La concentración de sólidos totales nos indica la cantidad de lodos que se producirán diariamente en condiciones normales. Además indican la turbiedad debido a los sólidos no filtrables (Metcalf&Eddy, 1996).

La concentración de sólidos suspendidos se debe a material causado por partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basura y aquellas otras que pueden ser perceptibles a simple vista. Esta concentración afecta la DBO y DQO debido a que los sólidos consumen el oxígeno existente (Metcalf & Eddy, 1996).

2.1.8. Grasas

Las grasas son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal. Es de suma importancia analizar específicamente la presencia de grasas en el agua residual, ya que pueden provocar problemas en determinadas partes del tratamiento provocando: mal olor, formaciones de espuma e inhiben la vida de los microorganismos, además provocan problemas de mantenimiento y pueden obstruir conductos.

Las grasas están siempre presentes en las aguas residuales domésticas debido al uso de manteca, grasas y aceites vegetales en cocinas. Pueden estar presentes como aceites minerales derivados del petróleo, debido a contribuciones no permitidas, como por ejemplo: estaciones de servicio, y son altamente indeseables porque se adhieren a las tuberías provocando su obstrucción (Metcalf & Eddy, 1996).

2.1.9. pH

La concentración del ion hidrógeno es un importante parámetro de calidad tanto de las aguas naturales como de las residuales, (Metcalf & Eddy, 1996). Mide la magnitud de acidez o alcalinidad del agua residual. Es importante mencionar que el intervalo de pH adecuado para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, normalmente entre pH 5 y 9.

2.1.10. Alcalinidad

La alcalinidad del agua se define como su capacidad para neutralizar ácidos (Standard Methods, 1995). En aguas residuales la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio o de ion amonio. La alcalinidad es un parámetro esencial de la calidad de un agua y está relacionada con los procesos de nitrificación y desnitrificación (Barajas, 2002).

2.1.11. Cloruros

La presencia de cloruros en las aguas residuales urbanas es un parámetro importante. Las heces humanas, por ejemplo, suponen unos 6g de cloruros por persona y día. (Metcalf & Eddy, 1996). En lugares donde la dureza del agua es alta, los compuestos usados para reducir la dureza son fuentes de origen de cloruros.

2.1.12. Metales pesados

Los metales pesados son originados por las actividades de tipo industrial y comercial como por ejemplo la metalurgia que es donde se utiliza este tipo de metales. Son de interés en el tratamiento, reutilización y vertimiento de efluentes. Los metales pesados son, en algunos casos esenciales para el desarrollo y el crecimiento de las plantas y microorganismos, y a determinados niveles estos elementos esenciales se pueden convertir en tóxicos. El Cobre, Plomo, Níquel, Zinc, Mercurio retardan la acción microbiana. En esta forma los compuestos tóxicos en aguas y desechos conducen a resultados alterados de DBO.

Los metales pesados analizados para nuestro estudio son: cobre, cadmio, níquel, cromo, hierro, plomo, mercurio, manganeso, zinc (Mujeriego, 1990).

2.1.13. Cobre

El cobre es un metal que ocurre naturalmente en el ambiente. Este metal se usa para fabricar: alambres, cañerías y láminas de metal. El cobre también se combina con otros metales para fabricar cañerías y grifos de latón y bronce.

Los compuestos de cobre son usados comúnmente en la agricultura para tratar enfermedades de las plantas, como el moho, para tratar agua, y como preservativos para alimentos, cueros y telas, además puede ser liberado por la industria minera, actividades agrícolas y de manufactura. (ATSDR, 2004).

2.1.14. Hierro

La concentración elevada de hierro puede deberse al arrastre de tierra del lugar, donde se encuentra con mayor frecuencia suelos arcillosos viejos u oxidados; esto se debe a que el hierro se produce al romperse los bordes de los minerales cristalinos de la arcilla. También puede ser que existan lavaderos de minerales, empresas siderúrgicas y otras, (Metcalf & Eddy, 1996).

2.1.15. Plomo

La mayor parte proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de quemar combustibles fósiles. Se usa en la fabricación de baterías, municiones, productos de metal (soldaduras y cañerías). Debido a inquietudes sobre salud pública, la cantidad de plomo en pinturas y cerámicas y en materiales para recubrir y soldar se ha reducido considerablemente en los últimos años. (ATSDR, agosto 2007).

2.1.16. Mercurio

El mercurio es altamente tóxico a niveles relativamente bajos y se acumula en los peces. Produce "clorosis" en las plantas, es venenoso para los animales (Metcalf & Eddy, 1996).

2.1.17. Manganeso

El manganeso puede ser liberado al aire, al suelo y al agua durante la manufactura, uso o disposición de productos a base de manganeso. El manganeso no puede ser degradado en el ambiente. Solamente puede cambiar de forma o adherirse o separarse de partículas. En el agua, tiende a adherirse a partículas o a depositarse en el sedimento. La forma química del manganeso y el tipo de suelo determinan la rapidez con que se moviliza a través del suelo y la cantidad que es retenida en el suelo. (ATSDR, 2008).

El manganeso ocurre naturalmente en la mayoría de los alimentos y además se puede agregar a algunos alimentos. El manganeso se usa principalmente en la producción de acero para mejorar su

dureza, rigidez y solidez. También se puede usar como aditivo en la gasolina para mejorar su octanaje. (ATSDR, 2008).

2.1.18. Zinc

Su presencia se debe a que el agua en algunos casos arrastra y lava algunos desechos de la basura como pilas y otros productos contaminantes. (Metcalf & Eddy, 1995). Cierta cantidad de zinc es liberada al ambiente por procesos naturales, pero la mayor parte proviene de actividades humanas tales como la minería, producción de acero, combustión de petróleo e incineración de basura.

El zinc puro es un metal brillante blanco-azulado. Tiene muchos usos comerciales como revestimiento para prevenir corrosión, en compartimientos de baterías secas y, mezclado con otros metales, para fabricar aleaciones como el latón y bronce. El zinc se combina con otros elementos para formar compuestos de zinc. Los compuestos de zinc son ampliamente usados en la industria para fabricar pinturas, caucho, tinturas, preservativos para maderas y ungüentos. (ATSDR, 2005).

2.1.19. Nitrógeno

Los elementos nitrógeno son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. (Metcalf & Eddy, 1996).

✓ Nitrógeno inorgánico

También llamado nitrógeno amoniacal, este influye en el pH de las aguas. Gran parte del nitrógeno presente en el agua residual se debe a los compuestos nitrogenados utilizados en la agricultura y en la industria química como por ejemplo el uso de fertilizantes y detergentes.

El amoníaco se encuentra en el agua residual debido a una degradación incompleta de la materia orgánica. La presencia de este nutriente significa una posible contaminación debido a bacterias, desechos de origen animal, y por tanto puede considerarse como “insegura” (Metcalf & Eddy, 1996).

✓ Nitrógeno orgánico

El Nitrógeno orgánico contribuye al desarrollo de las bacterias y demás seres acuáticos no deseables. Su presencia en las aguas residuales es aportada a través de las excretas humanas, además se los encuentra en la forma de proteínas, aminoácidos y urea. La presencia de nitrógeno orgánico en las aguas residuales urbanas se debe también a los residuos domésticos formados por proteínas o productos de su degradación: polipéptidos (Clair *et al.*, 2001).

✓ **Nitrógeno de nitrito**

Es un indicador de contaminantes previo al proceso de estabilización, y rara vez su concentración excede de 1 mg/L en aguas residuales. Los nitritos son de gran importancia porque son altamente tóxicos para peces y demás seres acuáticos. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Los nitritos pueden estar presentes en las aguas, bien por la oxidación del amoníaco o por la reducción de los nitratos. En el primer caso, es casi segura que su presencia se deba a una contaminación reciente, aunque haya desaparecido el amoníaco.

✓ **Nitrógeno de nitrato**

En un agua típicamente urbana no deben existir nitratos y su presencia se debe a la oxidación del nitrógeno amoniacal en presencia de oxígeno, ya que la preponderancia del nitrógeno en forma de nitratos en un agua residual es un fiel indicador de que el residuo se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno. (Metcalf & Eddy, 1996).

2.1.20. Fósforo

La concentración de fósforo total es comúnmente de 4-15 mg/l en aguas residuales urbanas (Metcalf & Eddy, 1996). El fósforo se puede encontrar en tres formas distintas: fósforo orgánico (especies particuladas), ortofosfatos y polifosfatos (especies disueltas).

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y microorganismos protistas, por tal razón, al nitrógeno y al fósforo se los llama bioestimuladores. Este parámetro físico se encuentra en el agua residual urbana principalmente por la materia fecal humana (50-65%), de los vertidos de residuos alimenticios y de los compuestos de fosfato inorgánico contenidos en los detergentes y de los productos de limpieza. El uso de los detergentes como sustituto del jabón ha aumentado en gran medida el contenido de fósforo de las aguas residuales domésticas. (Clair, *et al.*, 2001).

Tabla 3. Composición típica de las aguas residuales urbanas.

CONTAMINATES	CONCENTRACIÓN (mg/l)		
	Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	390	720	1230
Disueltos totales (SDT)	270	500	860
Fijos	160	300	520
Volátiles	110	200	340
Sólidos en suspensión (SS)	120	210	400
Fijos	25	50	85
Volátiles	95	160	315
Sólidos sedimentables	5	10	20
Nitrógeno total:	20	40	70
Orgánico	8	15	25
Amoniacal	12	25	45
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo total:	4	7	12
Orgánico	1	2	4
Ortofosfatos – Inorgánicos	3	5	8
Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días	110	190	350
Carbono orgánico total (COT)	80	140	260
Demanda química de oxígeno (DQO)	250	430	800
Cloruros	30	50	90
Sulfatos	20	30	50
Aceites y grasas	50	90	100

Fuente. (Metcalf & Eddy, 2003).

2.2. Organismos patógenos en las aguas residuales urbanas

Las características biológicas de las aguas residuales son de vital importancia en el control de enfermedades ocasionadas por organismos patogénicos de origen humano debido al papel fundamental y extensivo que juegan las bacterias y otros microorganismos en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, ya sea de forma natural o en plantas depuradoras.

Los diferentes patógenos presentes en las aguas residuales domésticas (Díaz & Carrasco, 1988) se muestran en la tabla 3 y se resumen en:

- ✓ Bacterias (*Escherichia Coli*, *Salmonella tphi*, *Salmonella paratphi*, *Shigella*, *Vibrio Cholerae*, *Yersinia enterocolitica*)
- ✓ Protozoos (*Balentidium*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia lambia*)
- ✓ Helmintos (*Ascaris lumbricoides*, *Enterobius vermiaelaris*, *Fasciola hepática*, *Schistosoma Haematobium*, *Taenia saginata*, *Taenia solium*)
- ✓ Virus (*Adenovirus*, *Enterovirus*, *Hepatitis A*, *Reovirus* y *Rotavirus*)

Tabla 4. Tipo y número (NMP) de microorganismos en las aguas residuales urbanas.

ORGANISMOS	CONCENTRACION DEL AGUA BRUTA NMP/100 ml
Bacterias	
Coliformes totales	$10^7 - 10^9$
Coliformes fecales	$10^6 - 10^8$
<i>Clostridium Perfringens</i>	$10^3 - 10^5$
<i>Enterococos</i>	$10^4 - 10^5$
<i>Streptococos Fecales</i>	$10^4 - 10^7$
<i>Pseudomonas Aeroginosa</i>	$10^3 - 10^6$
<i>Shigella</i>	$10^0 - 10^3$
<i>Salmonella</i>	$10^2 - 1$
Protozoos	
Cistos de <i>Cryptosporidium Parvum</i>	$10^{-1} - 10^3$
Cistos de <i>Entamoeba Histolytica</i>	$10^{-1} - 10^1$
Cistos de <i>Giardia Lamblia</i>	$10^3 - 10^4$
Helmintos	
Huevos de helmintos	$10^1 - 10^3$
<i>Ascaris Lumbricoides</i>	$10^{-2} - 10^0$
Virus:	
Virus entéricos	$10^3 - 10^4$
Colífagos	$10^3 - 10^4$

Fuente: Metcalf y Eddy, 2003.

Especial interés tiene conocer el número más probable (NMP) y tipo de microorganismos presentes en las aguas residuales domésticas brutas. Se estima que cerca de un 3 ó 4% del total de los coliformes son *escherichia coli* patógenos (Metcalf & Eddy, 2003).

2.2. Tratamientos de aguas residuales

Los métodos de tratamiento de las aguas residuales empezaron a desarrollar los sistemas de depuración de las aguas residuales y de su reutilización ante la necesidad de velar por la salud pública y a la escasez de recursos hídricos naturales, entre otros muchos factores, así como a la mayor concientización social frente los daños al medio ambiente, etc. Las plantas de depuración emplean operaciones y procesos unitarios, los cuales, se agrupan en los llamados tratamientos primario, secundario y terciario o avanzado (Metcalf & Eddy, 2003). El tratamiento primario se basa en operaciones físicas como pueden ser el desbaste y la sedimentación de sólidos. El tratamiento secundario recurre a procesos biológicos y químicos con el objeto de eliminar gran cantidad de materia orgánica. Finalmente, el tratamiento terciario o avanzado emplea combinaciones de procesos unitarios y operaciones unitarias con el objetivo de reducir y eliminar más componentes.

Otros autores (Ramalho, 1991) incluyen un tratamiento antes del primario denominándolo tratamiento previo o pre tratamiento.

2.2.1. Pre tratamientos o tratamientos primarios

Los pre tratamientos de las aguas residuales implican la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas para su descarga bien en los receptores o para pasar a un tratamiento secundario.

Pueden emplearse medios físicos diferentes para realizar la separación de los materiales de mayor tamaño, entre ellos se encuentran: rejillas, tamices autolimpiantes, tamices inclinados, microfiltros; y para la separación de materiales muy finos es posible montar procesos de desarenación, en donde la sedimentación es la base de la separación. También pueden emplearse procesos químicos para la precipitación de sólidos suspendidos y coloidales, con el fin de eliminar los sólidos flotantes y grasas (Metcalf & Eddy, 1996).

Así estos tratamientos primarios pretenden también llevar a cabo la separación de aceites, grasas y otros materiales menos densos que el agua, puede realizarse aprovechando la diferencia de densidades (Tabla 4).

Tabla 5. Procesos preliminares del tratamiento de aguas residuales.

OPERACIÓN Ó PROCESO	FUNCIÓN
Dilaceración	Trituración de los sólidos remanentes después del desbaste grueso
Pre aireación	Suministro de Oxígeno disuelto para mejorar la distribución hidráulica
Cribado	Reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos
Tamices	Desbaste de sólidos gruesos mediante un giro continuo o intermitente de agua a través de un disco inclinado con ranuras fresadas de cobre o bronce.
Floculación	Mejora de las características de sedimentación de los sólidos en suspensión
Sedimentación	Eliminación de sólidos en suspensión del mismo tamaño de acuerdo a la diferencia del peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran.
Desarenado	Retención de arenillas, tierra, cáscaras de huevo, semillas y demás partículas con gravedades específicas cercanas, para prevenir el taponamiento de las tuberías. (Velocidad próxima a 0.3m/s)
Flotación	Eliminación de sólidos suspendidos y flotantes previo a la decantación primaria.
Precipitación química	Eliminación de sólidos sedimentables y coloidales y del fósforo.

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996).

2.2.2. Tratamientos secundarios

Los tratamientos secundarios comprenden una gran variedad de procesos biológicos en donde las bacterias y varias poblaciones de microorganismos son los encargados de destruir y metabolizar la materia orgánica soluble y coloidal, reduciendo la DBO y la DQO a valores inferiores a 100mg/l cuando se trata de sistemas aerobio y anaerobio complementario. La velocidad de degradación depende de la presencia de los microorganismos adecuados, teniendo en cuenta las características metabólicas requeridas en cada una de las etapas del tratamiento seleccionado.

En general los procesos biológicos también llamados procesos de tratamiento secundario, son utilizados para la conversión de la materia orgánica disuelta y finamente dividida, en flóculos biológicos sedimentables y en sólidos siendo eliminados en los fangos de sedimentación,

generando así la reducción de la materia orgánica (Metcalf & Eddy, 1995). En un tratamiento secundario no se busca la eliminación de microorganismos patógenos o carga microbiana en general, básicamente se centra en la reducción de la materia orgánica.

Los procesos biológicos se pueden clasificar en dos grandes grupos, aerobios y anaerobios. Los primeros emplean bacterias que se desarrollan en presencia de oxígeno disuelto en el agua, mientras que en los segundos las bacterias sobreviven en ausencia de oxígeno. En ambos casos las poblaciones microbianas convierten la materia orgánica en nueva biomasa o fango, dióxido de carbono y metano.

Las características de ambos tipos de procesos presentan ventajas y desventajas con relación a las características de diseño, condiciones técnico económicas y eficiencias de remoción de la carga contaminante; así los procesos anaeróbicos ofrecen una diversidad de atractivos a diferencia de los procesos aeróbicos, dado que la tasa a la que se puede llevar a cabo el tratamiento no está limitada por la tasa a la que se pueda suministrar el oxígeno. El anaerobio tiene bajas tasas de producción de lodos residuales, y no requiere de la introducción de un sistema de aeración; lo que reduce sustancialmente los costos de operación, siendo su principal desventaja la remoción incompleta de DBO (70-80%) (Arrieta, 1998), ver tabla 5.

Tabla 6. Diferencias entre los sistemas de tratamiento aerobio y anaerobio.

TRATAMIENTO AEROBIO	TRATAMIENTO ANAEROBIO
Rendimientos de eliminación de DQO mayor al 90%	Rendimiento de eliminación de DQO entre 70-80%
Gran consumo energético, requerido en la aireación. Genera de 3 a 20 veces más lodos.	Muy bajo consumo energético. Produce bajas cantidades de lodo.
Mayor consumo de nutrientes (DQO:N:P =100:5:1)	Baja cantidad de nutrientes (DQO:N:P= 100:0.5:0.1)
Adecuado para DQO > 2000mg/l	Adecuado para DQO mayores a 1500mg/l
No permite paradas sin sustrato, ni aireación	Requiere control de olores, y mayor control de pH (6.5-7.5)

Fuente: Arrieta, 1998.

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico complejo que se realiza en ausencia de oxígeno, donde la materia orgánica se transforma a biomasa y compuestos orgánicos, la mayoría de ellos volátiles. Aunque es un proceso natural, sólo en los últimos veinticinco años ha llegado a ser una tecnología competitiva en comparación con otras alternativas. Esto ha sido posible gracias a la implementación de sistemas que separan el tiempo de retención hidráulico (TRH), del tiempo de retención celular (TRC) los cuales han sido denominados reactores de alta tasa. Durante este

proceso también se obtiene un gas combustible (Biogás) y lodos con propiedades adecuadas para ser usados como bioabonos. (Bermúdez, *et. al.*,2011)

Inicialmente solo se empleaban para el tratamiento de aguas residuales industriales debido a su alto contenido de materia orgánica, pero su uso se ha extendido a las aguas residuales municipales, ya que según Cakir y Stenstrom (2005), existe una concentración entre los 300 a 700 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxígeno última carbonácea (DBOUC), en la cual los tratamientos aerobios ya no son tan efectivos y un agua residual doméstica de 300 mg/L ya se considera de carga fuerte. Sin embargo, no pueden emplearse como único medio de tratamiento, deben combinarse con procesos aerobios para alcanzar la calidad requerida para su descarga (Chan, *et. al.*, 2009); algunas opciones de post tratamiento están incluso diferenciadas como post tratamiento primario para remover compuestos orgánicos e inorgánicos y material suspendido, post tratamiento secundario para eliminar colides y nutrientes y tratamientos de pulimento para eliminar patógenos (Khan, *et. al.*, 2011). Así el tratamiento anaerobio se puede operar en distintos sistemas, variando las condiciones en el flujo de la corriente a tratar, los materiales de construcción y los soportes de acuerdo a las características y los caudales tratados (Tabla 6).

Tabla 7. Principales sistemas de tratamiento anaerobio.

SISTEMA	FUNCIONAMIENTO	REFERENCIA
Reactores de Contacto (CSTR)	El sistema donde la biomasa no tiene soporte físico y mediante agitación se favorece el contacto bacterias- sustrato, evitando las sedimentaciones de sólidos en el interior del reactor.	Ramalho, 1991
Filtro Anaerobio	En el interior del reactor un material de relleno actúa de soporte físico para la biomasa, y el agua circula en el interior en dirección ascendente.	Fernández, 1996
Reactores de Lecho Fijo	En estos reactores los microorganismos se adhieren al medio inerte, que puede ser cualquiera de los medios usados en los lechos bacterianos. Se destacan reactores de lecho expandido, fundido y reciclado.	Hernández, 1992
Reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)	Sistema a través del cual el agua residual fluye ascensionalmente a través del fango anaerobio alcanzando la depuración y la retención de la biomasa por medio de los separadores de tres fases (Agua-fango-gas)	Arrieta, 1998

✓ Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB)

La abreviación U.A.S.B. se define como Upflow Anaerobic Sludge Blankett o Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente. Uno de los sistemas anaerobios más utilizado para el tratamiento de aguas residuales, dicho sistema fue introducido a mediados de la década de los setenta por Lettinga y colaboradores en la Universidad Agrícola de Wageningen (UAW) en Holanda para el tratamiento de aguas residuales industriales generadas de la industria alimenticia (Orozco & Giraldo, 1986).

En los años 80 se reconoció el potencial de la aplicación de la tecnología UASB para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales en países en vía de desarrollo.

El reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodo describe un reactor de biopelícula fija sin medio de empaque o soporte, con una cámara de digestión que tiene flujo ascendente y a cierta altura se desarrolla un manto de lodos anaerobios que es altamente activa y en el cual se da la estabilización de la materia orgánica del afluente hasta CH₄ y CO₂ (Caicedo, 2006).

La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo biológicamente activo en el reactor. Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digester. La biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional.

Mantenimiento

El operador debe revisar diariamente que las tuberías de entrada al RAFA no estén obstruidas por algún cuerpo extraño como botellas, plástico, madera o basuras. En caso de encontrar algún objeto debe proceder a retirarlo con una pala curva o con un rastrillo.

El reactor anaerobio de flujo ascendente se purgará cuando se encuentre saturado, esto lo indicará la excesiva salida de lodos en el área de efluencia. La purga consistirá en la extracción de lodos del registro del RAFA mediante una bomba especializada para lodos o un equipo Vactor, esta purga se realizará aproximadamente tres años después de la fecha de arranque.

El lodo generado podrá ser succionado (bombeado) dejando un residuo de unos 0.15 a 0.20 m, ya que esta capa contendrá suficientes bacterias para iniciar una nueva colonia digestora. (Escalante, *et. al*, 2000)

Ventajas

Los reactores del tipo UASB presentan una serie de ventajas sobre los sistemas aerobios convencionales, la inversión principalmente es menor (costos de implantación y manutención),

producción pequeña de lodos excedentes, consumo pequeño de energía eléctrica y simplicidad del funcionamiento (Ramírez & Koetz, 1998).

La mayor ventaja del UASB a través de su diseño es que permite la retención de una gran cantidad de biomasa activa en comparación con otros sistemas anaerobios, tolerando así altas descargas orgánicas. El flujo ascendente es uno de los principales factores para la formación de lodo granular responsable de la alta tasa de depuración (Lettinga et al, 1990). Son económicos energética y ecológicamente. La pantalla que hay en el RAFA crea una zona de bajo nivel de turbulencia donde aproximadamente el 99.9% del lodo en suspensión se sedimenta en el fondo del reactor.

Capacidad de retención

En los reactores UASB la retención de la biomasa en el interior del reactor se logra por medio de los separadores de tres fases (agua, fango y gas) colocados en la parte superior. Si la velocidad del agua a través del separador es demasiado alta, o a la altura del separador existe una gran turbulencia originada por una gran producción de biogás, el efluente arrastra más fango del que se crea en el interior del reactor, lo que se traduce en una pérdida paulatina de la biomasa y de la capacidad de tratamiento (Arrieta, 1998).

Tiempo de retención

El tiempo de retención hidráulico (TRH), depende de las características y condiciones de diseño, éste debe ser el suficiente para que se lleve a cabo el metabolismo anaerobio bacteriano en el digestor. Los digestores que presentan un crecimiento uniforme tienen un TRH más bajo que aquellos digestores que presentan un crecimiento disperso. En el caso de tanques de acidificación se ha encontrado un tiempo de retención adecuado de 3 horas, y en los reactores hasta 6 horas, cuando se trabaja con reactores de fases separadas (Polprasert, 1989).

✓ Filtro anaerobio de flujo ascendente

Los filtros son unidades de tratamientos físicos y biológicos. Estos filtros datan de los años sesentas y representan hoy una tecnología para tratar tanto aguas residuales domésticas como industriales. Los efluentes de los procesos anaerobios generalmente requieren un pos tratamiento para poder cumplir con los requerimientos de calidad de la normatividad y/o fines de reúso específico.

El proceso no utiliza recirculación ni calentamiento y produce una cantidad mínima de lodo, las pérdidas de energía a través de los lechos son mínimas. Los filtros anaerobios están constituidos por una columna rellena de material filtrante (piedra, grava, arena, anillos de plástico u otro material) que generalmente tienen un tamaño de partícula de 3 a 5 centímetros, en el cual se desarrolla el crecimiento biológico anaerobio (EPMAPS, 2014).

Los parámetros más importantes del medio filtrante son la superficie específica y la porosidad, la superficie específica nos permite conocer la cantidad de carga orgánica que puede soportar el filtro, mientras mayor sea la superficie específica mayor capacidad de carga orgánica tendrá, mientras que a mayor porosidad se produce menos atascamientos (José & Seco Torrecillas, 2008).

El agua residual entra en contacto con el crecimiento bacterial adherido al medio filtrante, que degrada la DBO del afluente dando como resultado un efluente clarificado con una menor carga orgánica. La acumulación de biomasa es lenta pero constante. Esta biomasa que crece en el medio filtrante puede tardar alrededor de 6 meses para estabilizarse (Romero Rojas, 2010, p. 707).

Principales ventajas:

- ✓ Es sencillo de mantener, de fácil operación y mantenimiento.
- ✓ Requiere un área o terreno pequeña para su construcción.
- ✓ Posee un consumo energético nulo.
- ✓ El riesgo de taponamiento es mínimo, debido a que el flujo es ascensional.
- ✓ Permite una concentración de biomasa alta y un efluente clarificado.
- ✓ Altas concentraciones de biomasa y largos tiempos de retención celular.
- ✓ Eficacia de remoción de alrededor del 80 %, (Romero Rojas, 2010, p. 708).

La eliminación de sólidos suspendidos y de DBO puede llegar de 85 a 90% pero normalmente está dentro del rango de 50 a 80%, cuando la eliminación de nitrógeno esta alrededor del 50% en el mejor de los casos (José & Seco, 2008).

2.2.1. Tratamientos terciarios

Este tipo de tratamientos complementa el tratamiento de las aguas residuales cuando se requiere una depuración mayor de la conseguida con los tratamientos primarios y secundarios. Esta etapa del tratamiento incluye procesos específicos como precipitación, adsorción en carbón activo, oxidación química, inyección con aire a vapor, intercambio iónico, ósmosis inversa y electrodiálisis (Cepis, 1993), ver Tabla 7.

Otros sistemas terciarios son los de tipo físico que consiste en microfiltración y filtración por membranas, procesos de sedimentación y coagulación por agentes químicos. Estos sistemas son mucho más económicos y pueden ser una alternativa en los tratamientos de aguas residuales, permiten la remoción de partículas, así como de parásitos y bacterias (Edzwald & Kelley, 1998).

La importancia de la implementación de los sistemas terciarios radica en la necesidad de destruir agentes patógenos que signifique un grave riesgo sobre la salud pública. Los procesos de desinfección son esenciales como barrera entre los agentes causantes de enfermedades y el hombre. Los sistemas terciarios existentes comprenden procesos físicos y químicos.

2.2.1. Disposición de lodos

Los lodos generados en los procesos de una PTAR, necesitan transporte, tratamiento y una adecuada disposición final. El lodo tiene un alto contenido de humedad alrededor del 80 al 90% de agua por peso, además están conformados de un alto contenido de materia orgánica y agentes patógenos (Romero, 2010), por lo cual necesitan tratamiento o estabilización para:

- ✓ Disminuir la cantidad de agua para facilitar su manejo y disposición.
- ✓ Eliminar patógenos y olores ofensivos. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 916)
- ✓ Acondicionar al lodo para su reutilización o disposición final.

Tabla 8. Procesos de tratamiento terciario.

PROCESO	FUNCIONAMIENTO
Filtración	Eliminación de sólidos arrastrados, el medio de filtración puede ser arena, grava, antracita, u otro material adecuado (Hernández, 1992).
Adsorción	Concentración de un soluto en la superficie de un sólido, acumulándose una capa de moléculas de soluto en la superficie del sólido por el desequilibrio de las fuerzas superficiales (Rozano, 1995).
Ozonificación	Oxidación con ozono O ₃ para la eliminación de compuestos orgánicos no saturados presentes en el AR, reducción de la formación de espuma (Rigola, 1989).
Cloración	Desinfección con cloro por la fuerte capacidad de oxidación de iones metálicos y cianuros a productos inocuos, por la reducción de la DBO, y la eliminación de colores y olores (Rozano, 1995).
Desinfección con UV	Exposición a radiaciones UV con longitud de onda de 254nm, es una alternativa efectiva para evitar los efectos nocivos de la cloración (Doménech et al., 1999)

AR: Agua Residual UV: Ultravioleta

El tratamiento de los lodos consiste en aplicar sustancias químicas o una combinación de tiempo/temperatura que aseguren la remoción o transformación de los patógenos y de los componentes orgánicos que pueden causar malos olores.

La finalidad del proceso normalmente es secarlos, esto puede ser natural en lechos de secado de lodos para reducir considerablemente su volumen y el material se torna manejable para su reuso o disposición final. Es importante indicar que el manejo del lodo se debe realizar con mucha precaución, puesto que todavía contiene gran cantidad de microorganismos (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Los lodos residuales son materiales semilíquidos, los cuales se generan en el cribado y la fosa séptica, se almacenan en el fondo de los mismos, generalmente están constituidos de arena, aceites y grasas, sólidos y materia orgánica. Según varios autores (Crites & Tchobanoglous, 2000).

✓ **Lodos primarios**

“Son lodos producto de la sedimentación de aguas residuales provenientes del cribado” (Romero Rojas, 2010, p. 757), es decir las partículas de materia orgánica particulada, en estado crudo.

✓ **Lodos secundarios**

“Son los lodos provenientes del tratamiento biológico de las aguas residuales” (Romero, 2010), es decir la biomasa (partículas conglomerados con bacterias producto del tratamiento de las aguas residuales en la fosa séptica). Los lodos provenientes de la fosa séptica, requieren una estabilización y deshidratación, antes de ser reutilizados o llevados a su disposición final.

✓ **Lecho de secado**

El lecho de secado es una plataforma rectangular que tiene una base de ladrillo, donde se tiene una capa de arena y piedra cuya función es filtrar el residuo líquido de los lodos. Al fondo de estos materiales se coloca un sistema de drenaje que recolecta los líquidos y los conduce hacia el punto de descarga o infiltración. Después por medio de radiación solar y evaporización de la superficie, se deshidrata los lodos hasta dejarlos en una forma sólida. Dependiendo del clima (temperatura solar, intensidad de lluvia, humedad de los suelos, etc.) el periodo de secado puede variar de 3 a 6 meses (Romero, 2010).

2.3. Marco normativo y criterios de calidad

La agricultura requiere mayor cantidad de agua que otros usos, como el doméstico o el industrial; sin embargo, para el uso de aguas residuales debe considerarse aspectos de calidad con el fin de evitar riesgos a la salud pública, principalmente en lo que se refiere a sus características microbiológicas.

Ésta es considerada la principal razón para el establecimiento de guías y regulaciones para el reúso seguro de estas aguas en diferentes aplicaciones (Metcalf & Eddy, 2003).

Para la calidad microbiológica de las aguas residuales para irrigación de cultivos, se tiene en cuenta las directrices propuestas por la OMS en cuanto al reúso y se basan en tres criterios importantes; cantidad de coliformes fecales, parásitos e indicadores de la presencia de patógenos como virus, bacterias, protozoos y huevos de helmintos, siendo este último el parámetro más importante en cuanto al riesgo que puede producir en la salud pública por lo que su valor permisible es de mínimo un huevo por cada litro de AR, como se observa en la tabla 8 (OMS, 1989).

Tabla 9. Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las AR empleadas en agricultura.

Categoría	Condiciones de aprovechamiento	Grupo expuesto	Nemátodos intestinales (Medida aritmética de huevos por litro)	Coliformes Fecales (Medida geométrica por 100 ml)	Tratamiento requerido (para lograr la calidad microbiológica exigida)
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte, parques públicos.	Trabajadores, consumidores, público	$\leq 0,1$	1000	Serie de estanques de estabilización que permiten lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente
B	Riego de cultivos de cereales, industriales y forrajeros, praderas y árboles.	Agricultores sin niños < 15 años Agricultores con niños	≤ 1 RIEGO ASPERSIÓN ≤ 1 RIEGO POR SURCOS $\leq 0,1$ CUALQUIER TIPO RIEGO	$\leq 10^5$ $\leq 10^3$ $\leq 10^3$	Retención en estanques de estabilización por 8 a 10 días o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales
C	Riego localizado en la categoría B, cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos.	Ninguno	No aplica		Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego, pero no menos que sedimentación primaria

Fuente: OMS 1989.

Sin embargo, los valores de las directrices dadas en la tabla 8, se deben interpretar con cuidado y de ser necesario, modificar según los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales de cada lugar. Se puede justificar mayor precaución donde hay grupos muy expuestos que son más susceptibles a la infección que la población en general, por ejemplo, las personas carentes de inmunidad a las infecciones endémicas locales (OMS, 1989).

DBO, demanda bioquímica de oxígeno; SS, sólidos suspendidos; UNT, unidades nefelométricas de turbidez; RAS, relación adsorción/sodio; NMP, número más probable. *Coliformes fecales NMP/100 mL: media geométrica de más de 10 muestras por mes; ninguna muestra debe ser mayor de 200 NMP/100 mL.

La FAO (1999) por su parte también ha establecido criterios de calidad en cuanto a los parámetros fisicoquímicos con los que deben cumplir las aguas residuales reutilizadas en la agricultura, teniendo en cuenta la restricción de uso en tres niveles; el potencial que se define con las características fisicoquímicas del agua, la conductividad eléctrica y el RAS, como se muestra en la tabla 9 (Silva *et al.*, 2008).

Los criterios de la tabla 9, se deben interpretar de la siguiente manera: cuando las aguas tienen valores menores o iguales a “ninguno”, en su grado de restricción de uso, no hay peligro de que los cultivos o el suelo presenten problemas. Cuando el grado de restricción de uso es “moderado”, debe considerarse la selección del cultivo y optar un buen manejo del mismo para que se logre alcanzar el máximo potencial de rendimiento y si es “severo” indica problemas en el suelo, en el cultivo y por ende se produce una reducción en el rendimiento de este, lo que significa que se deben implementar planes de control eficaces que permitan el mejoramiento de la calidad del agua y poder generar así rendimientos admisibles (Ayers & Wescot, 1987).

En la tabla 10, se muestra una guía sugerida por la FAO (1999) para aguas utilizadas en la agricultura y los tratamientos requeridos.

Por otra parte La Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (EPA) clasificó el reúso en ocho categorías, de acuerdo con la calidad del agua: urbano, áreas de acceso restringido, agrícola para cultivos consumidos crudos y para cultivos no consumidos crudos, recreacional, industrial, recarga de acuíferos y reúso indirecto potable (Silva *et. al.*, 2008). También se puede establecer según la OMS 1989, que los criterios de calidad para la irrigación con aguas residuales en la agricultura dependen también del tipo de cultivo: cuando el reúso agrícola se realiza en cultivos que se consumen crudos y no se procesan comercialmente, como es el caso de las hortalizas frescas, el riego es restringido; cuando se aplica en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente, como es el caso del tomate enlatado, y en cultivos que no se consumen por el hombre, como pastos, el riego es no restringido. En Colombia los criterios de Calidad para el reúso de AR, se rigen por la Resolución 1207 del 25 de julio de 2014 “Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas”. En esta resolución se determinaron los siguientes usos agrícolas estipulados en el artículo 6°:

Artículo 6°. De los usos establecidos para agua residual tratada. Las aguas residuales tratadas se podrán utilizar en los siguientes usos:

Tabla 10. Directrices para interpretar la calidad de las aguas de riego.

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción de uso			
		Ninguno	Moderado	Severo	
Salinidad (Afecta la disponibilidad de agua para el cultivo)					
Conductividad eléctrica	dS.m ⁽⁻¹⁾	<0,7	0,7-3,0	>3,0	
Solidos Suspendidos Totales	mg.L ⁽⁻¹⁾	<450	450-2000	>2000	
Infiltración (evaluar usando a la vez CE y RAS)					
Relación adsorción/ sodio (RAS)	0-3	dS.m ⁽⁻¹⁾	>0,7	0,7-0,2	<0,2
	3-6	dS.m ⁽⁻¹⁾	>1,2	1,2-0,3	<0,3
	6-12	dS.m ⁽⁻¹⁾	>1,9	1,9-0,5	<0,5
	12-20	dS.m ⁽⁻¹⁾	<2,9	2,9-1,3	<1,3
	20-40	dS.m ⁽⁻¹⁾	<5,0	5,0-2,9	<2,9
Toxicidad de iones específicos (afecta cultivos sensibles)					
Sodio (Na)					
Riego por superficie	RAS	<3	3-9	>9	
Riego por aspersión	meqL ⁽⁻¹⁾	<3	>3	>10	
Cloro (Cl)					
Riego por superficie	meqL ⁽⁻¹⁾	<4	4-10	<10	
Riego por aspersión	meqL ⁽⁻¹⁾	<3	>3		
Boro (B)	mg.L ⁽⁻¹⁾	<0,7	0,7-3	>3	
Varios (afectan cultivos sensibles)					
Nitrógeno (N-NO ₃) *	mg.L ⁽⁻¹⁾	<5	5-30	>30	
Bicarbonato (HCO ₃)					
Aspersión foliar únicamente	mg.L ⁽⁻¹⁾	<1,6	1,5-8,6	>8,6	
pH	Rango normal 6,5-8,4				

Fuente: Ayers y Wescot, 1987, citado por Silva, Torres y Madera, 2008. * NO₃-N es el nitrógeno en forma de nitrato, expresado en términos de nitrógeno elemental (en el caso de aguas residuales, incluir el N-NH₄ y el N orgánico).

Tabla 11. Guías sugeridas para aguas tratadas en el reúso agrícola y sus requerimientos de tratamiento.

Tipos de reúso agrícola	Calidad del agua residual	Opción de tratamiento
Reúso agrícola en cultivos que se consumen y no se procesan comercialmente	pH 6,5-8,4 DBO<10mg.L-1 <2 UNT <14 NMP coli fecal/100 mL* <1 huevos/L (nematodos intestinales)	Secundario desinfección Filtración
reúso agrícola en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente	pH 6,5-8,4 <30 mg.L-1 DBO <30 mg.L-1 SS <200 NMP coli fecal/100 MI	Secundario desinfección
reúso agrícola en cultivos que no se consumen	pH 6,5-8,4 <30 mg.L-1 DBO <30 mg.L-1 SS <200 NMP coli fecal/100 mL	Secundario desinfección

Fuente: FAO, 1999. Citada por Silva *et al*, 2008.

*Cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes.

*Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.

*Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos.

*Áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento.

*Jardines en áreas no domiciliarias.

Por otro lado los criterios de calidad con los que deben cumplir las aguas tratadas se estipularon en el artículo 7°, de la siguiente manera (ver tabla 11):

Tabla 12. Criterios de calidad para el reúso agrícola.

Variable	Unidad de Medida	Valor Límite Máximo Permisible
Físicos		
pH	Unidades de pH	6,0 – 9,0
Conductividad	µS/cm	1.500,00
Microbiológicos		
formas termotolerantes	NMP/100 mL	1,0*E(+5)
Enterococos fecales	NMP/100 mL	1,0*E(2)
Helminthos parásitos humanos	Huevos y Larvas/L	1
Protozoos parásitos humanos	Quistes/L	1
Salmonella sp	NMP/100 mL	1
Químicos		
Fenoles totales	mg/L	1,5
Hidrocarburos Totales	mg/L	1
Iones		
Amonio libre	mg CN-/L	0,2
Cloruros	mg Cl-/L	300
Fluoruros	mg F-/L	1
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	500
Metales		
Aluminio	mg Al/L	5
Berilio	mg Be/L	0,1
Cadmio	mg Cd/L	0,01
Cinc	mg Zn/L	3
Cobalto	mg Co/L	0,05
Cobre	mg Cu/L	1
Cromo	mg Cr/L	0,1
Hierro	mg Fe/L	5
Mercurio	mg Hg/L	0,002
Litio	mg Li/L	2,5
Manganeso	mg Mn/L	0,2
Molibdeno	mg Mo/L	0,07
Níquel	mg Ni/L	0,2
Plomo	mg Pb/L	5
Sodio	mg Na/L	200

Continuación **Tabla 13.** Criterios de calidad para el reúso agrícola.

Variable	Unidad de Medida	Valor Límite Máximo Permisible
Vanadio	mg V/L	0,1
Metaloides		
Arsénico	mg As/L	0,1
Boro	mg B/L	0,4
No Metales		
Elenio	mg Se/L	0,02
Otros Metales		
Cloro Total Residual (con mínimo 30 minutos de contacto)	mg Cl ₂ /L	Menor a 1,0
Nitratos (NO ₃ --N)	mg/L	5

Fuente: Resolución 1207 de 2014.

Artículo 7°. Criterios de calidad. El uso de agua residual tratada deberá cumplir previamente los siguientes criterios de calidad:

1. Uso agrícola

*Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal.

*Cultivos no alimenticios para humanos o animales.

*Cultivos de fibras celulósicas y derivados.

Cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes.

*Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.

*Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos.

Por último en el artículo 8° se establecen distancias mínimas de retiro para el desarrollo del reúso de las aguas residuales, expresadas en la tabla 11.

Artículo 8°. Distancias mínimas de retiro para el desarrollo del reúso. Además de cumplir con los criterios de calidad para el reúso, se debe cumplir con las siguientes distancias mínimas de retiro al momento de efectuar la actividad de reúso (ver tabla 12).

2.2.Reutilización en riego

El reúso de aguas residuales, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, se ha incrementado en los últimos años. Este hecho se asocia principalmente a problemas de escasez de agua. El reúso de aguas residuales se presenta como un recurso hídrico disponible para combatir la escasez de agua y juega un papel importante en la planificación y gestión integrada del recurso

hídrico, debido a que aumenta la conservación del agua y propende por un mejor uso eficiente y sostenible de esta (Manga *et. al.*, 2001).

Las aplicaciones más frecuentes del reúso de aguas residuales se hacen en riego de cultivos, bosques, jardines, campos de golf, en el reabastecimiento del agua subterránea, entre otros (Manga *et. al.*, 2001).

Tabla 14. Distancias mínimas de retiro para el desarrollo del reúso.

Uso Agrícola	Distancia mínima (metros)
<p>Cultivos de pastos y Forrajes para consumo Animal.</p> <p>Cultivos no alimenticios para humanos o animales.</p> <p>Cultivos de fibras celulósicas y derivados.</p> <p>Cultivos Obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes.</p> <p>Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.</p> <p>Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos Físicos o químicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 90 metros medidos desde la línea de mareas máximas o la del cauce permanente de todo cuerpo de agua superficial hasta el perímetro de las áreas de aplicación. • 90 metros de radio medidos desde los pozos y aljibes de agua subterránea hasta el perímetro de las áreas de aplicación. • 30 metros de radio medidos desde cada punto de aplicación en aquellas áreas con acceso de personal, si el riego es realizado por aspersión durante el lapso de tiempo que dure esta actividad.
<p>Ornato y mantenimiento de áreas verdes en parques y campos deportivos.</p> <p>Jardines en áreas no domiciliarias.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 15 metros medidos desde la línea de mareas máximas o la del cauce permanente de todo cuerpo de agua superficial hasta el perímetro de las áreas de aplicación. • 15 metros de radio medidos desde los pozos y aljibes de agua subterránea hasta el perímetro de las áreas de aplicación. • 30 metros de radio medidos desde cada punto de aplicación en aquellas áreas con acceso al público, si el riego es realizado por aspersión, durante el lapso de tiempo que este se esté realizando

Fuente: Resolución 1207 de 2014.

En la reutilización de aguas residuales, el factor que normalmente determina el grado de tratamiento necesario y el nivel de confianza deseado de los procesos y operaciones de tratamiento suele ser el uso para el que se destina el agua; en el caso del reúso agrícola, depende también de la permeabilidad y otras características del suelo y del tipo de cultivo (Gutiérrez, 2003). Las prácticas actuales de uso de aguas residuales en países en desarrollo incluyen comúnmente el uso de aguas residuales diluidas, aunque por lo general no documentada, que implica grandes riesgos para la salud de la población consumidora de productos alimenticios crudos regados con esta agua (Silva, Torres & Madera, 2008).

La influencia relativa que el uso del agua residual puede tener en la selección de un cultivo depende de los objetivos establecidos tanto por el usuario como por proyectistas de la planta de tratamiento de agua residual y los propietarios del agua residual. Si el objetivo principal que se persigue es obtener un cultivo rentable en el mayor número posible de hectáreas, y si la calidad del agua satisface los correspondientes criterios agronómicos, la reutilización de agua no tendrá gran influencia en la selección del tipo de cultivo. Por el contrario, cuando la calidad del agua sea un factor limitante, o cuando existan otros objetivos prioritarios, tales como el vertido de agua residual para regar puede ser una circunstancia determinante en el proceso de selección de las especies vegetales (Mujeriego, 1990).

Otro factor que también puede influir en el proceso de selección de un cultivo es el contenido de sales y de Boro, un contenido elevado de sales o de boro, tanto en el suelo como en el agua de riego, puede influir en el proceso de selección de las especies vegetales. El efecto más importante de la salinidad sobre los cultivos es una reducción del proceso de absorción de agua por las raíces de las plantas para absorber el agua que necesitan. Si el agua contenida en el suelo es demasiado salina, las plantas terminarán por ponerse oscuras y morirán como consecuencia normalmente de una deficiencia extrema de humedad y no por el efecto tóxico de la salinidad (Mujeriego, 1990).

Las especies vegetales difieren notablemente entre sí con respecto a su capacidad para tolerar concentraciones excesivas del boro. El boro en el agua es tóxico para determinadas especies vegetales a concentraciones muy bajas, próximas a 1mg/l. en zonas donde el boro presente en suelo o en el agua de riego alcanza valores excesivos, las especies tolerantes pueden crecer satisfactoriamente mientras que las especies más sensibles puede perecer (Mujeriego, 1990).

Otro factor que se debe tener en cuenta para el reúso de aguas residuales es la tolerancia que tienen algunos cultivos al contenido de micro y macro nutrientes y la absorción de agua, según Valencia, 1998: Algunos cultivos, como forrajes perennes, turbas, ciertas especies arbóreas y cultivos, como el maíz, el sorgo y la cebada, requieren una elevada capacidad de asimilación de nutrientes, alto consumo de agua, elevada tolerancia a la humedad del suelo, baja sensibilidad a los constituyentes del agua residual y mínima necesidad de control. Otros cultivos, como leguminosas, la mayoría de cultivos de campo (algodón y cereales) y algunos frutales, como cítricos, manzanos y uvas, no requieren agua en exceso, favoreciendo el reúso de las aguas residuales.

En cuanto a la selección de un apropiado sistema de riego, ésta depende de la calidad del agua residual, el cultivo, la tradición, la formación, habilidad, destreza de los agricultores para manejar los diferentes métodos y el riesgo potencial para la salud de los agricultores, público y el medio ambiente (FAO, 2003).

Según Gradex, 1996, En Colombia se utilizan aguas residuales crudas o parcialmente tratadas de origen doméstico, pecuario (cría de vacunos y cerdos, especialmente) e inclusive industrial y agroindustrial para el riego de cultivos. En la Sabana de Bogotá, en el distrito de riego y drenaje de la Ramada, se riegan 3.500 ha de cultivos de hortalizas, flores y pastos con un caudal de 1,5 m³ de agua bombeada del río Bogotá, que pasan a través de humedales naturales como forma de tratamiento (Silva *et al*, 2008).

En Ibagué se evaluó la viabilidad de una propuesta para el uso productivo de las aguas residuales. Los cultivos dentro del plan agrícola de reúso serían: arroz, sorgo, pastos, soya, y algodón. La tecnología de tratamiento de aguas residuales seleccionada fue lagunas facultativas con tratamiento preliminar y primario. El total de aguas residuales para tratar fue de 1.438,66 L·s⁻¹. Los principales impactos negativos serían los riesgos para la salud, por el uso indirecto e inseguro de aguas residuales diluidas (Cepis, 2003). Valencia (1998) y Madera *et al.* (2003) compararon las características de los efluentes de tres sistemas de tratamiento de la estación de transferencia de investigación de Ginebra (Valle): UASB-laguna facultativa, UASB-laguna duckweed y laguna de estabilización, encontrando que no hay diferencias significativas en la calidad microbiológica y parasitológica de los tres efluentes, aptos sólo para uso restringido, según la OMS, y que no representan riesgo potencial de toxicidad para los cultivos por sus bajos contenidos de Cl, Na y B (Silva, Torres y Madera, 2008).

2.3.Características del cultivo de pasto estrella

El pasto estrella africana (*Cynodon Plectostachius*) es una de estas especies, que tanto por sus características de adaptación como nutricionales, es muy utilizada en los sistemas ganaderos de leche (Elizondo J., 2008).

Este pasto se usa ampliamente en América Latina, gracias a sus características de productividad, facilidad de establecimiento y persistencia al pastoreo. Se caracteriza por ser una planta perenne, con habito de crecimiento erecto (0,50 a 0,75 m de altura) y estolonífero que cubre rápidamente el suelo (Elizondo J., 2008).

2.3.1. Adaptación

Es un forraje productivo en un amplio rango de ambientes y tipos de suelos. Se desarrolla bien en climas cálidos y secos con precipitaciones mínimas anuales de 500 a 750 mm y se adapta desde el nivel del mar hasta los 2.000 m.s.n.m. Resiste bien los suelos con diversos grados de acidez, pero su pH óptimo se encuentra entre 5,5 y 6,0. Limita su productividad a zonas donde las temperaturas

no bajen de -5°C . Las temperaturas altas inhiben su crecimiento, a no ser que exista un suministro adecuado de humedad y no tolera excesos de agua por periodos superiores a los 5 días. Tiene una baja tolerancia al sobrepastoreo continuo y requiere periodos de descanso que varían entre los 21 y 42 días. Es recomendable que bajo un sistema de pastoreo rotacional continuo, se mantenga la altura del material remanente entre 15 y 25 cm. El periodo de descanso puede extenderse en épocas de crecimiento lento y puede acortarse, en periodos de crecimiento rápido, siempre y cuando se mantenga la altura del material remanente (Elizondo J., 2008).

2.3.2. Fertilización

Generalmente los suelos para áreas de pastura en Honduras son pobres en N, P, K, es por eso que es importante la aplicación de fertilizantes. Con lo que se obtendrán mayores rendimientos en la producción de forraje, producción de leche y producción de carne. Se deben realizar los análisis de suelo para saber cuánto fertilizante utilizar, en general se recomiendan 100-250 kg de N, 30-50 kg de P y 150-300 kg de K por hectárea (Guerra & Lagos, 2014).

2.3.3. Rendimiento

El pasto Estrella tiene altos rendimientos lo cual lo valora como un forraje de alta calidad, si tiene el manejo adecuado puede producir de 25-30 Tm MS/ha/año y su valor nutritivo va depender del manejo, en general el pasto estrella puede alcanzar un nivel de proteína cruda de 10-15% y un porcentaje de digestibilidad de 55-68% (Guerra & Lagos, 2014).

3. METODOLOGIA

La metodología está basada en el artículo propuesto por los ingenieros Eduardo Valencia, Renso Alfredo Aragón y Jonathan Romero de la Universidad Surcolombiana, enfocados en el potencial de reutilización del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Nátaga en un cultivo de cacao (*Theobroma cacao l.*) realizado en el año 2012 como proyecto de grado.

3.1. Localización

El municipio de Timaná se encuentra a 466 Km de Bogotá D.C, en el valle montañoso del Magdalena, subregión que corresponde a las estribaciones de las Cordillera Central y Occidental, sur del departamento del Huila a 166 km de la ciudad de Neiva, tiene una extensión de 182.5 Kilómetros cuadrados, a una altura de 1100 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media de 24 °C. De los 182.5 kilómetros cuadrados de su extensión total, el 89.9% corresponde a clima medio, situados entre los 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura de 17 °C a 23°C. Los 20 kilómetros cuadrados restantes corresponden al clima frío, situado entre los 2000 y 3000 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura de 11 °C a 15 °C. (Plan de desarrollo de Timaná, 2016).

3.2. Revisión de literatura

Se consultó bibliografía sobre reutilización de aguas residuales con fines de riego, calidad de aguas para riego, eficiencias de la PTAR, precauciones y recomendaciones para el riego con aguas residuales, requerimientos hídricos y fertilización del cultivo de pasto estrella.

3.3. Reconocimiento del área de estudio

Se identificó, reconoció y analizó el área de estudio por medio de visitas de campo a la planta de tratamiento de agua residuales del municipio de Timaná y sus alrededores.

3.4. Adquisición y análisis de información climatológica

Se realizó la recopilación de los datos climatológicos proporcionados por la estación El Grifo ubicada en el municipio de Altamira, teniendo en cuenta que esta es la estación que posee información completa (temperatura, precipitación, velocidad del viento, humedad relativa, evaporación, etc.) de los datos climatológicos de la zona, y la estación climatológica más cercana al municipio de Timaná, de igual forma se tuvo en cuenta que los dos municipios tienen una altura sobre el nivel del mar muy similar.

Se elaboró el balance hídrico del cultivo de Pasto Estrella (*Cynodon plectostachius*) para la zona de estudio con los datos de precipitación efectiva, evapotranspiración y Kc del cultivo, calculando de esta manera la demanda neta de riego y por ende la necesidad hídrica del cultivo

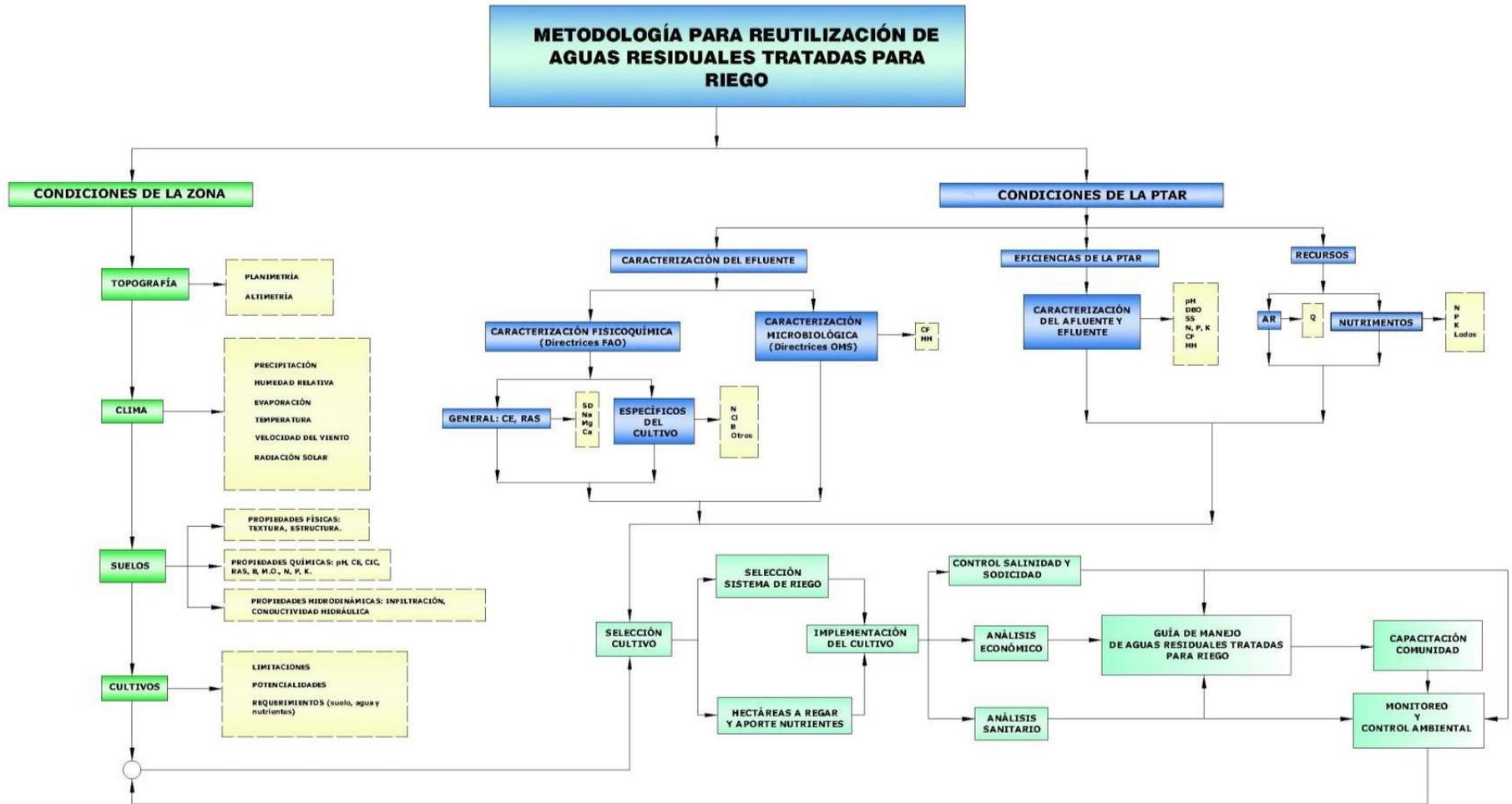


Figura 1. Esquema metodológico para reutilización de aguas residuales en riego.

Fuente: Valencia E., Aragón R., Romro J. (2010)

3.5. Muestreo y análisis de suelo

Se tomaron muestras del suelo en la zona donde está ubicado el cultivo de Pasto Estrella (*Cynodon plectostachius*) para el análisis fisicoquímico (pH, capacidad de intercambio cationes, materia orgánica, fósforo, calcio, magnesio sodio, bases totales, textura, densidad aparente, densidad real, humedad, fracción mineral, entre otros). Adicionalmente se hicieron pruebas de infiltración y densidad aparente para establecer las características físicas del suelo.

3.6. Descripción de la PTAR

La recolección de información correspondiente al diseño y monitoreo de la PTAR de Timaná, se obtuvo de las visitas realizadas a la planta, de igual manera se consultó información sobre las unidades operativas del sistema de la Planta de tratamiento, la población, los caudales y el destino final del efluente, información proporcionada por parte del operario Gerardo Puentes. Así como también se realizaron visitas a las entidades públicas Aguas del Huila y Empresas Públicas del municipio de Timaná para conocer los planos arquitectónicos e información general correspondiente a la PTAR.

3.7. Evaluación de la PTAR

Se tomaron diferentes muestras de aguas residuales para el análisis de los parámetros requeridos en el estudio, tales como DQO, DBO, SS, A y G, CF, CT, N, P, K, entre otros. Se realizó una evaluación real de la eficiencia de la PTAR, que permitió la caracterización del efluente y su clasificación como agua para riego, de acuerdo a las directrices de la FAO y de la OMS.

3.8. Potencial de reutilización del efluente de la PTAR de Timaná para riego de pasto estrella

Para hallar el potencial de reutilización de la PTAR, se calculó el aporte hídrico para el riego del cultivo de pasto estrella (*Cynodon plectostachius*) y se logró establecer de esta manera la cantidad de hectáreas que se pueden regar con el efluente. También se investigó el requerimiento nutricional del cultivo, para conocer el aporte nutricional del efluente.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Localización

El municipio de Timaná se encuentra a 466 Km de Bogotá D.C, en el valle montañoso del Magdalena, subregión que corresponde a las estribaciones de las cordillera central y occidental, sur del departamento del Huila a 166 km de la ciudad de Neiva, tiene una extensión de 182.5 Kilómetros cuadrados, a una altura de 1100 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media de 24 °C. De los 182.5 kilómetros cuadrados de su extensión total, el 89.9% corresponde a clima medio, situados entre los 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura de 17 °C a 23°C. Los 20 kilómetros cuadrados restantes corresponden al clima frío, situado entre los 2000 y 3000 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura de 11 °C a 15 °C. (Plan de desarrollo de Timaná, 2016).

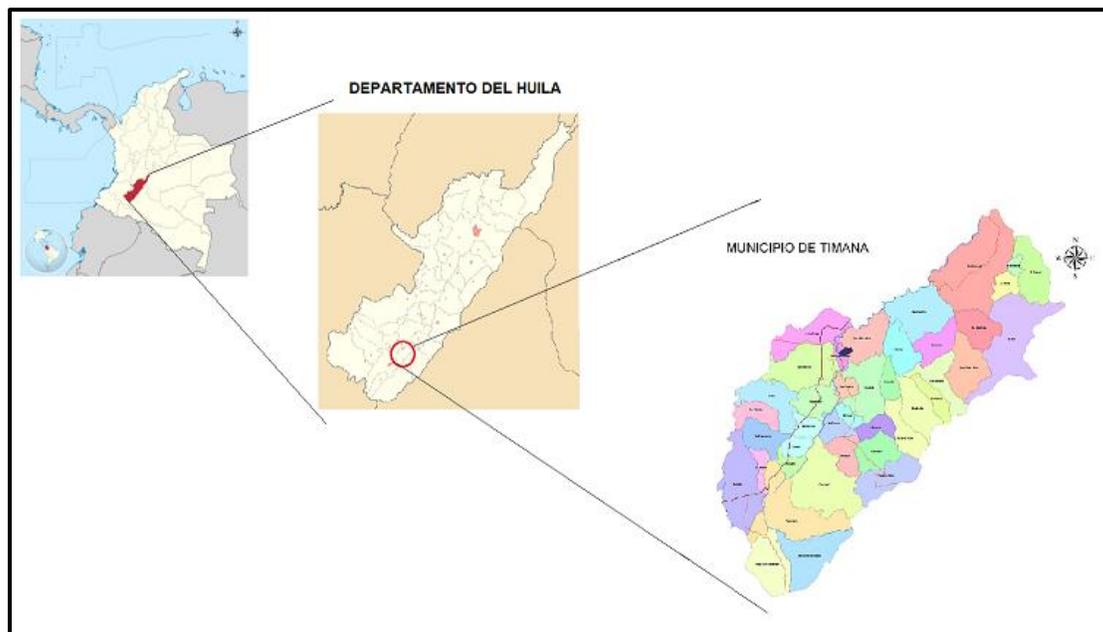


Figura 2. Localización de Timaná.

4.1.1. Población

Las proyecciones Municipales según DANE, reporta para el año 2016 una población para el Municipio de Timaná de 20.350 personas, representando el 1,8% de la Población total estimada para el Departamento del Huila. El Municipio de Timaná, presenta y proyecta un leve crecimiento de su población, el cual entre el periodo 2005 y 2015 fue de 1,47%, y el estimado para el periodo 2016-2019 es del 0,56%

La población del Municipio para el año 2016 está distribuida de la siguiente manera: en la cabecera 7378 habitantes, que corresponde a 36% y el restante 12.972 personas en la zona rural, correspondiente al 64% (Plan de desarrollo de Timaná, 2016).

4.1.2. Climatología

El municipio de Timaná, ubicado en el departamento del Huila, con una altura cercana a los 1060 msnm, está compuesto por cuatro tipos distintos de clima: el Medio muy Húmedo transicional al clima Medio y Seco (MH-MS), este clima de transición del Medio Húmedo al Medio Seco se presenta sobre una vasta zona territorial que abarca 5.992,4 hectáreas, que corresponde al 33% del total. Clima medio y húmedo (MMH), Es la zona más difundida en el municipio, predomina sobre 9.88 hectáreas correspondiente al 54% del área total.

Sus límites varían entre 1.000 – 2.000 metros, con temperaturas medias diarias de 18-24 °C y precipitación pluvial promedia anual de 2.000 – 4.000mm. Clima cálido seco (Csa) Este piso bioclimático abarca 1.462,36 hectáreas que corresponde al 8% del área total municipio. Dicho sector se encuentra comprendido entre 0-500 metros, con temperaturas medias 25-28 °C y precipitación promedio anual entre 1.000 – 2.000mm. Y clima frío muy húmedo (FMH) Este clima se presenta dentro de la franja altitudinal de 2.000-3.000mm, con temperaturas medias diarias 12-18°C y precipitación pluvial promedia anual de 2.000 -4.000mm (MinAmbiente y desarrollo sostenible, 2015).

4.1.3. Hidrografía

Aunque por antonomasia el eje fluvial es el río Magdalena, por la formación del relieve, el sistema hidrográfico fundamental del área estudiada es el río Timaná que baña el municipio del mismo nombre y el de Elías. Este río tiene sus fuentes de origen en la serranía de San Isidro (al este del valle de Timaná), al sur de la cabecera municipal, siendo la dirección de su curso sureste-noreste y desemboca en el río Magdalena en el sitio conocido como Pericongo, latitud hasta la que se prolonga la serranía de La Ceja.

Sus afluentes principales por su margen derecha (Serranía de San Isidro) son las quebradas El Bosque (La Vega), El Hueco (Palmicha), Los cauchos, Camenzo-La Turbia y Cicana. Por su margen izquierda (Serranía de La Ceja). Las quebradas La Colorada, Tobo, Mansito (Mansijo), Raspacanillas y Olicual.

Del río Magdalena son tributarias las quebradas Calenturas, Oritoguaz, Perez y quebradaseca. Unas pocas desciende de las serranía en dirección sur como las quebradas Mortiñal y Las Pitás, afluentes de la quebrada Regueros a su vez tributaria del río Guarapas en el valle de Laboyos. (Sanchez, 1991).

4.1.4. Suelos

✓ Suelos de Crestas, Crestones y Flatirones

Se han originado a partir de materiales arcillosos y pizarras, el relieve sobresaliente es fuertemente inclinado a moderadamente escarpado con pendientes que varían entre 12 - 75%, presentan Suelos profundos bien drenados, de textura franco arcillosa y baja fertilidad.

En Timaná encontramos las siguientes fases:

- ✓ MQGd: Se ubica sobre el sector de las veredas: Criollo Paquies, Pantanos.
- ✓ MQGf2: Se ubica sobre un pequeño sector de Lomalarga.
- ✓ MQGe: Localizada en la vereda de Pantanos.

Abarcan una extensión de 1.490 hectáreas equivalentes al 8 % del área Municipal total.

✓ Suelos de Colinas y Lomas

Son suelos originados a partir de rocas ígneas y metamórficas como granodioritas, riolitas, andesitas y neises, además de rocas sedimentarias se presenta en los climas medios húmedos sobre áreas inclinadas de las montañas entre 12 - 50% de pendiente, son suelos profundos, drenados, de baja fertilidad y muy ácidos.

En Timaná encontramos las siguientes fases:

MQHd: Ubicada sobre los sectores en las veredas: Sicandé, El Tejar, La Pencua.

MQHe2: Esta fase se ubica sobre las veredas: Las Mercedes, Sicandé, San Calixto, Mantagua, San Marcos Lomalarga, y sector de Mateo Rico.

MQHe: Está ubicada sobre sectores veredales de: Cascajal, la Piragua, La Pencua, Sicandé, Sabaneta, Aguas Claras, Quinche, San Isidro, Santafé, San Antonio, Cosanza, Juan Martín y la Minchala.

Se extiende sobre 6.802 hectáreas que corresponden al 37% del Municipio de Timaná. (EOT Timaná, 2015).

✓ Suelos de Vallecito Coluvio - Aluvial

Son suelos formados a partir de sedimentos coluvio aluviales. Se presenta en el clima medio húmedo, sobre relieve plano o moderadamente inclinada, son superficiales a moderadamente profundos de baja fertilidad.

En Timaná encontramos la fase MQMa, se extiende sobre 1.176 hectáreas del territorio timanense, que equivale al 6%.

Está constituido principalmente por arcillas limosas de baja compresibilidad, arenas limosas y arenas gravillosas mal graduadas, la permeabilidad varía de baja a media en el perfil, en algunos sitios principalmente sobre los valles aluviales, los materiales predominantes son gravas arenosas, lo cual hace que en esta unidad probablemente, se puedan localizar fuentes de materiales, se ubica sobre los sectores de las siguientes veredas: Santa Bárbara, Pantanos, Cascajal, Mantagua, San Calixto, Lomalarga, Las Mercedes, Juan Martín, Naranjal. (EOT Timaná, 2015).

4.1.5. Servicios públicos

✓ Recoleccion, manejo y disposicion de residuos solidos

En la cabecera municipal la cobertura alcanza un nivel del 99,22% del total de 1641 posible usuarios, según las estadísticas solo 13 demandantes no cuenta con el servicio de los cuales 7 (0,44%) disponen de las basuras mediante quema de las mismas y 6 (0,34%) se libran de las mismas mediante formas no explícitas que en consecuencia se suponen contaminantes.

Por su parte, en el sector rural se presenta una carencia en torno al manejo de residuos sólidos, ya que, según el reporte del DANE solo el 4,72% (141 usuarios) reciben cubrimiento del servicio, en consecuencia el nivel porcentual de usuarios que disponen de las basuras mediante enterramiento o quema de las mismas es de 61,59%; el porcentaje restante 33,69% las arrojan a zanjas, lotes, fuentes hídricas o en su defecto las elimina de formas totalmente contaminantes al medio ambiente. (MinAmbiente y desarrollo sostenible, 2015).

✓ Abastecimiento de agua

Empresas Públicas de Timaná “ESP TIMANÁ S.A. E.S.P”, es el ente encargado de asegurar la eficiente prestación de este servicio dentro de su área de operación, para lo cual requiere hacerse cargo de la operación, mantenimiento, reposición y expansión de cada uno de los componentes de su sistema, es decir de la fuente abastecedora, la captación, la línea de aducción, la línea de conducción, la planta de tratamiento, el almacenamiento, las redes de distribución y la comercialización del servicio de acueducto.

El servicio de acueducto lo presta el Municipio por intermedio Empresas Públicas de Timaná “EPM TIMANÁ S.A. E.S.P.”. La Secretaria de Salud Departamental le otorga a la Empresa prestadora del servicio de acueducto la aprobación de la calidad del agua para el consumo humano, después de haber realizado las pruebas físico-químicas y bacteriológicas del agua que la empresa entrega para consumo dentro de los parámetros exigidos en el decreto 475 de 1998 del ministerio de salud. (Plan de desarrollo de Timaná, 2016).

Tabla 15. Abastecimiento de agua del municipio de Timaná.

ACUEDUCTO					
URBANO		RURAL			
PORCENTAJE DE COBERTURA	IRCA 2013	NUMERO DE VEREDAS	PORCENTAJE DE COBERTURA	NUMERO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO PTAP	NUMERO DE VEREDAS CON COBERTURA DE TRATAMIENTO
100%	0,22%	39	70%	5	6

Fuente: Aguas del Huila.

Tabla 16. Abastecimiento de agua del municipio de Timaná.

PLANTA DE AGUA POTABLE – PTAP	
ACUEDUCTO	VEREDAS BENEFICIADAS
CASCO URBANO	CASCO URBANO
EL TOBO	EL TOBO
LOMALARGA	LOMALARGA
SANTA BARBARA	SANTA BARBARA
ALTO SANTA	ALTO SANTA BARBARA
REGIONAL CASCAJAL	CASCAJAL, CRIOLLO

Fuente: Aguas del Huila.

✓ **Alcantarillado**

El servicio de alcantarillado es otro servicio que es responsabilidad de Empresas Públicas de TIMANÁ “EMP TIMANÁ S.A. E.S.P.” del Municipio.

La cobertura del servicio de Alcantarillado alcanza el 94%, no obstante en época de invierno se presentan problemas por rebosamiento de las alcantarillas ya que el sistema es mixto. Los residuos generados en el sector urbano del municipio se vierten a la alcantarilla y posteriormente llega a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

El sistema de alcantarillado del municipio de Timaná, está compuesto por redes de recolección de aguas residuales del municipio y una planta de tratamiento de aguas residuales, el sistema no posee en su composición topológica estaciones de bombeo de aguas residuales.

Según el reporte de resultados del modelo, es fácil verificar que los tramos no poseen inconvenientes de capacidad hidráulica, a pesar de haber simulado el sistema con un coeficiente lo suficientemente alto en lo que respecta a conexiones erradas (1 L/s ha), estos resultados contrastan con la realidad, dado que en la operación del sistema, nunca se han reportado reboses en los pozos, por efectos de capacidad en cuanto a caudales sanitarios y/o pluviales.

Estos resultados de favorabilidad en la capacidad del sistema, se debe a las altas pendientes que se presentan en el municipio, las cuales en promedio fueron del 6,80%, con valores máximos del 46,00% y mínimas de 0,283%, los diámetros, además, como se aprecia en el informe de catastro oscilan entre 8” y 12”.

En cuanto al análisis de los Aportes de Conexiones Erradas el municipio de Timaná, según la empresa de servicios públicos posee una problemática severa asociada a los aportes excesivos de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, convirtiéndose este en un sistema combinado, con altos aportes de aguas lluvias. Este problema se debe a la ubicación geográfica del municipio, el cual se encuentra en un punto de convergencia de la cuenca de la cordillera oriental en su última zona de entrega al Rio TIMANÁ, convirtiéndose así el municipio en un sitio obligado de tránsito de las corrientes acumuladas del drenaje natural.

La formulación de la solución a la problemática del municipio, debe considerar interceptores transversales por las carreras 2 y 3, además deben pretender aprovechar la capacidad de transporte de los zanjones y finalmente antes de verter al Rio Timaná, se deben proyectar estructuras de desarenador y cribado, con el objeto de evitar impactos por efectos de sedimentación, colmatación y contaminación por sólidos. (Plan de desarrollo de Timaná, 2016)

4.2. Análisis de la información climatológica

Para la caracterización del clima se seleccionó la estación climatológica del municipio de Altamira El Grifo, debido a que cuenta con registros completos del clima y además se encuentra a la misma altura sobre el nivel del mar del municipio de Timaná. El análisis climatológico se hizo para diez años (2005-2015), ya que la estación no cuenta con datos de evaporación antes del 2005. La información climatológica para el estudio corresponde a datos diarios del periodo antes mencionado.

4.2.1. Precipitación

La información pluviométrica de la estación Altamira El Grifo, es cercana a la zona de influencia, cuya zona presenta un régimen de lluvias bimodal. La Figura 3 muestra la distribución temporal de la lluvia.

Tabla 17. Precipitación media mensual multianual.

PRECIPITACION (mm)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
ESTACION EL GRIFO	70	99.2	126.5	111	133	107

Fuente: IDEAM.

Continuación tabla 15. Precipitación media mensual multianual.

PRECIPITACION (mm)	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
ESTACION EL GRIFO	78.5	63.3	50.1	135.1	133	144.

Fuente: IDEAM.

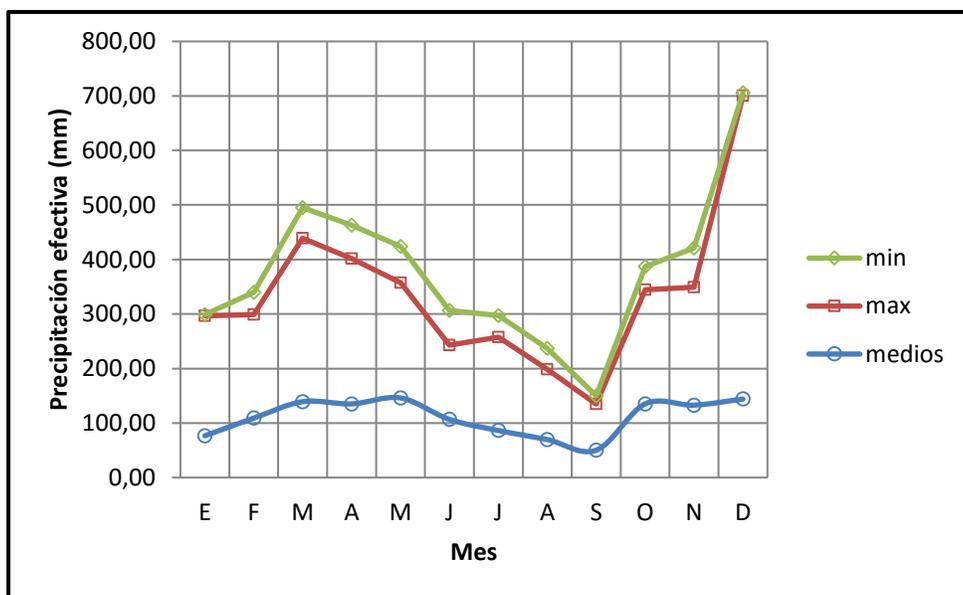


Figura 3. Precipitación media, máxima y mínima mensual (2005-2015).

La precipitación es el parámetro del clima más importante ya que gobierna los procesos del ciclo hidrológico y actúa como regulador de la naturaleza y del uso del suelo.

La precipitación es una variable definitiva en este proyecto para establecer la relación que existe entre el régimen climatológico y el ciclo hidrológico a nivel local. La Tabla 15 muestra los valores mensuales multianuales para el periodo de registro de 10 años.

4.2.2. Temperatura

La variación de la temperatura está directamente relacionada con el gradiente altitudinal, ya que el trópico se caracteriza por la relativa uniformidad de la temperatura en cada sitio durante el año. Las principales diferencias en la temperatura están condicionadas por la presión barométrica y las variaciones se dan prácticamente durante el día y la noche.

La temperatura media mensual multianual para el periodo de registro de 10 años del área de estudio, varía ligeramente durante el año entre 18,1 y 22 °C con un valor medio de 20,05 °C. El mes con menor temperatura media es julio con 18,1 °C. Con base en la información de la estación El Grifo, las temperaturas máximas se registran en los meses de enero, febrero y marzo con valores

de 22 °C, 21,50 °C y 21.2 °C respectivamente, y las temperaturas mínimas ocurren en el mes de julio con 18,1 °C. La temperatura media mensual oscila 1 °C (Figura 4, Tabla 16).

Tabla 18. Temperatura media, máxima y mínima mensual multianual.

TEMPERATURA (°C)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Media	22	21.50	21	21	21	20.05
Máxima	23	23.2	22	21.7	21.1	20.7
Mínima	20.5	20.6	20.2	19.8	19.9	19.4

TEMPERATURA (°C)	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media	18.1	20.4	21	21.15	21	21.05
Máxima	20.5	21	22	22.5	21.9	22.4
Mínima	19.4	19.6	20.4	20.4	19.9	20.4

Fuente: IDEAM.

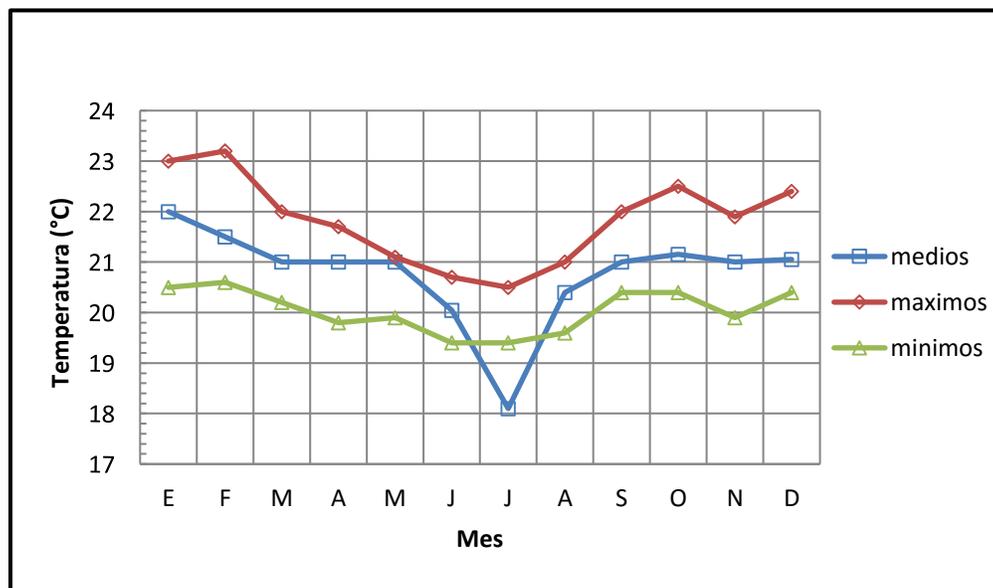


Figura 4. Temperatura media, máxima y mínima mensual multianual (2005-2015).

4.2.3. Humedad Relativa

La humedad del aire es un factor que define en parte las condiciones del clima y de ella depende que el ambiente contenga aire en condición húmeda o seca, de cierta forma afectada por el cielo nublado o despejado y finalmente se origine la condensación del vapor para formar la lluvia. En la Tabla 17 y la Figura 5, se presenta para la zona de estudio, los valores de Humedad relativa media, máxima y mínima mensual multianual, para el período comprendido de 10 años.

Según los registros de la Estación climatológica seleccionada, el mayor valor de Humedad Relativa se presenta en mes de mayo, con un máximo de 81%, media 83,9% y mínima 72%. Los meses con menor pluviometría presentan a su vez los menores niveles de humedad relativa (agosto y septiembre).

Tabla 19. Humedad Relativa media, máxima y mínima mensual multianual.

HUMEDAD RELATIVA (%)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Media	72.4	67.7	69.9	69.3	83.9	77.0
Máxima	82.3	78	81.3	80.3	81	80.3
Mínima	63.3	65.3	72	72	72	72

HUMEDAD RELATIVA (%)	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media	76.7	66.7	58.7	74.3	78.2	70.3
Máxima	80.3	89.3	76.3	77.3	86.3	82
Mínima	73.3	66.3	68	68	73.3	70.3

Fuente: IDEAM.

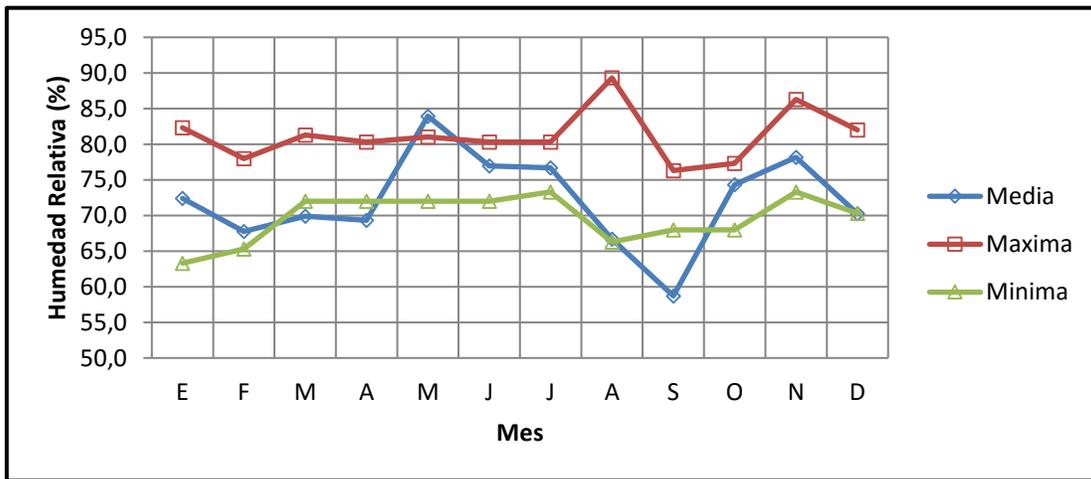


Figura 5. Humedad Relativa máxima, media y mínima mensual (2005-2015).

4.2.4. Brillo Solar

El Brillo Solar está estrechamente relacionado con las variables intensidad de radiación solar, temperatura y nubosidad.

El mayor número de horas de brillo solar mensual multianual ocurre en el mes de enero con 153,9 horas, los más bajos en los meses de marzo y abril durante el primer periodo de lluvias del año con valores de 96,9 y 97,8 horas respectivamente (Tabla 18 y Figura 6).

Tabla 20. Brillo solar medio, máximo y mínimo mensual multianual.

Brillo Solar (horas)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Media	153,9	109,7	96,9	97,8	119,7	114,8
Máxima	226,5	189,1	133,2	146,2	151,0	158,5
Mínima	115,5	88,0	90,5	91,6	83,7	102,0

Brillo Solar (horas)	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media	114,3	109,4	145,0	128,2	126,6	140,9
Máxima	152,8	166,5	191,4	163,6	175,0	189,7
Mínima	127,0	103,9	120,3	125,0	88,6	130,5

Fuente: IDEAM.

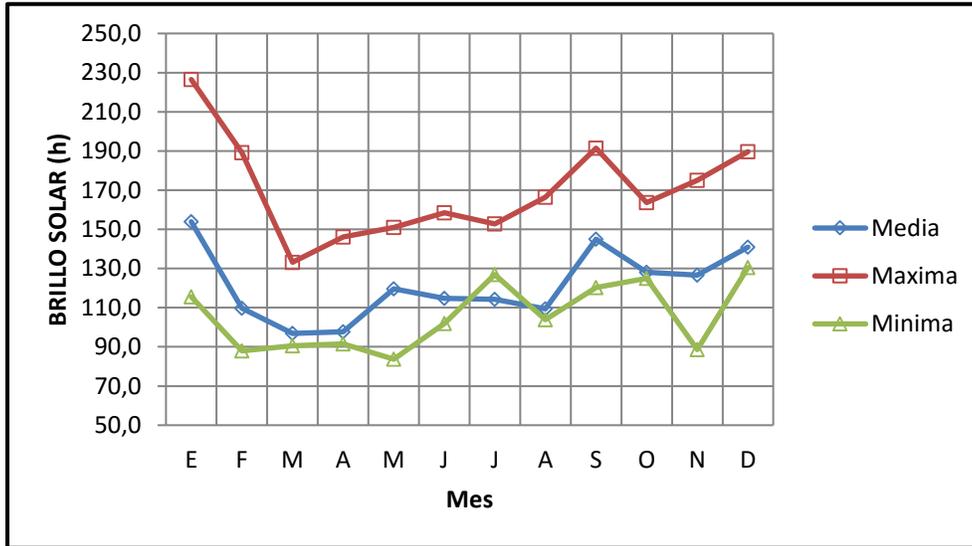


Figura 6. Brillo solar medio, máximo y mínimo mensual multianual (2005-2015).

4.2.5. Evaporación

Se entiende por evapotranspiración, la combinación de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación o sea la evaporación biológica, esta depende de las variables precipitación, temperatura, humedad relativa y brillo solar.

En el área del proyecto, la mayor evaporación media ocurre en el mes de septiembre con un valor de 102,9 mm y en el mes de febrero se presenta la menor evaporación con un valor de 87,9 mm (Tabla 19 y Figura 7).

Tabla 21. Evaporación media, máxima y mínima mensual multianual.

Evaporación (mm)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Medios	96.3	87.9	101.4	88.5	91.3	100.7
Máximos	122.2	93.2	154.3	102.9	101.5	122.4
Mínimos	82.1	83.1	64	61	75.9	97.5

Evaporación (mm)	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
medios	94.7	92.4	102.9	100.8	88.6	90.8
máximos	105.6	115	117.8	115.3	121.9	91.8
mínimos	81	61.1	90.7	80	73.7	88.7

Fuente: IDEAM.

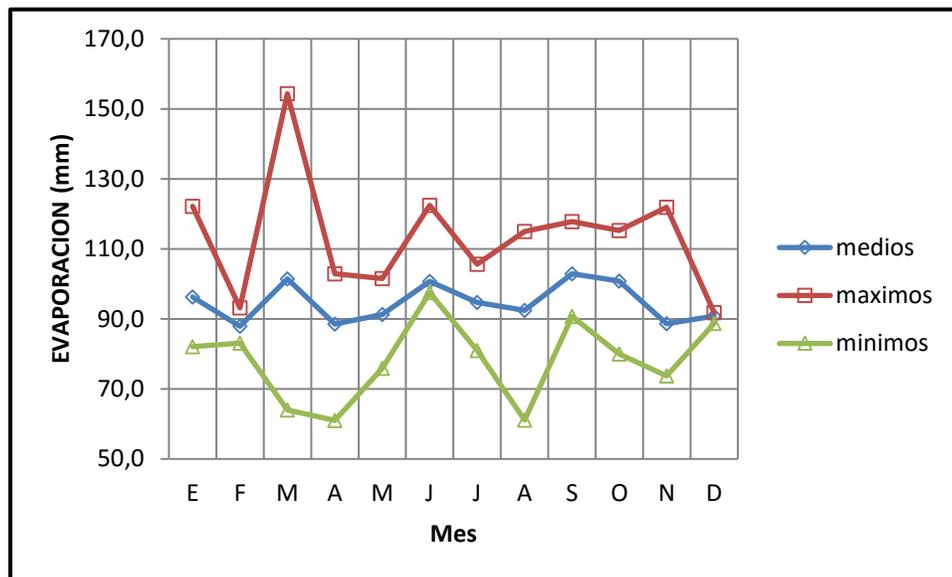


Figura 7. Evaporación media, máxima y mínima mensual multianual (2005-2015).

4.3. Análisis de suelos

4.3.1. Propiedades químicas

Según los resultados del análisis químico de laboratorio (ver anexo 4) se puede establecer que el suelo de la zona de influencia presenta un pH de 8.5, lo que quiere decir que es un suelo fuertemente alcalino. Esto indica que bajo estas condiciones se reduce considerablemente la solubilidad de varios nutrientes con excepción del molibdeno y por ende la disponibilidad de los nutrientes se ve seriamente comprometida (Lora, 2003), por esta razón, se recomienda incorporar materia orgánica, como el compost, estiércol seco, humus, entre otros. Este tipo de materia

orgánica cuenta con efectos acidificantes y se pueden complementar con el uso de sulfato de aluminio para acelerar el proceso de acidificación del suelo en pocas horas.

La capacidad de intercambio de cationes (CIC) es una propiedad del suelo importante para la retención e intercambio de nutrientes y está estrechamente relacionada con el contenido de materia orgánica del suelo; si este es bajo, la CIC también lo será (Lora, 2003). Según el análisis de suelos la CIC para la zona de estudio es baja, por lo que se recomienda aumentar el contenido de materia orgánica con el uso de abonos orgánicos que permitan mejorar el rendimiento del cultivo de Pasto Estrella (*Cynodon Plectostachius*).

Los elementos esenciales son requeridos por las plantas para cumplir de manera satisfactoria los procesos metabólicos que tienen que ver con su crecimiento, desarrollo y producción. Los elementos esenciales se dividen en dos grupos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, C y O) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, Cl, B, Mo y Ni), la clasificación de estos se da por el grado de concentración y esencialidad en las funciones fisiológicas prioritarias para el desarrollo y crecimiento de las plantas (Castro & Gómez, 2013).

Cuando las plantas presentan deficiencias de elementos esenciales se pueden presentar varios problemas en el cultivo de pasto estrella, como la muerte del mismo en plántula, debido a deficiencias muy agudas, enanismo severo en plantas que requieren mayor contenido nutricional, también se puede presentar madurez retardada o anormal, reducción apreciable de los rendimientos con o sin síntomas visuales en las hojas. De igual manera se puede ver afectado el desarrollo radicular de las gramíneas, causado específicamente por el déficit de fósforo en las plantas (Bernal & Espinoza, 2003).

Según el análisis de suelos se encontró deficiencia de azufre y un contenido medio de Cinc, estas deficiencias pueden suplirse con el aporte de abonos orgánicos con los que cuenta el efluente de la PTAR y mejorar así el rendimiento del cultivo de pasto estrella.

La cantidad de nitrógeno con la que cuenta el suelo no se encuentra en el análisis de manera específica, por lo que se calculó del contenido de materia orgánica, con el procedimiento propuesto por el profesor de suelos de la Universidad Surcolombiana, Yony Arley Chávez (Chávez, Y., comunicación personal, 18 de mayo de 2008), de la siguiente manera:

$$\checkmark N_{total} \% = M.O. * 0,5$$

Donde:

$N_{total} \% = \text{Nitrógeno total en porcentaje}$
 $M.O. = \text{Materia orgánica}$

Reemplazando la formula se obtiene lo siguiente:

$$N_{total} \% = 2,54 * 0,5$$

$$N_{total} \% = 0,132$$

$$\checkmark N_{disp. \%} = N_{total} \% * \text{tasa de mineralización}$$

Donde:

$$N_{disp. \%} = \text{Nitrógeno disponible en porcentaje}$$

Para el cálculo del nitrógeno disponible en porcentaje se hizo necesario establecer el valor de la tasa de mineralización, teniendo en cuenta la altura del área donde se encuentra localizado el cultivo de pasto estrella. Según castro (1998), la tasa de mineralización cuenta con tres rangos (ver tabla 20).

Tabla 20. Rangos para determinar la tasa de mineralización.

CLIMA	ALTURA (m.s.n.m)	PORCENTAJE	DECIMAL
Cálido	<1000	2,5	0,025
Medio	1000-2000	2	0,02
Frio	2000-3000	1,5	0.015

La altura del predio donde se encuentra ubicado el cultivo es de aproximadamente 1050 m.s.n.m., altura que se encuentra en el rango de clima medio, por lo que se tomó el valor de 2% para la tasa de mineralización de esta zona y se reemplazó en la formula mencionada anteriormente de la siguiente manera:

$$N_{disp. \%} = 0,132 * 0,02$$

$$N_{disp. \%} = 0,00264$$

Posteriormente se procedió a calcular las partes por millón de nitrógeno disponible en la zona, así:

$$N_{disp.} = N_{disp. \%} * 10.000$$

Donde:

$$N_{disp.} = \text{Nitrógeno disponible partes por millón}$$

$$Ndisp = 0,00264 * 10.000$$

$$Ndisp = 26,4$$

Por último, se calculó la cantidad de nitrógeno en gramos y kilogramos con la que cuenta el suelo de la zona de estudio, de la siguiente manera:

$$Ndisp.g = Ndisp.ppm * \text{millón de partes}$$

Donde:

$$Ndisp.g = \text{Nitrógeno disponible en gramos}$$

Para el cálculo de la cantidad de nitrógeno en gramos primero se determinó el peso de la capa arable que equivale a millón de partes en la formula, así:

$$Pca = Vca * DA$$

$$Pca = \text{Peso de la capa arable}$$

$$Vca = \text{Volumen de la capa arable}$$

$$DA = \text{Densidad aparente}$$

✓ Cálculo del volumen de la capa arable:

$$Vca = L * L * Pr$$

Donde:

$$Vca = \text{Volumen de la capa arable}$$

$$L = \text{Lado}$$

$$Pr = \text{Profundidad radicular}$$

$$Vca = 10.000cm * 10.000cm * 15 cm$$

$$Vca = 1.500.000.000 cm^3$$

✓ Cálculo del peso de la capa arable:

$$Pca = 1.500.000.000 cm^3 * 1,71 g/cm^3$$

$$Pca = 2.550.000.000 g$$

✓ cálculo la cantidad de nitrógeno en gramos y kilogramos:

$$N_{disp. g} = 26,4 * 2.550 g$$

$$N_{disp. g} = 67.320 g/ha$$

$$N_{disp. g} = 67,32 kg/ha$$

Según el análisis de suelos y los cálculos anteriormente realizados se pudo establecer que la zona de estudio cuenta con una cantidad de nitrógeno de 67,32 kg por hectárea, lo que indica que se presenta un déficit de este nutriente, debido a que el requerimiento de nitrógeno del cultivo de pasto estrella es de 230 kg/ha, por lo que se recomienda suplir los 162,68 kg/ha, con el efluente de la PTAR el cual produce 490 kg/ha nitrógeno. En cuanto al fósforo (P), se determinó que el suelo cuenta con 103,3 kg/ha, por lo que se puede establecer que suple el valor requerido por el cultivo (53 kg/ha) y para el potasio se pudo observar que este presenta déficit debido a que el suelo cuenta con una cantidad de 12,34 kg/ha y el cultivo requiere 252 kg/ha, por lo que se recomienda al igual que con el nitrógeno, que este déficit sea suplido por el efluente de la PTAR el cual produce 190,29.

La textura del suelo se determina según la proporción relativa de las partículas minerales, para las cuales el diámetro promedio de las partículas es inferior a 2mm. La parte solida está compuesta por las arenas, los limos y las arcillas (Valenzuela & Torrente). El análisis químico de laboratorio indica que el suelo tiene una textura franco arcillo arenoso (FAa), determinada con el método de Bouyucos. Este tipo de suelos tienen una capacidad de retención de humedad media, drenaje deficiente, una retención de nutrientes media, aireación media, menor contenido de materia orgánica baja capacidad de intercambio de cationes y facilidad media de laboreo.

4.3.2. Propiedades físicas

Según los resultados del análisis físicos de laboratorio (ver anexo 4), la densidad aparente es una propiedad física del suelo de gran importancia porque permite conocer el espacio poroso, transformar la humedad gravimétrica y estimar el coeficiente de expansión lineal (COEL); en fertilidad se utiliza para calcular la masa de la capa arable y en riesgo para hallar la lámina de agua (Valenzuela & Torrente). Para la zona de estudio, según los análisis de laboratorio (ver anexo 4) se tiene una densidad aparente de 1,71 g/cm³, lo que indica que es un suelo compactado y esto puede presentarse debido a que son suelos utilizados para el pastoreo y por el constante pisoteo de los rumiantes se produce la compactación.

La Capacidad de Campo (CC) es la cantidad máxima de agua que un suelo puede almacenar, bajo condiciones de humedecimiento total y drenaje libre o gravitacional y el Punto de Marchitez Permanente (PMP); es el estado en el que el agua es retenida por el suelo con fuerza superior a la de las plantas (Valenzuela & Torrente). Según el análisis físico de laboratorio la CC y PMP de la zona de estudio corresponde a 36,09% y 18,04% respectivamente.

4.4. Planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Timaná

El municipio de Timaná cuenta con una PTAR, la cual se encuentra ubicada en las coordenadas N 01°59'12,64", E 75°55'49,5", cuya cobertura es del 100% de la población del casco urbano y recibe un vertimiento de 24 L/s; la obra que fue ejecutada por la Sociedad de Acueducto, Aseo y Alcantarillado, tuvo aportes del Gobierno Departamental y de la Corporación del Alto Magdalena, CAM y la construcción fue realizada por Aguas del Huila en el año 2009. El esquema general de la PTAR, se puede observar en la Figura 8 y está conformada por las siguientes unidades:

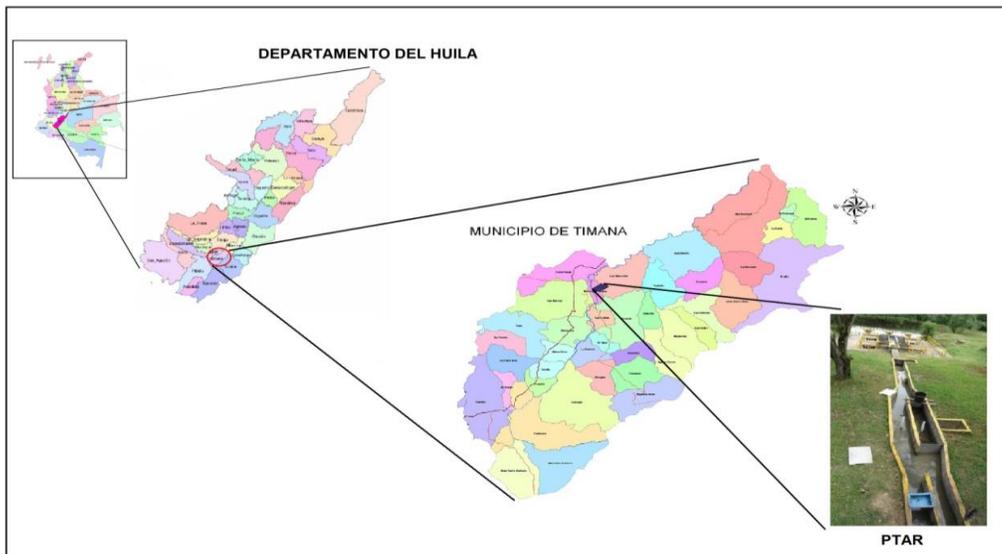


Figura 8. Localización de la PTAR.

La PTAR Timaná está compuesta por:

- ✓ Tratamiento preliminar y primario: El agua ingresa a la PTAR por una tubería de 22 pulgadas de diámetro, continúa por una sección que tiene un aliviadero y este a su vez tiene dos compuertas que se utilizan para cerrar el paso del agua cuando se requiere hacer el mantenimiento de los desarenadores. Luego se encuentran ubicadas dos rejillas en paralelo en la zona de cribado con sus respectivos escurridores para residuos pesados, posteriormente se localizan dos desarenadores en paralelo y la canaleta Parshall, que es la encargada de aforar el caudal que entra a la PTAR. Por último, se encuentra ubicado un aliviadero, luego pasa hacia el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) tratamiento secundario.



Figura 9. Tratamiento preliminar y primario.

- ✓ Tratamiento secundario: El agua residual ingresa por una trampa grasas y un canal de distribución a los cuatro tanques RAFA-MC (Reactor de Flujo Ascendente y Mezcla Completa UASB) descendiendo por medio de cuatro tubos a cada uno de los tanques, tubería de 6 pulgadas de diámetro conducida hacia el fondo y posteriormente es distribuida por una tubería en cruz perforada; el agua se transporta alternadamente en cada tanque y al momento de su ingreso genera un vórtice permitiendo la mezcla completa de la misma con los lodos en el reactor (ver anexo 4).



Figura 10. Trampa grasas, Canal de Distribución y RAFA.

Posteriormente el efluente sale por la parte superior conduciéndose a los filtros anaerobios y los lodos que se decantaron en el proceso son evacuados por la parte inferior de los tanques y enviados a cuatro lechos de secado que se encuentran al final de la PTAR. El tratamiento secundario se complementa con cuatro Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA) de 27.000 litros cada uno, los cuales contienen lechos filtrantes como sunchos y tarros guadua de aproximadamente 40 cm. El agua ingresa a los filtros por la parte inferior pasando por los lechos filtrantes, conduciéndose hasta la parte superior y posteriormente sale por cuatro tubos de 6 pulgadas de diámetro, los cuales conducen el efluente a una cajilla de inspección. Finalmente el efluente es descargado directamente al río Timanejo.



Figura 11. Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA).



Figura 12. RAFA Y FAFA.



Figura 13. Lecho de secado de lodos.

Respecto a la operación de la PTAR, el operario Gerardo Puentes, informo que en la parte inicial recibe un mantenimiento continuo y diario, el desarenador se hace en tiempo de verano cada mes y en tiempo de invierno cada quince días, al reactor y filtros trimestralmente.

Tabla 221. Mantenimiento de los componentes de la PTAR.

Componente	Mantenimiento
Canal de aproximación	Una vez al mes en tiempo de verano y en tiempo de invierno cada 15 días, debido a que se presenta mayor arrastre de material de playa.
Rejillas	Limpieza diaria de material grueso.
Desarenador	Una vez al mes en tiempo de verano y en tiempo de invierno cada 15 días, debido a que se presenta mayor arrastre de material de playa.
canaleta Parshall	Una vez al mes en tiempo de verano y en tiempo de invierno cada 15 días por el mayor arrastre de material de playa; La limpieza se realiza en conjunto con el desarenador.
RAFA	El mantenimiento de los tanques se realiza de 2 a 3 meses. El indicador para saber cuándo se debe hacer el mantenimiento de los tanques, es una llave que se encuentra en la parte inferior de cada uno de ellos; cuando esta se inspecciona y arroja lodo, indica que requieren mantenimiento.
FAFA	Se realiza de 2 a 3 meses junto con el mantenimiento de los RAFA.
Lecho de lodos	Una vez al mes cuando se observa que el material está seco.
Zonas verdes	Cada mes en tiempo de verano y cada 15 días en tiempo de invierno.

Fuente: Gerardo Puentes, 2017

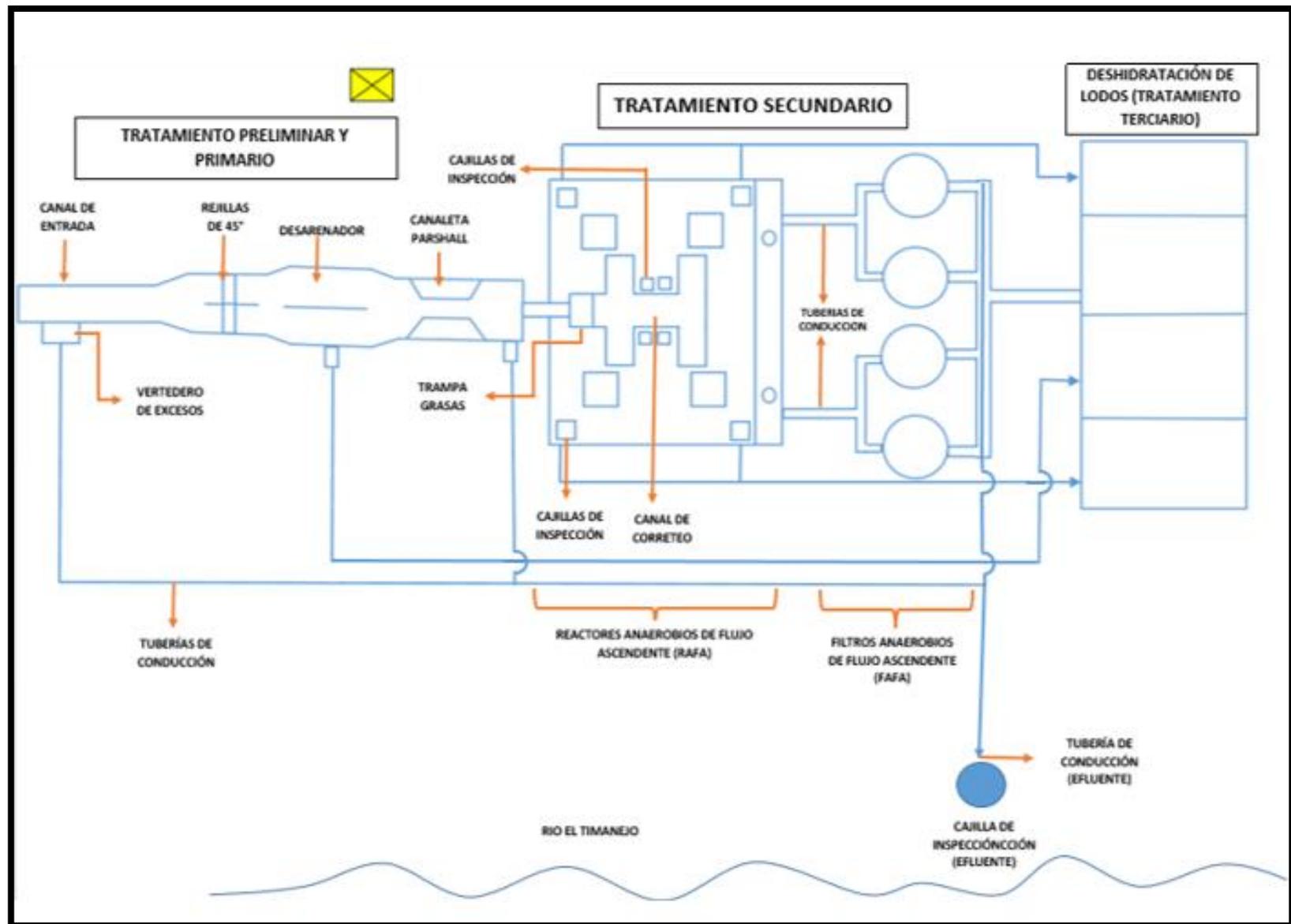


Figura 14. Esquema general de la PTAR del municipio de Timaná.

4.5. Evaluación de la PTAR

4.5.1. Caracterización del Afluyente

Resultados de la caracterización de las AR de la PTAR del municipio de Timaná Huila.

Tabla 22. Caracterización del Afluyente PTAR Timaná.

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR
SD*	mg/L	375
SS*	mg/L	160
DBO ₅	mg/L	150,68
DQO	mg/L	240
N	mg/L	15,5
P	mg/L	4,7
K	mg/L	13,7
CT	NMP/100ML	2,4x10 ⁶
CF	NMP/100ML	2,4x10 ⁶
HH**	NMP/100ML	21

Fuente: Análisis de agua, *Metcalf & Eddy, **Valencia, 1998.

La tabla 22 presenta los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluyente que fueron requeridos en el presente estudio, estos fueron proporcionados por El Laboratorio Diagnosticamos y Construcsuelos suministros LTDA (ver Tabla 21 y Anexo 4).

Los parámetros microbiológicos CT y CF utilizados en la presente investigación fueron tomados de los análisis de laboratorio proporcionados por Diagnosticamos y Construcsuelos suministros LTDA y el parámetro de HH se tomó del trabajo de investigación de aguas residuales de Ginebra, Valle (Valencia, 1998).

4.5.2. Caracterización del Efluente

Los datos presentados en la **Tabla 23** se tomaron de los análisis realizados por empresas públicas de Timaná.

Tabla 233. Caracterización del efluente.

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR
SS	mg/L	13
DBO₅	mg/L	8,64
DQO	mg/L	22
N	mg/L	37.9
P	mg/L	9,81
K	mg/L	14,7
CE	mg/L	301,85
RAS**	-	1.5
CT	NMP/100ML	0,24x10 ⁶
CF	NMP/100ML	0,24x10 ⁶
HH**	NMP/100ML	21

Fuente: Análisis de agua laboratorio, *Valencia, 1998.

El dato del Ras no fue calculado debido a la falta de datos, por lo que se tomó de la investigación Valencia (1998).

4.5.3. Eficiencia

Se determinaron utilizando la siguiente fórmula:

$$\%Remoción = \frac{Concentración Af - Concentración Ef}{Concentración Af} * 100$$

Donde:

%Remoción: Porcentaje de remoción.

Af: Afluente

Ef: Efluente

Los datos presentados en la **Tabla 24**, se calcularon con base en los resultados de los análisis de aguas realizados por empresas públicas de Timaná.

Tabla 244. Eficiencias reales de la PTAR.

RESULTADOS AÑO 2017				
PARAMETROS	UNIDADES	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCION
DBO5	mg/L	150.68	22	85.40
DQO	mg/L	240	10	95.83
GRASAS Y ACEITES	mg/L	<10	<13	-130
FOSFORO	mg P/L	4.7	1.5	68.09
POTASIO	mg/L	13.7	14.7	-7.30
NITROGENO	mg N/L	15.5	37.9	-144.52
CONDUCTIVIDAD	µs/cm	242.7	301.85	-24.37
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	284.0	13	95.42
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	2400*10000	240*1000	99.00
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	2400*10000	240*1000	99.00

Fuente: laboratorio Diagnosticamos y Construcsuelos suministros LTDA.

4.6.Potencial reutilización del efluente en el cultivo de pasto estrella

4.6.1. Calidad del efluente como agua para riego

✓ Calidad fisicoquímica

Para determinar la calidad fisicoquímica del efluente de la PTAR de Timaná- Huila se tuvo en cuenta los siguientes parámetros: CE y RAS, cuyos valores corresponden a 0.30185 dS/m y 1.5 respectivamente. Según los parámetros antes mencionados y el Diagrama de clasificación de aguas para riego U.S. Salinity Laboratory Staff (1954), se determinó que el efluente es C2S1, lo que quiere decir que el agua es apta para riego, de buena calidad, con un peligro de salinidad medio y de alcalinidad bajo.

✓ Calidad microbiológica

Para determinar la calidad microbiológica del efluente como agua para riego, se tuvo en cuenta el valor de los CF= $0,24 \times 10^6$ NMP/100 mL y las directrices de la OMS, con base en estos aspectos se determinó que el efluente pertenece a la categoría B, siendo apto para el riego de cultivos de cereales, industriales y forrajeros, praderas y árboles.

4.6.2. Caudal del Efluente de la PTAR

Para el cálculo del caudal del efluente de diseño se tuvo en cuenta el caudal de entrada, de acuerdo al diseño hidráulico de la PTAR:

$$Q_{Diseño} = 28L/s$$

Se tomó como valor de caudal, el dato correspondiente al promedio de los aforos realizados el día 31 de 03 del 2017 (Ver **Anexo 6**). Los aforos se realizan diariamente en la canaleta Parshall.

$$Q_{AR} = 16,42 L/s$$

Para obtener el caudal futuro, se determinó la población futura y se utilizó el modelo geométrico (RAS, 2000) basado en los datos obtenidos por el DANE en los censos realizados. Definido por la siguiente ecuación:

$$P = P_A * (1 + r)^n$$

Donde:

P= población futura

PA= Población actual

r = tasa de crecimiento

n= periodo proyectado

Se proyectó la población al año 2037 reemplazando en la ecuación descrita anteriormente los datos correspondientes a la población actual que es de 7378 habitantes (PD TIMANÁ, 2016), la tasa de crecimiento de 0,56% según el PD TIMANÁ para el año 2016 y el periodo proyectado a 20 años, de la siguiente manera:

$$P = 7.378 * (1 + 0,0056)^{20}$$

$$P_{2037} = 8.250 \text{ hab}$$

También se calculó la muestra de la dotación de agua potable del municipio teniendo en cuenta el Q_{AR} de los aforos de la PTAR y la población del año 2017 (ver **Tabla 29**), mediante la siguiente fórmula:

$$Dotacion = \frac{Q_{AR}}{Poblacion * CR}$$

Donde:

Q_{AR} = Caudal de agua residual.

CR= Coeficiente de retorno.

$$Dotacion = \frac{\frac{16,47 L}{seg} * \frac{86.400seg}{1dia}}{7.419 hab * 0.8}$$

$$Dotacion = 240 \frac{L}{hab-dia}$$

El caudal de agua residual (Q_{AR}) para el año 2017 se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{AR} = P_A * Dot * 0.8$$

Donde:

P_A = Población actual

Dot= dotación

$$Q_{AR} = 7.419 \frac{had}{hab} * \frac{240L}{hab * dia} * \frac{1dia}{86.400seg} * 0.8$$

$$Q_{AR} = 16,49 L/seg$$

4.6.3. Volumen de agua de la PTAR

El volumen de agua de la PTAR se calculó teniendo en cuenta el caudal de agua residual para cada año, por medio de la siguiente ecuación:

$$V = Q_{AR} * t$$

Donde:

V= Volumen.

Q_{AR} = Caudal de agua residual.

t= Tiempo.

Muestra de cálculo para el año 2017:

$$V = 16,49 \frac{L}{seg} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{3.600seg}{1hr} * \frac{24hr}{1dia} * \left(\frac{365dia}{1año} \right)$$

$$V = 519.946 m^3/año$$

La proyección de volúmenes de agua para reutilización, se muestran en la **Tabla 29**.

4.6.4. Nutrientes aportados por el efluente

✓ Cargas Per Cápita en el Efluente

Para el cálculo del aporte de nutrientes de la PTAR se tuvieron en cuenta los resultados de los análisis de agua del efluente emitidos por el Laboratorio Diagnosticamos. Se multiplicó la dotación de agua potable (calculada en el numeral 4.5.1) por el coeficiente de retorno y por la cantidad del nutriente aportado por el efluente, así:

$$Ca_{pc} = \text{Dotación} * 0,8 * \text{Nut}_{.ef}$$

Donde:

$$Ca_{pc} = \text{Carga per cápita}$$

$\text{Nut}_{.ef}$ = Nutrientes aportados por el efluente.

Nitrógeno. Muestra de cálculo para el año 2017:

$$Ca_{pcN} = 240 \frac{\text{L}}{\text{hab} - \text{dia}} * 37,9 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1\text{gr}}{1000\text{mg}} * 0,8$$

$$Ca_{pcN} = 7,28 \frac{\text{gr}}{\text{hab} - \text{d}}$$

Fosforo. Muestra de cálculo para el año 2017:

$$Ca_{pcP} = 240 \frac{\text{L}}{\text{hab} - \text{dia}} * 1,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1\text{gr}}{1000\text{mg}} * 0,8$$

$$Ca_{pcP} = 0,29 \frac{\text{gr}}{\text{hab} - \text{dia}}$$

Potasio. Muestra de cálculo para el año 2017:

$$Ca_{pcK} = 240 \frac{\text{L}}{\text{hab} - \text{dia}} * 14,7 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1\text{gr}}{1000\text{mg}} * 0,8$$

$$Ca_{pcK} = 2,82 \frac{\text{g}}{\text{hab} - \text{dia}}$$

Tabla 255. Cargas Per cápita de Nutrientes en el Efluente.

Parámetro	CCpc (g/hab-d)
N	7,28
P	0,29
K	2,82

Los contaminantes para el ambiente N, P y K, en la reutilización se convierten en un recurso que puede suplir en parte las necesidades de nutrientes de las plantas.

✓ Cantidad de nutrientes

Se procedió a calcular la cantidad de nutrientes por año aportados por el efluente. A continuación se presenta la muestra de cálculo para el año 2017:

$$\text{cantidad N} = \text{Poblacion} * Ca_{pc}$$

Donde:

Ca_{pc} = Carga per cápita

$$\text{cantidad N} = \text{Poblacion} * Ca_{pc}$$

$$\text{cantidad N} = 7.419 \text{ hab} * 7,28 \frac{Ca_{pc} \text{ gr}}{\text{hab} - \text{dia}} * \frac{365 \text{ dia}}{1 \text{ año}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}}$$

$$\text{cantidad N} = 19.714 \text{ Kg/año}$$

$$\text{cantidad P} = \text{Poblacion} * Ca_{pc}$$

$$\text{cantidad P} = 7.419 \text{ hab} * 0,29 \frac{Ca_{pc} \text{ gr}}{\text{hab} - \text{dia}} * \frac{365 \text{ dia}}{1 \text{ año}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}}$$

$$\text{cantidad P} = 785,30 \text{ Kg/año}$$

$$\text{cantidad K} = \text{Poblacion} * Ca_{pc}$$

$$\text{cantidad K} = 7.419 \text{ hab} * 2,82 \frac{Ca_{pc} \text{ gr}}{\text{hab} - \text{dia}} * \frac{365 \text{ dia}}{1 \text{ año}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}}$$

$$\text{cantidad K} = 7.636,38 \text{ Kg/año}$$

La cantidad de nutrientes proyectado que aporta el efluente por años, se muestra en la **Tabla 28**.

✓ Cantidad de lodos

La materia seca de los lodos se puede reutilizar como abono o mejorador de suelos. Se asume que el 98% de los lodos corresponde a agua y el 2% a sólidos. La concentración de ST se tomó del promedio de los valores de la Tabla 3-16 de Metcalf & Eddy (1998), para aguas residuales domésticas de concentración débil y media.

Carga de lodos en función de los ST ($C_{a \text{ lodos ST}}$)= 0.4 kg/(kg ST) en el Afluente.

$$C_{lodos} = C_{a \text{ lodos ST}} * C_{ST}$$

$$C_{Lodos} = \text{Concentracion de lodos}$$

$$C_{a \text{ lodos ST}} = \text{carga de lodos de Solidos Totales}$$

$$C_{ST} = \text{concentracion de solidos totales}$$

$$C_{lodos} = 0,4 \frac{Kg}{Kg_{ST}} * \frac{1Kg}{10^6 mg} * 535 \frac{mg}{L}$$

$$C_{lodos} = 2,14 * 10^{-4} Kg/L$$

Muestra de cálculo para el año 2017:

$$C_{a \text{ lodos}} = Q_{AR} * C_{Lodos}$$

$$C_{a \text{ lodos}} = \text{carga de lodos.}$$

$$C_{a \text{ lodos}} = 16,49 \frac{L}{seg} * 2,14 * 10^{-4} \frac{Kg}{L} * \frac{86.400 seg}{1 dia} * \frac{365 dia}{1 año}$$

$$C_{a \text{ lodos}} = 111.286 kg/año$$

Se utiliza solo el 2% de la cantidad de lodos producidos.

$$C_{a \text{ materia seca}} = 2\% * (C_{a \text{ lodos}})$$

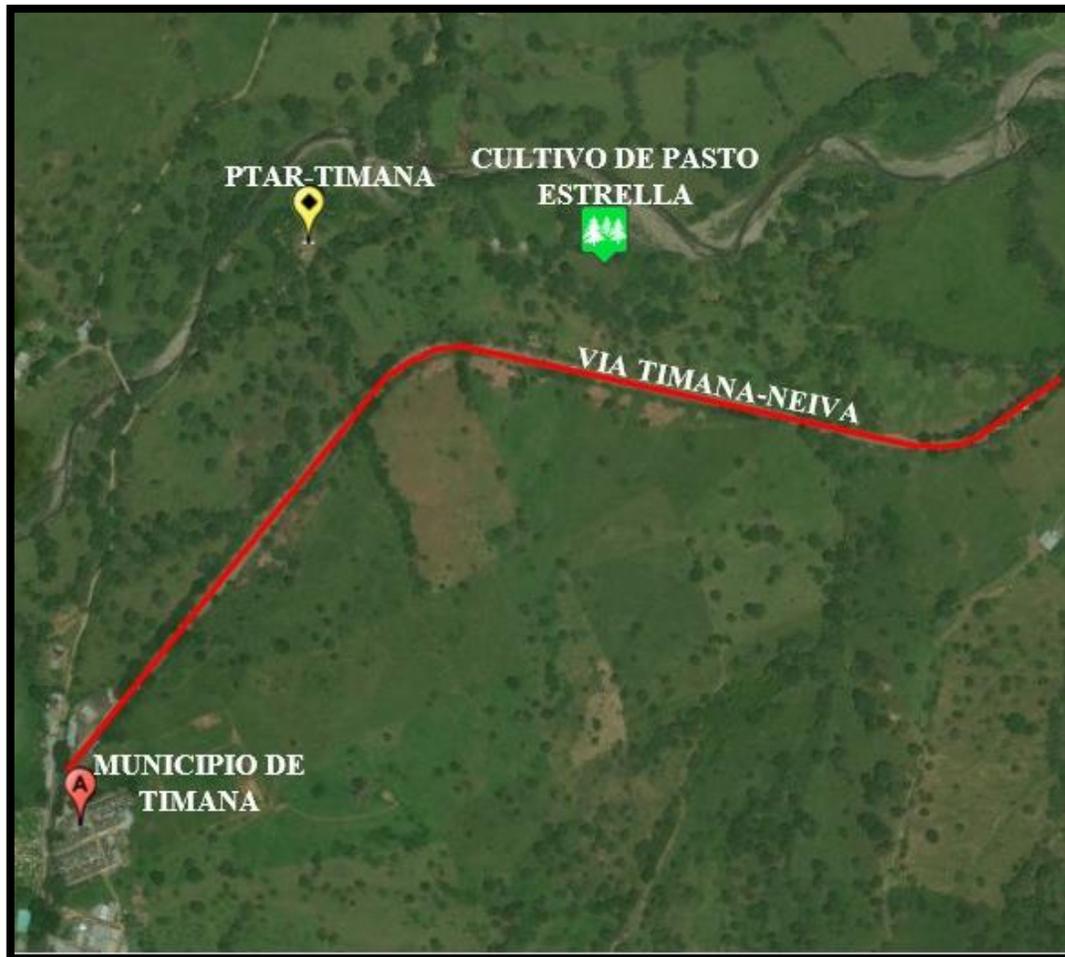
$$C_{a \text{ materia seca}} = 0.02 * (111.286 Kg/año)$$

$$C_{a \text{ materia seca}} = 2226 Kg/año$$

La proyección de materia seca de lodos por años, se muestra en la **Tabla 28**.

4.6.5. Localización del cultivo de Pasto Estrella

Se pretende reutilizar el efluente de la PTAR de Timaná en un cultivo de pasto estrella (*Cynodon Plectostachius*) el cual se encuentra ubicado aproximadamente a 300 metros de la PTAR, dicho predio tiene una extensión de 40 hectáreas (ha) aproximadamente pertenecientes a una Asociación de transportadores con vehículos de tracción animal del municipio. En la figura 14 se observa la ubicación de la Planta de Tratamiento de Timaná (Huila) y la localización del cultivo.



Fuente: SAS.planet.

Figura 15. Localización del cultivo de pasto Estrella.

4.6.6. Requerimiento nutricional para el cultivo de pasto estrella

Los nutrientes son de vital importancia para el debido desarrollo de las plantas y la producción de materia seca en cuanto al rendimiento de cultivos forrajeros, el pasto Estrella (*Cynodon Plectostachius*) por su parte pertenece a la especie *Brachiarias*, la cual cuenta con una buena adaptación en condiciones de baja fertilidad y es también es capaz de producir cierta cantidad de forraje en condiciones de acidez (Bernal & Espinoza, 2003). A continuación se muestra en la tabla 26 el requerimiento nutricional para el cultivo de Pasto Estrella.

Tabla 26. Requerimientos nutricionales del pasto estrella (*Cynodon plectostachius*).

Variedad de pasto	Producción de materia seca (Ton/ha año)	Extracción de nutrientes (Kg/ha año)		
		N	P	K
<i>Cynodon Plectostachius</i>	19	230	53	252

Fuente: Bernal & Espinoza, 2003.

$$ReN = 230 \frac{Kg}{ha - año}$$

$$ReP = 53 \frac{Kg}{ha - año}$$

$$ReK = 252 \frac{Kg}{ha - año}$$

Donde:

Re = Requerimiento nutricional

4.6.7. Requerimientos Hídricos

- ✓ Disponibilidad de Agua en el Suelo

Para diseñar un sistema de riego y efectuar recomendaciones técnicas de uso en general, es importante conocer que cantidad de agua del suelo está disponible para las plantas. El suelo es un “reservorio” que contiene cierta cantidad de agua, de la cual solo una parte está disponible para las plantas. Esta capacidad se encuentra limitada por el agua retenida entre los niveles de humedad denominadas capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) (Ramírez *et al*, 2013).

La capacidad de campo es la máxima cantidad de agua retenida por un suelo con buen drenaje y el punto de marchitez permanente es el contenido de humedad del suelo al cual las plantas no logran extraer agua para compensar sus necesidades de transpiración. Ambos permiten establecer la cantidad de agua del suelo aprovechable para las plantas (Ramírez *et. al.*, 2013).

$$LAA = \frac{(CC - PMP)}{100} * Da * Pr$$

Dónde:

LAA= Lámina de agua de agua rápidamente aprovechable (cm)

CC: Capacidad de campo (%)

PMP: Punto de marchitez permanente (%)

Da: Densidad aparente ($\frac{gr}{cm^3}$)

Pr: Profundidad radicular (cm)

$$Ln = LAA * NA$$

Dónde:

Ln=Lámina neta (mm)

NA= Nivel de agotamiento o coeficiente de riego (hasta donde se requiere estresar el cultivo, se recomienda que no sea superior al 50%).

Según el análisis fisicoquímico de suelos realizado en la Universidad Surcolombiana, para la zona de estudio, se logró establecer los parámetros necesarios para el cálculo de LAA y Ln de la siguiente manera: se toma la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente de los coeficientes de humedad del suelo asumiéndose 0,03 Mpa la capacidad de campo, lo que equivale al 36,09% y el punto de marchitez permanente es el 50% del valor de CC, lo que equivale a 18,04 (análisis físico, ver anexo 4).

$$PMP= 36,09\%$$

$$CC= 18,04\%$$

$$Da= 1,71 \frac{gr}{cm^3}$$

$$Pr= 15 \text{ cm}$$

Reemplazando en la formula los datos anteriores se obtiene lo siguiente:

$$LAA = \frac{(36,09 - 18,04)\%}{100} * 1,71 \text{ gr/cm}^3 * 15\text{cm}$$

$$LAA = 4,63 \text{ cm} \rightarrow LAA = 46,3 \text{ mm}$$

$$Ln = 46,3 \text{ mm} * 0,50$$

$$Ln = 23,15 \text{ mm}$$

$$Ln = 23,15 \text{ mm} * \frac{10\text{m}^3/\text{ha}}{1\text{mm}}$$

$$Ln = 231,5 \text{ m}^3/\text{ha}$$

✓ Demanda de riego neta

Precipitación Efectiva

Este parámetro se define como la fracción de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de agua del cultivo; quedan por tanto excluidas la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo.

Se calculó por el método del USDA Soil Conservation Service, teniendo como insumo las precipitaciones medias mensuales, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_e = P_m * \left[\frac{125 - (0,20 * P_m)}{125} \right]$$

La ecuación se cumple para $P_m < 250 \text{ mm/mes}$

P_m = Precipitación media $\left(\frac{\text{mm}}{\text{mes}}\right)$

P_e = Precipitación efectiva $\left(\frac{\text{mm}}{\text{mes}}\right)$

Muestra de cálculo para el mes de enero:

$$P_e = 76.62 \text{ mm/mes} * \left[\frac{125 - (0,20 * 76.62 \text{ mm/mes})}{125} \right]$$

$$P_e = 67.23 \text{ mm/mes}$$

Los valores de precipitación efectiva para todos los meses del año, se muestran en la Tabla 26 y se ilustran en la Figura 15.

Evapotranspiración del Cultivo

La evapotranspiración es la combinación de los fenómenos de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. Se han investigado muchos métodos para estimar el uso consuntivo y en la mayor parte de ellos, se ha encontrado una alta correlación con la evaporación de tanques evaporímetros y un factor de cultivo (k_c), que depende de la fase vegetativa (Jaramillo 2008). Dicha relación se expresa mediante la fórmula:

$$U.C = K_c * ETP$$

Donde:

U.C= Uso Consuntivo

K_c = Factor del cultivo

ETP= Evapotranspiración potencial (mm)

El coeficiente de cultivo (K_c) se tomó como 0,95 de los datos fenológicos de las gramíneas forrajeras (pastos). Esta información se tomó de la base de datos de la FAO (2006) ya que en la región no hay datos experimentales y este se mantiene constante para todos estados vegetativos del pasto estrella.

$$U.C = 0,95 * 96.3mm/mes$$

$$U.C = 91.5 mm/mes$$

Demanda de Riego Neta

Es la cantidad de agua que se debe aplicar en un riego; se calcula para cada mes, mediante la siguiente expresión:

$$DRn = Pe - U.C$$

Muestra de cálculo para el mes de Enero:

$$DRn = 67,23 \frac{mm}{mes} - 92,9 mm/mes$$

$$DRn = -25,6 mm/mes$$

Los valores de Demanda de Riego Neta para todos los meses, se encuentran en la Tabla 27.

Tabla 267. Demanda de Riego mensual multianual (2005-2015)

MESES	PRECIPITACIÓN EFECTIVA (mm/mes)	EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm/mes)	USO CONSUNTIVO (mm/mes)	DEMANDA DE RIEGO NETA (mm/mes)
ENERO	67,23	97,76	92,9	-25,6
FEBRERO	90,04	74,56	70,8	19,2
MARZO	108,18	123,44	117,3	-9,1
ABRIL	105,94	82,32	78,2	27,7
MAYO	111,90	81,2	77,1	34,8
JUNIO	88,47	97,92	93,0	-4,6
JULIO	74,39	84,48	80,3	-5,9
AGOSTO	61,90	92	87,4	-25,5
SEPTIEMBRE	46,09	94,24	89,5	-43,4
OCTUBRE	105,91	92,24	87,6	18,3
NOVIEMBRE	104,62	97,52	92,6	12,0
DICIEMBRE	110,84	73,44	69,8	41,1

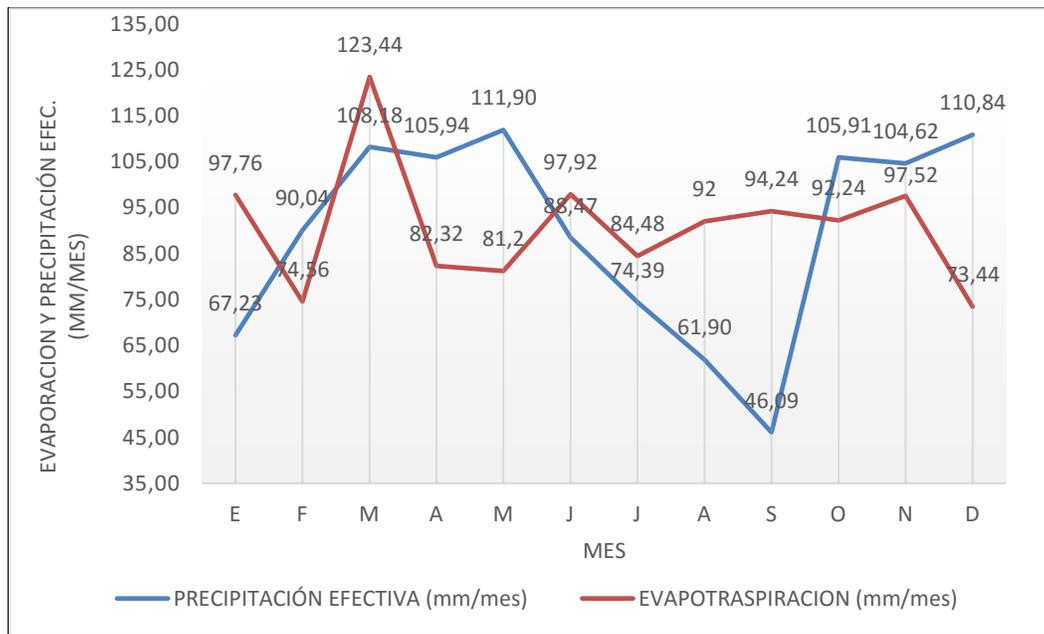


Figura 13. Balance Hídrico 2005-2015

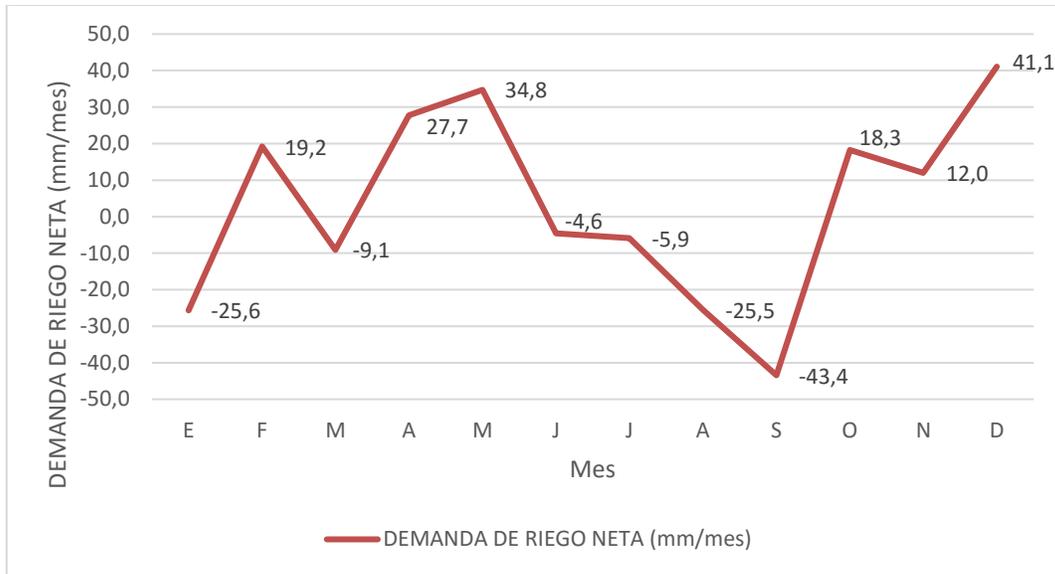


Figura 14. Demanda de Riego Neta para el cultivo de pasto estrella.

La **Figura 15** muestra, que hay déficit hídrico en el mes de enero y mayo, del mes de junio hasta el mes de octubre, siendo los meses de junio, julio, agosto y septiembre los periodos más críticos, cuyos valores de evapotranspiración y precipitación efectiva se presentan en la **Tabla 26**. En la **Figura 16** se ilustra el comportamiento de los valores de la Demanda de Riego Neta para todos los meses.

✓ Necesidad de Riego

De acuerdo con el análisis del balance hídrico, se determinó una demanda de riego neta de -25,6 y -9,1 mm para el mes de enero y marzo respectivamente y como dato representativo para el mes más crítico (verano) que es septiembre, una demanda de riego neta de -43,4 mm (ver **Tabla 27**).

Esta demanda en mm se puede expresar en unidades de caudal, para un flujo o gasto continuo, mediante la fórmula (Jaramillo, 2008):

$$QRn = \frac{0.116 * DRn * A}{30}$$

Donde:

QRn= Caudal de riego neto

DRn= Demanda de riego neto (L/s)

A= Área

Se despeja el área:

$$A = \frac{30 * QRn}{0.116 * DRn}$$

$$A = \frac{30 * 16.49}{0.116 * 43,4}$$

A = 98 has

Con un caudal de 16.49 L/s, teniendo en cuenta el mes más crítico del año, que en este caso es el mes de septiembre con un déficit de -43,4 mm, se logra regar un área de 98 has.

✓ Potencial de reutilización de nutrientes

En el potencial de reutilización de los nutrientes se hizo una comparación entre los nutrientes aportados por el efluente y los nutrientes requeridos por el cultivo, representados en la tabla 28 para el año 2017, en época de verano.

Muestras de cálculo para el Requerimiento de Nitrógeno (N), Fosforo (P) y Potasio (K), para el año 2017 en época de verano:

Requerimiento de Nitrógeno (N):

$$ReN \left(\frac{Kg}{año} \right) = ReN \left(\frac{Kg}{Ha - año} \right) * No. Has$$

Donde:

Re= requerimiento

No. Has= Número de hectáreas

$$ReN \left(\frac{Kg}{año} \right) = 230 \left(\frac{Kg}{Ha - año} \right) * 98 Has$$

$$ReN \left(\frac{Kg}{año} \right) = 22.540 Kg/año$$

El porcentaje de nutrientes suplidos por el efluente se calculó teniendo en cuenta la siguiente formula, donde el aporte del efluente en Kg/año se tomó de la **Tabla 29**:

$$\%N_{suplido} = \frac{Aporte Efluente \left(\frac{Kg}{año} \right)}{Requerimiento cultivo \left(\frac{Kg}{año} \right)} * 100$$

Muestra de cálculo para Nitrógeno en el año 2017, época de verano:

$$\%N_{suptido} = \frac{19.715 \left(\frac{Kg}{año}\right)}{22.540 \left(\frac{Kg}{año}\right)} * 100$$

$$\%N_{suptido} = 87,20 \%$$

Requerimiento de Fosforo (P):

$$ReP \left(\frac{Kg}{año}\right) = 53 \left(\frac{Kg}{Ha - año}\right) * 98,3 Has$$

$$ReP \left(\frac{Kg}{año}\right) = 5.210 Kg/año$$

Muestra de cálculo para Fosforo en el año 2017, época de verano:

$$\%P_{suptido} = \frac{785 \left(\frac{Kg}{año}\right)}{5210 \left(\frac{Kg}{año}\right)} * 100$$

$$\%P_{suptido} = 15,07 \%$$

✓ Requerimiento de Potasio (K):

$$ReK \left(\frac{Kg}{año}\right) = 252 \left(\frac{Kg}{Ha - año}\right) * 98,3 Has$$

$$ReK \left(\frac{Kg}{año}\right) = 24.772 Kg/año$$

Muestra de cálculo para Fosforo en el año 2017, época de verano:

$$\%K_{suptido} = \frac{7637 \left(\frac{Kg}{año}\right)}{24.772 \left(\frac{Kg}{año}\right)} * 100$$

$$\%K_{suptido} = 29,61 \%$$

Tabla 278. Hectáreas a regar y nutrientes aportados en época de estiaje.

Meses	Caudal neto para riego	Demanda neta de riego	Hectáreas a regar	% Nutrientes Aportados		
				N	P	K
ENERO	16,49	-25,6	167	51,33	8,87	18,15
MAYO	16,49	-9,1	469	18,28	3,16	6,46
JUNIO	16,49	-4,6	927	9,25	1,60	3,27
JULIO	16,49	-5,9	723	11,86	2,05	4,19
AGOSTO	16,49	-25,5	167	51,33	8,87	18,15
SEPTIEMBRE	16,49	-43,4	98	87,47	15,11	30,92

Tabla 289. Potencial de Reutilización del Efluente de la PTAR de Timaná.

AÑO	N° Habitantes	Dotación neta (L/hab.d)	QAR (L/s)	Vol. Agua (m³/año)	Has a regar Verano	N (Kg/año)	P (Kg/año)	K (Kg/año)	Lodos (materia seca) Kg/año
2017	7.419	240	16,49	519946	98	19715	785	7637	2.226
2018	7.461	237	16,34	515276	97	19825	790	7679	2205,5
2019	7.503	233	16,19	510538	96	19936	794	7722	2185
2020	7.545	230	16,04	505730	96	20048	799	7766	2165
2021	7.587	226	15,88	500853	95	20160	803	7809	2143
2022	7.629	223	15,73	495905	94	20273	808	7853	2123
2023	7.672	219	15,57	490886	93	20386	812	7897	2102
2024	7.715	216	15,40	485795	92	20501	817	7941	2079
2025	7.758	212	15,24	480632	91	20615	821	7986	2057
2026	7.802	209	15,07	475395	90	20731	826	8030	2034
2027	7.845	205	14,91	470085	89	20847	830	8075	2012
2028	7.889	202	14,74	464701	88	20964	835	8121	1990
2029	7.934	198	14,56	459242	87	21081	840	8166	1965
2030	7.978	195	14,39	453706	86	21199	844	8212	1942
2031	8.023	191	14,21	448095	85	21318	849	8258	1918
2032	8.068	188	14,03	442406	84	21437	854	8304	1894
2033	8.113	184	13,85	436640	83	21557	859	8350	1869
2034	8.158	181	13,66	430795	81	21678	864	8397	1844
2035	8.204	177	13,47	424871	80	21799	868	8444	1818
2036	8.250	174	13,28	418867	79	21921	873	8492	1792

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El efluente de la PTAR del municipio de Timaná, por su calidad como agua para riego pertenece a la clase C2S1, indicando que el agua es apta para riego, de buena calidad, con un peligro de salinidad medio y de alcalinidad bajo. También se logró establecer según las directrices de la OMS que el efluente pertenece a la categoría B por su riesgo microbiológico y puede ser utilizada para riego del cultivo de pasto estrella (*Cynodon Plectostachius*), lo que exige un adecuado monitoreo del riego para minimizar posibles riesgos de salud pública. Se recomienda implementar riego por superficie o aspersión al cultivo de pasto, teniendo un cuidado especial con el manejo de material grueso que pueda contener el efluente para prevenir que se produzca obstrucción en las boquillas del sistema.

Con el efluente de la PTAR del municipio de Timaná, en la temporada de verano se pueden regar en promedio 98 Has (para el año 2017) de pasto estrella, por lo que esta propuesta de reutilización se convierte en una alternativa de reducción de la contaminación al medio ambiente, productiva por la fertirrigación de cultivos y al mismo tiempo funciona como tratamiento terciario para las aguas residuales, reduciendo el índice de contaminación del río Timanejo y mejorando la calidad de vida de la población que reside aguas abajo del vertimiento. En cuanto a los suelos de la zona de estudio se recomienda mejorar el sustrato con la aplicación de abonos orgánicos, debido a que estos presentan un bajo contenido de materia orgánica y un pH fuertemente alcalino (8.5), por lo que sus propiedades fisicoquímicas se ven afectadas por esta deficiencia, presentando una baja capacidad de intercambio de cationes, característica que impide una adecuada absorción de nutrientes por parte de las plantas. También se logró establecer que el suelo cuenta con un déficit de nitrógeno y potasio de 162,68 *kg/ha* y 239,7 *kg/ha* respectivamente, por lo que se recomienda suplir estas deficiencias con los nutrientes que contiene el efluente de la PTAR. También se sugiere mejorar la densidad aparente del suelo, debido a que esta presenta compactación (1,71 *g/cm³*), característica que dificulta el adecuado desarrollo del cultivo de pasto estrella.

La zona de influencia de la PTAR tiene déficit hídrico durante los meses de enero, mayo y de junio a septiembre; el efluente se constituye en un recurso potencial para el cultivo de pasto, aportando agua (519946 m³/año), macronutrientes N (19715 kg/año), P (785 kg/año), K (7637 kg/año) y lodos (2.226 kg/año de materia seca) para el año 2017. Los lodos constituyen una fuente de macro y micronutrientes, estos pueden ser utilizados en la agricultura como mejoradores de suelo y para sustituir los fertilizantes químicos, siempre y cuando se realicen estudios pertinentes y tratamientos previos a su reutilización. Se recomienda un tratamiento especial a los lodos, aplicando un manejo y control adecuado del cultivo, el suelo, el riego y la fertilización para su respectivo aprovechamiento.

Se sugiere tener en cuenta para una adecuada reutilización del efluente de la PTAR de Timaná en riego de pasto Estrella, la realización de estudios necesarios donde se muestre la asimilación de

nutrientes por parte de las plantas, así como también estudios de suelos para evaluar el comportamiento del suelo en cuanto a la fertirrigación con dicho efluente. También es importante realizar estudios de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del efluente y de los lodos para evitar una posible intoxicación y/o contaminación al cultivo.

Se recomienda hacer tratamiento adecuado de los lodos para que estos con sus características fisicoquímicas puedan ser reutilizados como abono orgánico, mejorando así las condiciones del suelo, disminuyendo el impacto ambiental que estos puedan provocar por solo arrumarse en algún lugar cercano a la planta o incluso vertiéndose nuevamente a los efluentes y también sería un ahorro económico para los agricultores.

Por último se recomienda realizar el análisis de relación de absorción de sodio (RAS) al efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Timaná Huila, o tomar como referencia investigaciones recientes realizadas cercanas a la zona de estudio, con el fin de obtener un resultado más exacto en cuanto a la calidad microbiológica del efluente como agua para riego.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). (2004). Reseña Toxicológica del Cobre (en español). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.
- UU., Servicio de Salud Pública. Recuperado de http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs132.html.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). (2007). Reseña Toxicológica del Plomo (versión actualizada) (en español). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Recuperado en septiembre de 2017 de http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html.
- Arrieta J. (1998). Depuración de los efluentes de cervecería, aplicación de nuevos procesos anaerobios. Cadagua S.A. División de Proyectos Industriales. Bilbao.
- Ayers, R. y Wescot, D., 1987. La Calidad del Agua en la Agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje. Documento Técnico. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Barajas L. María Guadalupe. (2002). Eliminación biológica de nutrientes en un reactor biológico secuencial.- Caracterización y estimulación de las fuentes de carbono del agua residual urbana. Tesis UPC. Barcelona. Recuperada en septiembre de 2017 de <http://www.tdx.cat/TDX-0725105-161032/>.
- Bernal, J., & Espinoza, J. (2003). Manual de nutrición y fertilización de pastos. International Plant Nutrition Institute. Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/view/14237075/manual-de-nutricion-y-fertilizacion-de-pastos-manual->
- Bermúdez, R. C., Rodríguez, S., Martínez, M. de la C., Terry A. I. (2011). Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás. Recuperado el 25 de junio de 2017.
- Caicedo, F. J. (2006). Diseño, construcción y arranque de un reactor U.A.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados. Tesis de Especialidad en Ingeniería Ambiental-Área Sanitaria. Universidad Nacional de Colombia.
- Cakir, F.Y. y Stenstrom, M.K. (2005). Greenhouse gas production: a comparison between aerobic and anaerobic wastewater treatment technology. *Water Research*. 39, 4197–4203.

- Camacho, L.A., Cubillos, C.E., Ochoa, J.C., Rodríguez, E.A., Vega, L., 2006. Reflexiones sobre la Participación del Grupo GIREH en la Conformación de un Centro de Investigación de Excelencia en el Tema Ambiental. Consultado el 23 de Febrero de 2010.
- Castro, Franco, H. (1998). Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Instituto Universitario Juan de Castellanos. Tunja Boyaca, Colombia.
- Castro, H. & Gómez N. (2013). Fertilidad de Suelos y fertilizantes. En H. Orjuela & F. Silva (Ed.), Ciencia Del Suelo Principios Básicos segunda edición (213-304). Bogotá D.C: S.C.C.S.
- Cepis (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 2003. Inventario de la situación actual de las aguas residuales domésticas en Colombia. Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: realidad y potencial. Perú. En: www.cepis.ops.oms.org; consulta: septiembre de 2006.
- Chan, Y. J., Chong M. F., Law, Ch. L., y Hassell, D.G. (2009). A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal*. 155, 1-18.
- Clair N., Sawyer. McCarthy., Parkin, Gene F. (2001). Química para ingeniería ambiental. Colombia. 4ta. Edición: Mc Graw-Hill.
- Crites R., Tchobanoglous. G. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 2. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill.
- Díaz Lázaro-Carrasco, (1988) Díaz Lázaro-Carrasco, J. A. (1988). *Depuración de aguas residuales*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid.
- Duran, F. Et all. (2013). Sistemas de riego. México, México: Grupo Latino.
- Edzwald M, Kelley J. ICR treatment studies. *J. am. Water works assoc.* 1998; 90 (11): 70.
- Elizondo, J. (2008). El pasto estrella africana: características nutricionales y aspectos de manejo. *Ventana Lechera*. 10:26-27. Recuperado de file:///C:/Users/Estudiantes%202018/Desktop/PASTO%20ESTRELLA_1.pdf
- EPMAPS. (2014). Manual de Operación y Mantenimiento/ PMA para la Operación y Mantenimiento de la PTAR Gualea Cruz. Quito.
- Escalante, V. E., Sánchez M., Pozo, F. y Rivas, A. (2000) Identificación y evaluación de procesos biológicos de tratamiento. México: Comisión Nacional del Agua e Instituto Mexicano de Tecnología del agua.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1999. Wastewater Treatment and Use in Agriculture. Consultado en Enero de 2008. <www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm>. Citado por: SILVA, J., TORRES, P. y MADERA, C., 2008. Reuso de Aguas Residuales Domésticas en Agricultura. Scielo, Agronomía Colombiana. Consultado 18 de Octubre de 2017. <<http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v26n2/v26n2a20.pdf>>. pp 347-359 (vol.26 no.2, ISSN 0120-9965).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. Wastewater treatment and use in agriculture. Recuperado de: www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm.
- FAO, Regional Office for the Near East, 2003. User's Manual for Irrigation With Treated Wastewater. Consultado el 15 de Febrero de 2018. <<http://www.fao.org/world/Regional/RNE/morelinks/Publications/English/Usersmanual-en.pdf>>. pp. 2, 43:45, 49.
- Ferrer, J., Seco, A. (2008). Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales. México: Alfaomega.
- Guerra, N, & Lagos, J. (2014). Análisis de la composición bromatológica de pastos y formulación de dietas para la producción de leche en el trópico. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.
- HRUDEY SE, Hrydey Ej. Safe Drinking Water: *lessons from recent outbreaks in affluent*. London: International. Water Association Publishing, 2004.
- JUANICÓ - Consultores Ambientales Ltda, 2009. Reuso de Aguas Servidas en Irrigación. Consultado el 31 de Octubre de 2017.
- Khan, A.A., Gaur, R. Z. V., Tyagi, K., Khursheed A., Lewb,B, Mehrotraa I. y Kazmia, A.A. (2011) Sustainable options of post treatment of UASB effluent treating sewage: A review. *Resources, Conservation and Recycling*. 55, 1232– 1251.
- Lettinga G, Hulshoff P, Wiegant W, “et al” (1990). Upflow sludge blanket processes. Proceedings of the third international symposium on anaerobic digestion. Inc. Watertown, p 139-158.
- Lora, R. (2003). Propiedades Químicas de Suelo. En H. Orjuela & F. Silva (Ed.), Ciencia Del Suelo Principios Básicos segunda edición (73-138). Bogotá D.C: S.C.C.S
- Madera, C.A., 2005. Reuso de Agua Residual: los Aspectos sobre Calidad Necesitan Mayor Atención. Consultado el 31 de Octubre de 2009.
- Manga, Nogueira & Serralt (2001, 12, 21). Reuso aguas residuales: Un recurso hídrico disponible. *Ingeniería y desarrollo: Universidad del Norte*. Recuperado de http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/9/reuso_de_aguas_residuales.pdf

- Mara, D. 1996. Waste stabilization ponds: effluent quality requirements and implications for process design. *Wat. Sci. Tech.* 33(7), 23-31.
- MAVDT. (2010b). Política Nacional para la Gestión Intergral del Recurso Hídrico. Bogotá, Colombia.
- Metcalf & Eddy (1996). Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. Volumen I-II, 3ra. Edición en español, MacGraw-Hill. Madrid, España.
- Metcalf & Eddy, 2003. *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. McGraw-Hill, New York, 4 edition.
- Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales tratamiento. Vertido y reutilización. Volumen I. Madrid. España: Mc Graw Hill.
- Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. (2014). “*Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas*”. Recuperado de <https://www.dropbox.com/s/n6cibyc22eybr7f/Resolucion%201207%20de%202014%20AguasResidualesTratadas.pdf?dl=0>
- Morató, J., Subirana A., Gris A., Carneiro A., Pastor R., 2006. Tecnologías Sostenibles para la Potabilización y el Tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de investigación*. Consultado el 17 de Octubre de 2009.
- Morató, J., Subirana A., Gris A., Carneiro A., Pastor R., 2006. Tecnologías Sostenibles para la Potabilización y el Tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de investigación*.
- Moscoso, j.; Alfaro, (2007). t.: Panorama de experiencias de tratamiento y uso de aguas residuales en la ciudad de lima. Perú, 10.
- Mujeriego, R. 1990. Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada. Traducción del texto *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater – A Guidance Manual*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. 481 p. ISBN 84-7653-071-4. Cap. 1 y 2.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (1989). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie Informes técnicos, 778. Organización Mundial de la Salud (OMS), Ginebra. 93 p.
- Orozco A., Giraldo E. (1986). Tratamiento aneróbico de las aguas residuales. Colombia. Universidad de los Andes, CIFI, p 22.
- PÉREZ, J.; G. HERNÁNDEZ: “Valoración de la calidad del agua del arroyo Guachinango con fines de riego”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3): 6-9, 2007.

- Pierce D. y K. Turner. 1990. Economics resources and the environment. John Hopkins Press, Washington D.C.
- Polprasert.C., (1989). Organic waste recycling. UK: Ed. Wiley. Chichester.
- Ramalho, R. (1991). Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté, Barcelona, 2 edition.
- Ramírez *et al.* (2013). Sistemas de Riego. Mexico, Mexico: Grupo Latino Editores.
- Ramírez, O., Koetz, P. (1998). Evaluación de un reactor UASB para el tratamiento de efluentes de la industria de aceite de arroz. V taller y Seminario Latinoamericano de Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Viña del Mar, Chile.
- Romero, J. A. (2010). Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Seoáñez Calvo Mariano. (2004). Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas de bajo costo. Madrid. España: Mundi-Prensa.
- Silva, J, Torres, P., Madera, C., (2008). Reuso de Aguas Residuales Domésticas en Agricultura. Scielo, Agronomía Colombiana. <<http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v26n2/v26n2a20.pdf>>. pp 347-359 (vol.26 no.2, ISSN 0120-9965).
- UNEP. (2010). SICK WATER? The central rol of wastewater management in sustainable development. E. Corcoran, C. Nellemann, E. Baker, R. Bos, D. Osborn, H. Savelli, ed.
- Valencia, E., 1998. Potencial de Reusó del Efluente de una Laguna Facultativa en Irrigación. Comparación de Producción Utilizando dos Hortalizas Regadas con el Efluente y Aguas Subterráneas. Tesis de maestría. Cali: Universidad del Valle. 104 p.
- Valenzuela, I. & Torrente, A. (2013). Física de suelos. En H. Orjuela & F. Silva (Ed.), Ciencia Del Suelo Principios Básicos segunda edición (143-207). Bogotá D.C: S.C.C.S.
- WSP (Water and Sanitation Program), Banco Mundial, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperacion (Cosud), Unicef y Banco Interamericano para el Desarrollo (Bid). (2007). Saneamiento para el desarrollo. Como estamos en 21 países de America Latina y el Caribe. Conferencia Latinoamericana de Saneamiento, Cali.

7. ANEXOS

Anexo 1. PTAR del municipio de Timaná.



Figura 17. RAFA Y FAFA.

Anexo 2. Toma de muestra de aguas residuales.



Figura 18. Toma de pH del agua residual.



Figura 19. Agitación manual de la muestra de agua residual.



Figura 20. Toma muestra de agua residual.

Anexo 3. Esquema de los Reactores de Flujo Ascendente (RAFA).

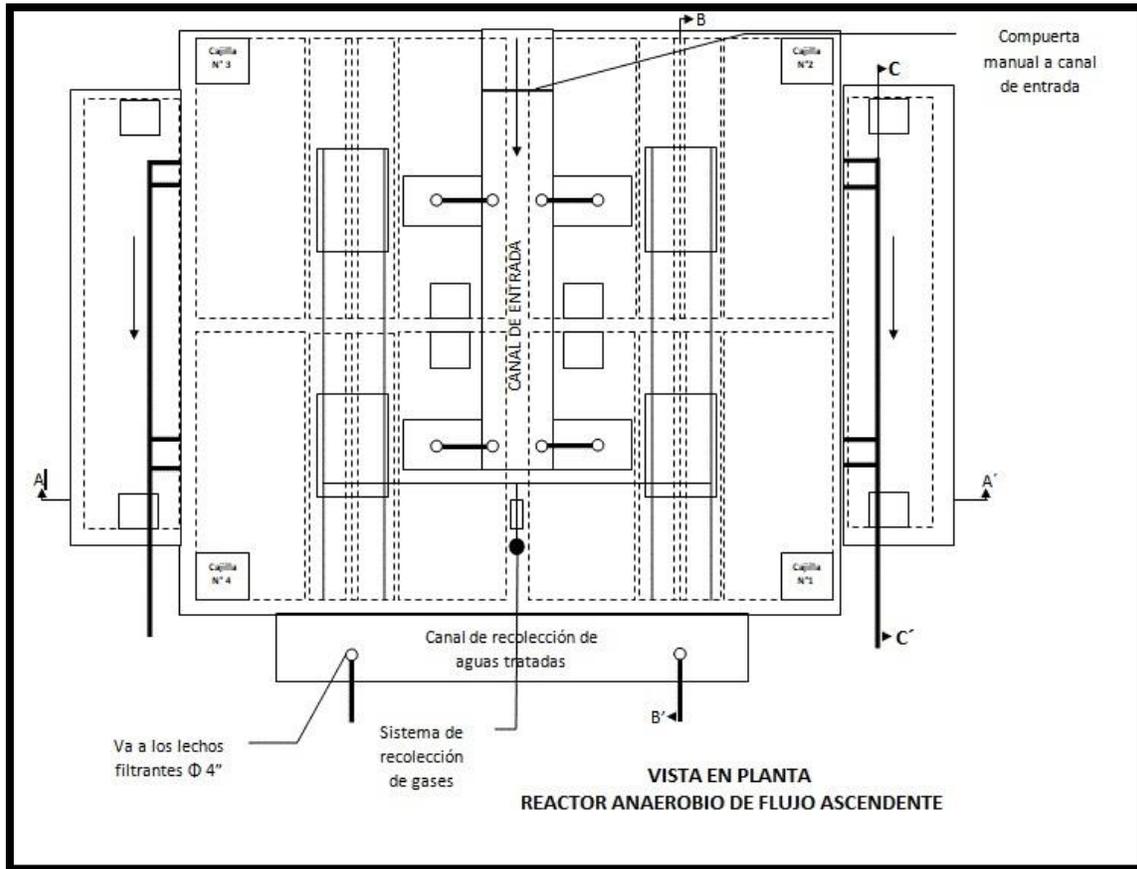


Figura 22. Vista en planta de los RAFA.

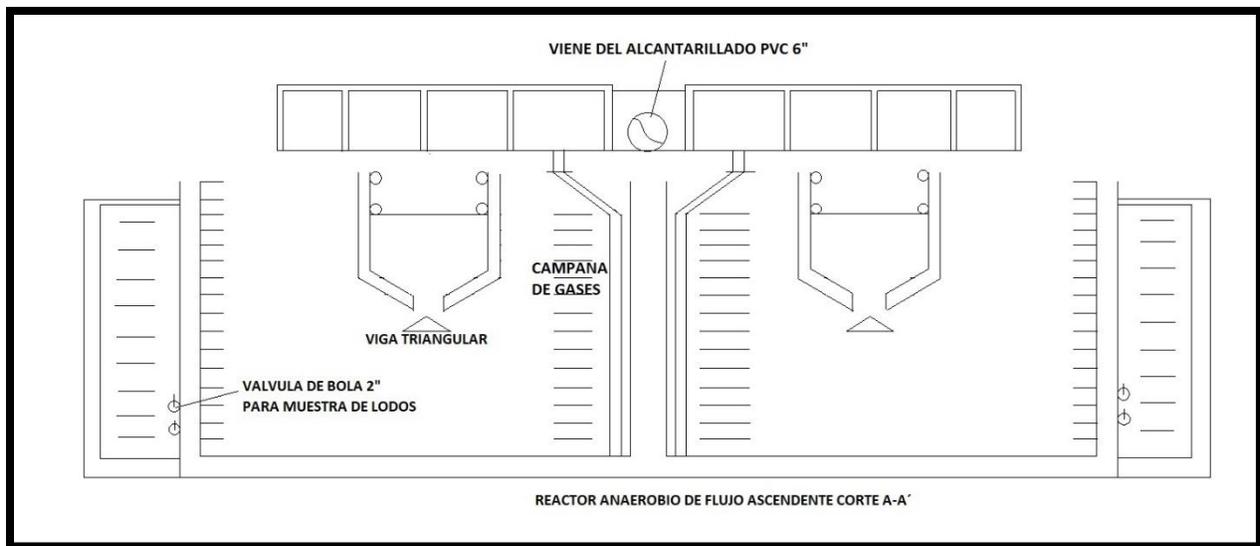


Figura 23. Corte A-A' de los RAFA.

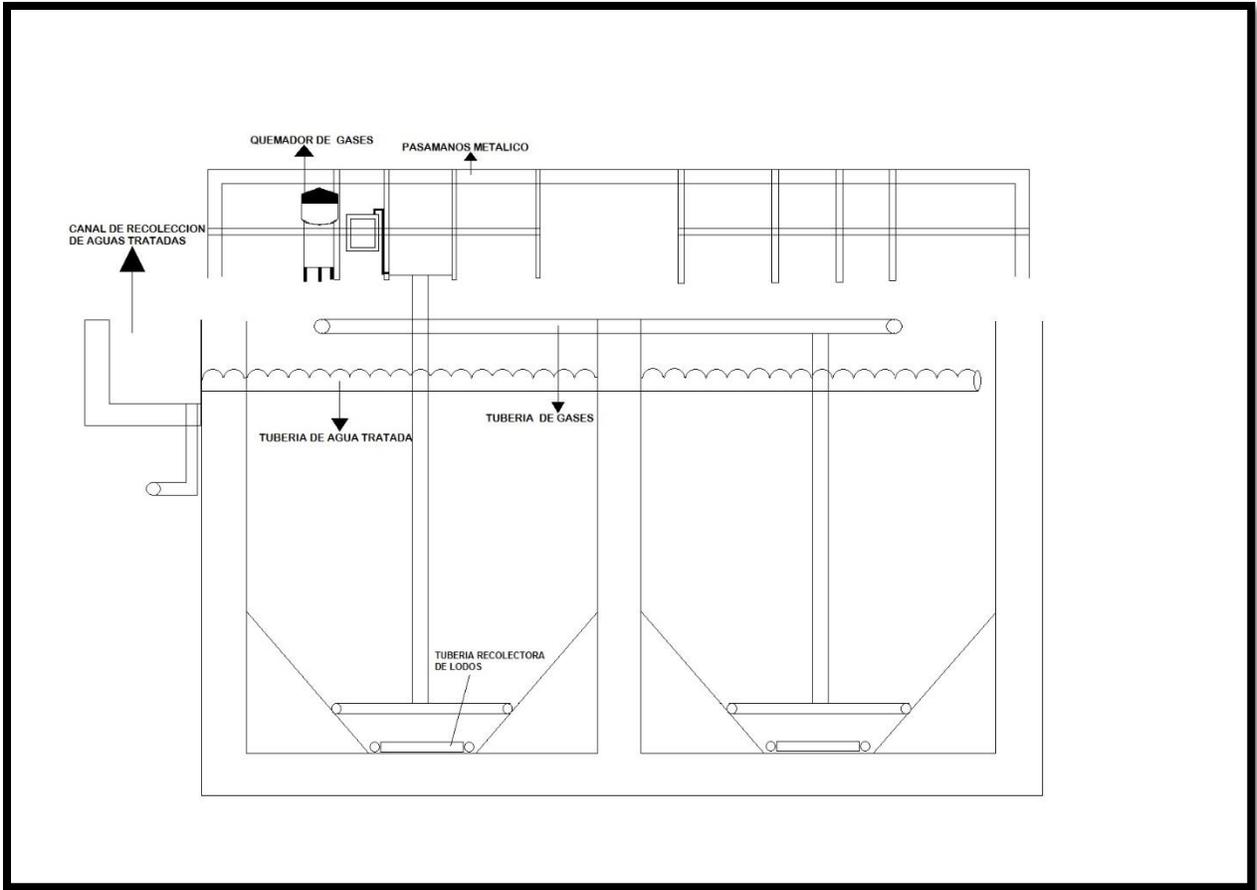


Figura 24. Corte B-B' de los RAFA

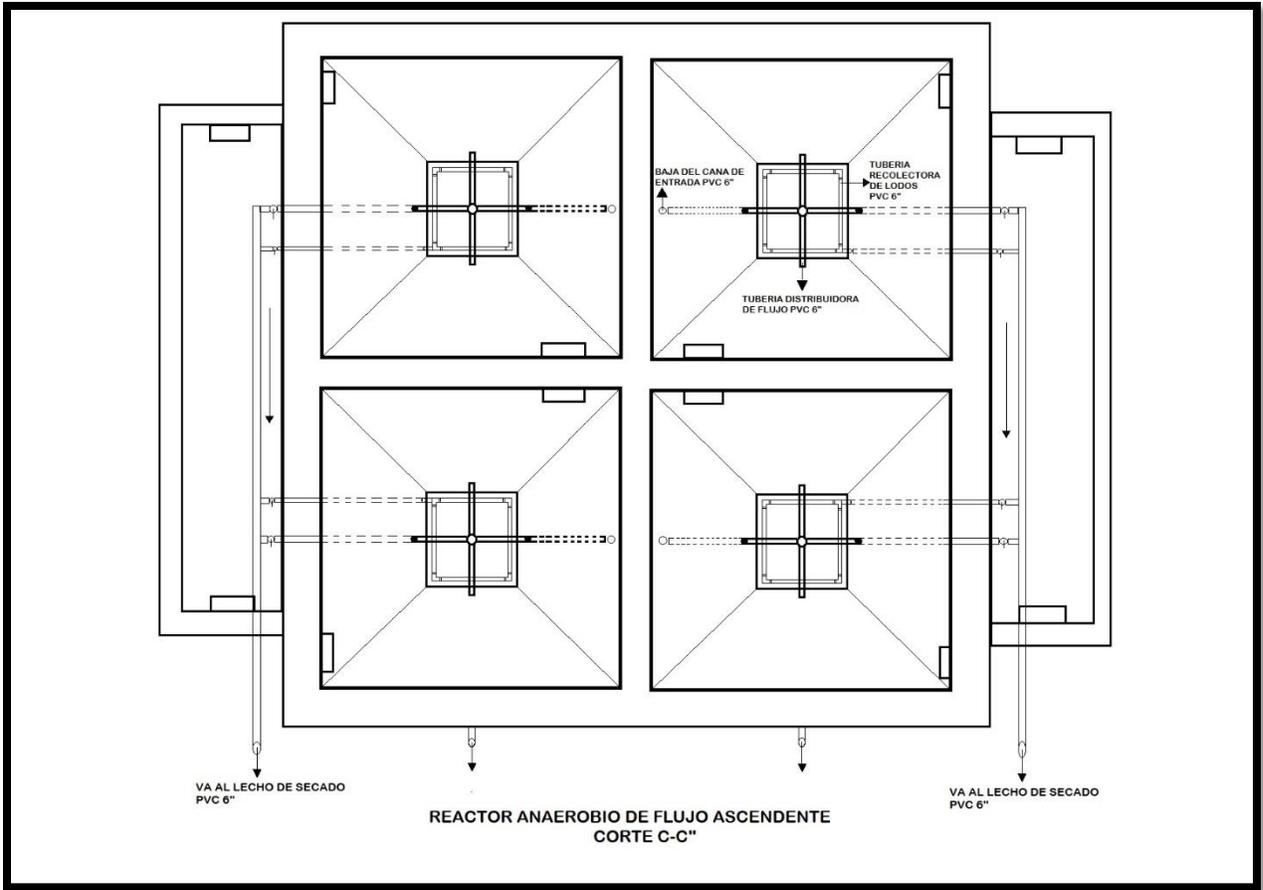
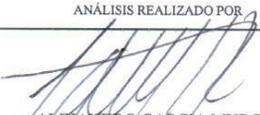
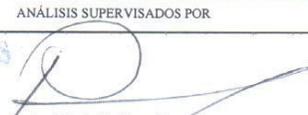


Figura 25. Corte C-C' de los RAFA.

Anexo 4. Resultados del análisis fisicoquímicos y microbiológico del AR de la PTAR de Timaná-Huila

SISLAB-17025 SI-TECNOLOGIA LTDA..

Página 1 de

 <p>DIAGNOSTICAMOS DIVISION AMBIENTAL 800.179.073-9 Carrera 11 No 7 - 45 teléfonos (578) 8723922-8714977-8717909 Ext. 303 Celular 3204124326 - Neiva - Huila</p>				 <p>IDEAM INSTITUTO DE ENVOLUCIÓN, SERVICIOS AMBIENTALES Y SANEAMIENTO Laboratorio Acreditado NFC ISO/IEC 17025 Resolución IDEAM 2746 de 2015</p>				
REPORTE DE RESULTADOS N°		9193	FECHA DE EMISIÓN		2017-SEP-28			
DATOS DEL CLIENTE								
NOMBRE	YURY SAMARA ORTEGA LINCER		DIRECCIÓN	CALLE 3A N°20-53				
CONTACTO	YURY SAMARA ORTEGA LINCER		TELÉFONO	3163452316				
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA								
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		RESIDUAL				
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE	RADICADO INTERNO		9193				
PLAN DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE TOMA		2017-SEP-14				
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE RECEPCIÓN		2017-SEP-15				
FUENTE DE MUESTREO	PTAR TIMANA HUILA	FECHA DE ANÁLISIS		2017-09-15 / 2017-09-23				
LUGAR DE MUESTREO	ENTRADA PTAR	PUNTO DE MUESTREO		CANAL DE APROXIMACION				
OTROS ¿Cuáles?			NO REPORTA					
REPORTE DE RESULTADOS								
CONV.	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (UC)	FECHA DE ANÁLISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
a	POTASIO	SM 3111 B	mg/L	CHEMILAB	---	2017-09-15	NO APLICA	NO APLICA
a	CONDUCTIVIDAD	SM 2510 B	µS/cm	242.70	1.4	2017-09-21	NO APLICA	NO APLICA
a.	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO	SM 5210B Y ASTM D888 METODO C	mg O ₂ /L	150.68	2.76	2017-09-15	NO APLICA	NO APLICA
a.	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	SM 5220 D	mg O ₂ /L	240.0	2.74	2017-09-23	NO APLICA	NO APLICA
a.	FÓSFORO TOTAL	SM22 4500 -P B,D	mg P /L	4.7	0.038	2017-09-21	NO APLICA	NO APLICA
a	GRASAS Y ACEITES	SM 5520 D	mg/L	< 10	2.0	2017-09-20	NO APLICA	NO APLICA
	NITROGENO TOTAL	SM 4500-NORG B	mg N/L	CHEMILAB		2017-09-15	NO APLICA	NO APLICA
	NMP COLIFORMES FECALES	SM 9223 E	NMP/100 ml muestra	2400 X 1000	0.022	2017-09-15	NO APLICA	NO APLICA
	NMP COLIFORMES TOTALES	SM 9223B	NMP /100 ml muestra	2400 X 1000	0.026	2017-09-15	NO APLICA	NO APLICA
OBSERVACIÓN:								
Nota 1: (a) Parámetros acreditados por el IDEAM según las resoluciones 2682 del 28 de octubre de 2013, 2354 de octubre de 2015, 2746 de diciembre de 2015 y 0834 de mayo 2016 para aguas crudas y residuales.								
Nota 2: Cuando se incluya la incertidumbre en un informe, el resultado se reporta como: "Resultado ± Uc mg/L; la incertidumbre expandida se calculó con un factor de cobertura de 2, que equivale a un nivel de confianza de aproximadamente 95 %".								
ANÁLISIS REALIZADO POR			ANÁLISIS REALIZADO POR			ANÁLISIS SUPERVISADOS POR		
 ALEJANDRO GARCIA MURCIA Líder Técnico Fisicoquímico			 Rosario del Pilar Ortiz Martinez Líder Técnico Microbiológico			 Pedro María Zuñiga Camacho Director		

Nota: El presente reporte no se puede reproducir sin autorización del laboratorio. Este resultado es válido exclusivamente para los ensayos presentados.
ER-FR-01 REPORTE DE RESULTADOS Vigente desde 2014-01-10 / Versión 02



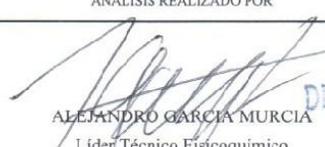
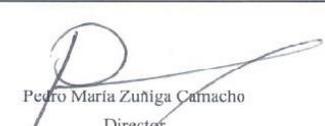
DIAGNOSTICAMOS DIVISION AMBIENTAL

800.179.073-9
Carrera 11 No 7 - 45 teléfonos (578) 8723922-8714977-8717909 Ext. 303
Celular 3204124326 - Neiva - Huila



REPORTE DE RESULTADOS N°		9194		FECHA DE EMISIÓN		2017-SEP-28		
DATOS DEL CLIENTE								
NOMBRE		YURY SAMARA ORTEGA LINCER		DIRECCIÓN		CALLE 3A N°20-53		
CONTACTO		YURY SAMARA ORTEGA LINCER		TELÉFONO		3163452316		
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA								
MATRIZ DE LA MUESTRA		AGUA		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		RESIDUAL		
MUESTRA TOMADA POR		CLIENTE		RADICADO INTERNO		9194		
PLAN DE MUESTREO		NO APLICA		FECHA DE TOMA		2017-SEP-14		
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		NO APLICA		FECHA DE RECEPCIÓN		2017-SEP-15		
FUENTE DE MUESTREO		PTAR TIMANA HUILA		FECHA DE ANÁLISIS		2017-09-15 / 2017-09-21		
LUGAR DE MUESTREO		SALIDA PTAR		PUNTO DE MUESTREO		CAJILLA DE INSPECCION		
OTROS ¿Cuáles?		NO REPORTA						
REPORTE DE RESULTADOS								
CONV.	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (UC)	FECHA DE ANÁLISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
a	POTASIO	SM 3111 B	mg/L	CHEMLAB	---	2017-09-15	NO APLICA	NO APLICA
a	CONDUCTIVIDAD	SM 2510 B	µS/cm	301.85	1.4	2017-09-21	NO APLICA	NO APLICA
	NMP COLIFORMES FECALES	SM 9223 E	NMP/100 ml muestra	240 X 10.000	0.022	2017-09-15	NO APLICA	NO APLICA
	NMP COLIFORMES TOTALES	SM 9223B	NMP /100 ml muestra	240 X 10.000	0.026	2017-09-15	NO APLICA	NO APLICA
OBSERVACIÓN:								
Nota 1: (a) Parámetros acreditados por el IDEAM según las resoluciones 2682 del 28 de octubre de 2013, 2354 de octubre de 2015, 2746 de diciembre de 2015 y 0834 de mayo 2016 para aguas crudas y residuales.								
Nota 2: Cuando se incluya la incertidumbre en un informe, el resultado se reporta como: "Resultado ± Uc mg/L; la incertidumbre expandida se calculó con un factor de cobertura de 2, que equivale a un nivel de confianza de aproximadamente 95 %".								
ANÁLISIS REALIZADO POR		ANÁLISIS REALIZADO POR			ANÁLISIS SUPERVISADOS POR			
 ALEJANDRO GARCIA MURCIA Líder Técnico Físicoquímico		 Rosario del Pilar Ortiz Martinez Líder Técnico Microbiológico			 Pedro Maria Zuniga Camacho Director			

Nota: El presente reporte no se puede reproducir sin autorización del laboratorio. Este resultado es válido exclusivamente para los ensayos presentados.
ER-FR-01 REPORTE DE RESULTADOS Vigente desde 2014-01-10 / Versión 02

REPORTE DE RESULTADOS N°		10401	FECHA DE EMISIÓN		2017-DIC-26			
DIAGNOSTICAMOS DIVISION AMBIENTAL 800.179.073-9 Carrera 11 No 7 - 45 teléfonos (578) 8723922-8714977-8717909 Ext. 303 Celular 3204124326 - Neiva - Huila								
 IDEAM <small>INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</small> <small>Laboratorio Acreditado</small> <small>NTC ISO/IEC 17025</small> <small>Resolución IDEAM</small> <small>2746 de 2016</small>								
DATOS DEL CLIENTE								
NOMBRE	YURY SAMARA ORTEGA LINCER			DIRECCIÓN	CALLE 3A N°20-53			
CONTACTO	YURY SAMARA ORTEGA LINCER			TELÉFONO	3163452316			
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA								
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	RESIDUAL					
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE	RADICADO INTERNO	10401					
PLAN DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE TOMA	2017-DIC-07					
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE RECEPCIÓN	2017-DIC-12					
FUENTE DE MUESTREO	PLANTA DE TRATAMIENTO AGUA RESIDUAL	FECHA DE ANÁLISIS	2017-12-12 / 2017-12-21					
LUGAR DE MUESTREO	TIMANA	PUNTO DE MUESTREO	ENTRADA PTAR					
OTROS ¿Cuáles?	NO REPORTA							
REPORTE DE RESULTADOS								
CONV.	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (UC)	FECHA DE ANÁLISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
a	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SM 2540 D	mg/L	284.0	1.2	2017-12-21	NO APLICA	NO APLICA
OBSERVACIÓN:								
Nota 1: (a) Parámetros acreditados por el IDEAM según las resoluciones 2682 del 28 de octubre de 2013, 2354 de octubre de 2015, 2746 de diciembre de 2015 y 0834 de mayo 2016 para aguas crudas y residuales.								
Nota 2: Cuando se incluya la incertidumbre en un informe, el resultado se reporta como: "Resultado ± Uc mg/L; la incertidumbre expandida se calculó con un factor de cobertura de 2, que equivale a un nivel de confianza de aproximadamente 95 %".								
ANÁLISIS REALIZADO POR				ANÁLISIS SUPERVISADOS POR				
 ALEJANDRO GARCÍA MURCIA <small>Líder Técnico Físicoquímico</small>				 Pedro María Zuñiga Camacho <small>Director</small>				
								

Nota: El presente reporte no se puede reproducir sin autorización del laboratorio. Este resultado es válido exclusivamente para los ensayos presentados.
ER-FR-01 REPORTE DE RESULTADOS Vigente desde 2014-01-10 / Versión 02

Informe de Ensayo (SN)

N° Informe: 6531-01



Cliente: LABORATORIO DIAGNOSTICAMOS SAS

Dirección: Carrera 11 No. 7 - 45 Neiva,

Proyecto: Control Muestras de Aguas de Varios Tipos

Identificación Cliente: Yury Samara Ortega

Lugar de Muestreo: Timana

Dirección: Sin Definir

Ciudad / Región: NEIVA, Huila

Punto de Muestreo: Planta de Tratamiento de Aguas Residual

Matriz: Aguas residuales

Tipo de Muestreo: Puntual

Término de Muestreo 07/12/2017 17:30:00

Recepción Laboratorio 18/12/2017 11:30:34

Muestreado por: Cliente

Fuente de Muestreo: Planta de Tratamiento de Aguas Residual, Radicado Interno: 10402

Parámetro	Unidades	Resultados	Fecha y Hora Análisis	Ref.Método
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	7,04	18/12/17 11:30	SM 4500-NH3 C (2)
Nitrato	mg/L NO3	2,92	08/12/17 11:54	SM 4500-NO3 B (2)
Nitrito	mg/L NO2	0,045	08/12/17 10:54	SM 4500-NO2 B (2)
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L N	34,9	19/12/17 08:00	SM 4500 NH3 C (2)
Nitrógeno Total	mg/L N	37,9	29/12/17 15:04	SM 4500-NA (2)

Notas:

(2) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Edition 2012.

El limite de deteccion establecido para el Metodo Nitrogeno Amoniacal es <1,0 mg/L

El limite de deteccion establecido para el Metodo Nitrato es <0,22 mg/L

El limite de deteccion establecido para el Metodo Nitrito es <0,01 mg/L

El limite de deteccion establecido para el Metodo Nitrogeno Kjeldahl es <0,1 mg/L

Varcelis Vargas
Directora Operativa

Jonathan Prieto
Jefe de área Físicoquímica

Fecha Emisión Informe: 09/01/2018



* 6 5 3 1 9 1 V V 1 6 5 5 4 1 *

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Autopista Medellín Km 2,5, via parcelas de Cota Km 1.3 Conjunto de Bodegas AEPI, Bodega N° 3A - Teléfono +57 (1) 5 19 03 85

6531-01 1 / 1

Empresa: YURY SAMARA ORTEGA LINCER
Nit: 900294923-9
Dirección: CALLE 3A # 20-53
Solicitado por: DIAGNOSTICAMOS LABORATORIO CLINICO
Telefono: 3163452316
Celular: --
E-mail: --
Orden de Servicio: 18259

Fecha Recepción: 2017-09-18
Fecha de Emisión de Resultados: 2017-10-05
Fecha de Muestreo: 2017-09-14
Muestreo a Cargo de: CLIENTE
Plan de muestreo: No Reporta
Procedimiento de muestreo: No Reporta
Número total de muestras: 2
Lugar de Muestreo: TIMANA Departamento: Huila- ENTRADA, SALIDA PTAR
Tipo de muestreo: Puntual
Tipo de Muestra: ARI() ARD(X) ARnD() AN()

Reporte de Resultados

Item	Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD)	Parámetro	Método	Técnica	Limite de Cuantificación del método	Unidad	9193	9194
							MD54041	MD54042
1	2017-09-29	Nitrógeno total*	Semi-micro Kjeldahl SM 4500-Norg C, SM 4500 NH3 B,C	Digestión - kjeldhal	3,00	mg N/L	15,5	-
2	2017-09-22	Potasio Total*	SM 3030 E, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	0,125	mg K/L	13,7	14,7

ARI: Agua Residual Industrial, ARD: Agua Residual Doméstica, ARnD: Agua Residual no Doméstica, AN: Agua Superficial o Subterránea, AP: Agua Potable, S: Suelo, AM: Agua Marina, AX: Otros
*ChemiLab tiene estos parámetros acreditados mediante resolución 2016 de 2014 y 1226 de 2016 del IDEAM.

** Análisis realizados por laboratorio subcontratado acreditado
(P) PICCAP
Parámetro no acreditado

OBSERVACIONES ANALITICAS

NINGUNA

Observaciones: Métodos de Análisis aplicados según el Laboratorio de Suelos IGAC y US-EPA (aplica para suelos)
Métodos de Análisis aplicados según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (aplica para aguas)
Resultados válidos únicamente para la(s) muestra(s) analizadas.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin autorización previa de Chemilab S.A.S

Stella Vesga Rueda

STELLA VESGA RUEDA
Coordinador de Reportes
PQ - 2761

** FIN DE ESTE REPORTE **



REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO
AMB-FOR-66

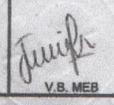
ORDEN DE SERVICIO	3003	ID MUESTRA	M484	FECHA DE MUESTREO	2017-03-31
MUESTRA TOMADA POR	CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA			FECHA DE RECEPCION	2017-04-03
ESTADO DEL INFORME:	PARCIAL	FINAL	X	FECHA DE EMISIÓN	2017-05-04

INFORMACIÓN DEL CLIENTE		INFORMACION DEL MUESTREO	
CLIENTE	EMPRESAS PUBLICAS DE TIMANA	TIPO DE MUESTRA	AGUA RESIDUAL
NIT.	900330919-3	PLAN DE MUESTREO	17-117
SOLICITADO POR	EMPRESAS PÚBLICAS DE TIMANA	PUNTO DE TOMA	SALIDA PTAR
DIRECCION	CARRERA 4 N 9-76	COORDENADAS	N.R
TELEFONO	3134997828	TIPO DE MUESTREO	COMPUESTO
CIUDAD	TIMANÁ (H)	PROCEDIMIENTO No.	AMB-FOR-01

FECHA DE ANALISIS AAAA - MM - DD	DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO	LMQ	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	VALORES PERMISIBLES RES. 0631 DE 2015 ART. 8
2017-04-12	NITRITOS	0,030	mg NO ₂ /L	SM 4500-NO ₂ B	<0,030	Análisis y Reporte
2017-03-31	pH	1,28	Unidades de pH	SM 4500-H ⁺ B	7,25	6,00 a 9,00
2017-03-31	TEMPERATURA DE LA MUESTRA	N.A	°C	SM 2550 B	23,6	<40

Observaciones:
NA: No aplica
NE: No establecido
NR: No registra
LMQ: Límite de cuantificación

Los resultados reportados con asterisco (*) son subcontratados con un laboratorio externo.

<p><i>P/ Jernán Domínguez</i></p> <p>JOHANA CAROLINA CASTRO HERNÁNDEZ DIRECTOR OPERATIVO</p>	 V.B. MEB
<p>NOTA: ESTE DICTAMEN E INFORME NO PUEDE SER REPRODUCIDO SIN AUTORIZACION DEL LABORATORIO. ESTE RESULTADO ES VALIDO ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE PARA LOS ELEMENTOS ENSAYADOS IDENTIFICADOS</p>	

—FIN DEL REPORTE—

Anexo 5. Resultados del análisis fisicoquímico del suelo del área de estudio.



ENTREGA DE RESULTADOS

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS



CODIGO	ER-FR-01	VERSIÓN	4	VIGENCIA	2014	Página	1 de 1
--------	----------	---------	---	----------	------	--------	--------

DATOS DEL CLIENTE		
Solicitante: Yury Samara Ortega	Ciudad: Neiva	Dirección: Calle 24 N. 5 Bis 37
Telefono: 316 3452316	email: samaraortega0203_@gmail.com	

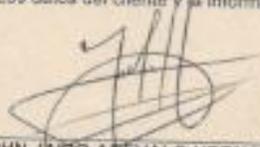
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA		
Finca: Aledaña a la PTAR	Matriz: Suelo	041-17
Vereda: No Reporta	ID cliente: Muestra suelo Timana	
Municipio: Timana	Fecha muestreo: No reporta	
Departamento: Huila	Fecha recepción: 11/05/2017	
Cultivo: No Reporta	Fecha análisis: 27/05/2017	
N° Cadena de custodia: No aplica	Fecha entrega: 18/06/2017	
N° Plan de muestreo: No aplica	Informe de resultados N°: 041	

PARAMETROS QUÍMICOS	UNIDAD	RESULTADO	CALIFICACIÓN	MÉTODO
pH	-	8.5	Fuertemente Alcalino	NTC 5264
Materia Orgánica (M.O)	%	2.64	Bajo	Calcinación
C.I.C.	cmol ⁺ kg ⁻¹	5.32	Medio	NTC 5268
Fósforo (P)	ppm	40.51	Alto	NTC 5350
Calcio (Ca)	cmol ⁺ kg ⁻¹	11.95	Alto	NTC 5349
Magnesio (Mg)	cmol ⁺ kg ⁻¹	2.34	Alto	
Sodio (Na)	cmol ⁺ kg ⁻¹	1.35	Alto	
Potasio (K)	cmol ⁺ kg ⁻¹	4.84	Alto	
Bases Totales (BT)	cmol ⁺ kg ⁻¹	20.48	-	
Saturación de bases (SB)	%	>100	-	Suma cationes
Azufre (S)	ppm	5.34	Bajo	Relación catiónica
Hierro (Fe)	ppm	28.85	Bajo	NTC 5402
Manganeso (Mn)	ppm	10.09	Alto	NTC 5526 método DTPA
Cobre (Cu)	ppm	4.02	Alto	
Cinc (Zn)	ppm	5.47	Medio	
Boro (B)	ppm	0.80	Alto	
Acidez intercambiable	cmol ⁺ kg ⁻¹	-	-	H ₂ O Caliente
Relación Ca/Mg	-	5.10	ideal	NTC 5263
Relación (Ca + Mg)/K	-	2.95	-	Relación catiónica
Relación Mg/K	-	0.48	-	
TEXTURA	Clase	FrArA	Franco Arcillo Arenoso	Organoléptico

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.

NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.

NOTA 3: Los datos del cliente y la información son suministrados por quien radica la muestra en el Laboratorio.



JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ
Coordinador Laboratorio

Sede Central - AV. Pastrana Borrero Cra. 1a.
 PBX: (57) (8) 875 4753 FAX: (8) 875 8890 - (8) 875 9124
 Edificio Administrativo - Cra. 5 No. 23-40
 PBX: (57) (8) 8753686 - Línea Gratuita Nacional: 018000 968722
 Vigilada Mineducación
 www.usco.edu.co
 Neiva, Huila

Gestión, Participación y Resultados

Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila, Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext. 1096.
 Email: labqia@usco.edu.co



ENTREGA DE RESULTADOS

INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS

LABGAA

CÓDIGO ER-FR-01 VERSIÓN 4 VIGENCIA 2014 Página 1 de 1

DATOS DEL CLIENTE

Solicitante: YURI SAMARA ORTEGA Ciudad: TIMANÁ Dirección: Cr19 #3ª-30
 Teléfono: 3163452316 email: samaraortega0203@hotmail.com

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Finca: Aledaña a la PTAR	Matriz: Suelo	N° Muestra: 041-17
Vereda: No Reporta	ID cliente: muestra suelo timaná	
Municipio: Timaná	Fecha muestreo: No reporta	
Departamento: Huila	Fecha recepción: 11/05/2017	
Cultivo: Pastos	Fecha análisis: 19/06/2017	
N° Cadena de custodia: No aplica	Fecha entrega: 30/08/2017	
N° Plan de muestreo: No aplica	Informe de resultados N°: 41-2	

PARAMETROS FÍSICOS	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
Coeficientes de humedad del suelo	%	49.38	Membranas Richards
		36.09	
		32.07	
		30.47	
		27.63	
		24.26	
		21.28	
Fracción mineral	%	64.00	Bouyoucos
		16.75	
		29.05	
Textura	Franco Arcillo Arenosa		
Granulometría	g	-	Juego de tamices
Densidad aparente	g cm ⁻³	1.71	Torrón parafinado
Densidad real	g cm ⁻³	2.43	Picnómetro
Porosidad total	%	-	Relación de densidades
Estabilidad estructural		-	Yoder
Limites de Atterberg (Líquido y plástico)		-	Cazuela de Casagrande
Coef		-	Estándar
Color		-	Tablas Munsell
Humedad	%	-	Organoléptica
Prueba de Infiltración 1	cm h ⁻¹	-	Anillos infiltrómetros
Prueba de Infiltración 2	cm h ⁻¹	-	Anillos infiltrómetros
Prueba de Infiltración 3	cm h ⁻¹	-	Anillos infiltrómetros
Infiltración Promedio	cm h ⁻¹	-	Calculada

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.

NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.

NOTA 3: Los datos del cliente y la información son suministrados por quien radica la muestra en el Laboratorio.


 JOHN JAIRO ARCEVALLO HERNANDEZ
 Coordinador Laboratorio

FIN DEL INFORME

Anexo 6. Aforos de la PTAR.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS MUNICIPIO DE TIMANA-HUILA				
FORMATO - MEDICION CAUDAL				
fecha: 31/03/2017				
HORA	CAUDAL (Lt/Seg)	ESTADO DEL TIEMPO		
		SOLEADO	LLUVIA MODERADA	LLUVIA FUERTE
6:00	17,7	FRESCO		
7:00	18,4	FRESCO		
8:00	18,1	FRESCO		
9:00	16,5	SOLEADO		
10:00	14,6	SOLEADO		
11:00	14,9	SOLEADO		
12:00	18,2	SOLEADO		
13:00	16,5	SOLEADO		
14:00	14,6	SOLEADO		
15:00	16,9	SOLEADO		
16:00	16,6	SOLEADO		
17:00	16	FRESCO		
18:00	15,12	FRESCO		
19:00	15,7	FRESCO		
20:00				
21:00				
22:00				
23:00				
0:00				
1:00				
2:00				
3:00				
4:00				
5:00				
PROMEDIO	16,42			