

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL - SEDE CELENDÍN



TESIS

Para optar el título profesional de: Ingeniero Ambiental

**“EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NITRÓGENO EN UN SISTEMA
UNIFAMILIAR DE TANQUE SÉPTICO MÁS FILTRO
PERCOLADOR”**

PRESENTADO POR:

BACHILLER: JHON ANTONI SÁNCHEZ ROJAS

ASESORES:

ING. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA

ING. JORGE SILVESTRE LEZAMA BUENO

CAJAMARCA - PERÚ

2016

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi padre el Sr. Nazario Sánchez Roncal, al recuerdo inolvidable de mi madre la Sra. Maguina Rojas Rojas, a mi hermana Luz Neida Sánchez Rojas, a mis hijos Antonella Maguina Sánchez Oblitas y Fabricio Nazario Sánchez Oblitas, a mi esposa Doris Lizbeth Oblitas Abanto, a mi tía la Sra. Liduvina Abanto Terrones y mi tío el Sr. Daniel Rojas Rojas, por ser mi fuerza y confianza para seguir cumpliendo con las metas de mi proyecto de vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente en primer lugar a nuestro creador divino Jehová Dios, por darme fortaleza y permitir fortalecer mi confianza para vencer obstáculos, agradezco de manera especial a mis asesores, la Ing. Giovana Chávez Horna y al Ing. Jorge Lezama Bueno por haberme motivado y orientado hasta consolidar el presente informe.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN.....	7
ABSTRAC	9
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Problema de Investigación	11
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Objetivos de la investigación	12
1.3.1. Objetivo general	12
1.3.2. Objetivos específicos.....	12
1.4. Hipótesis de la Investigación.....	12
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
2.1. Antecedentes teóricos de la Investigación.....	13
2.2. Bases teóricas	14
2.2.1. Aguas residuales domésticas	14
2.2.2. Agua residual municipal.....	14
2.2.3. Composición de las aguas residuales domésticas.....	15
2.2.4. Crecimiento de la biomasa y utilización de sustrato	17
2.2.5. Tratamientos biológicos de las aguas residuales	19
2.2.6. Proceso Biológico Aerobio	20
2.2.7. Proceso Biológico Anaerobio.....	20
2.2.8. Tanque séptico.....	22
2.2.9. Filtro percolador anaerobio	22
2.2.10. Proceso biológico anóxico	24
2.2.11. Nitrógeno amoniacal	25
2.2.12. Remoción de nitrógeno de las aguas residuales	26
2.2.13. Proceso de Nitrificación	26
2.2.14. Proceso de desnitrificación.....	29
2.2.15. Factores limitantes en los procesos biológicos.....	30
2.2.16. Límites máximos permisibles nacionales e internacionales para aguas residuales domésticas para un posterior uso	31
2.2.17. Procedimiento de medición de oxígeno disuelto.....	32

III.	MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1.	Ubicación geográfica del trabajo de investigación.....	34
3.2.	Materiales.....	40
3.2.1.	Material biológico	40
3.2.2.	Material de campo.....	40
3.2.3.	Material y equipo de laboratorio	40
3.3.	Metodología	41
3.3.1.	Trabajo de campo.....	41
3.3.1.1.	Punto de muestreo y/o monitoreo.....	41
3.3.1.2.	Frecuencia de Monitoreo.....	42
3.3.1.3.	Toma de muestra del agua residual	42
3.3.2.	Trabajo de laboratorio	44
3.3.3.	Trabajo de gabinete	44
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
4.1.	pH y temperatura.....	45
4.2.	Oxígeno disuelto	47
4.3.	Nitrógeno Amoniacal (NH ₄ ⁺ -N mg/l)	48
4.4.	Nitritos (NO ₂ ⁺ - N mg/l).....	51
4.5.	Nitratos (NO ₃ ⁺ - N mg/l)	54
4.6.	Eficiencia de la planta para la remoción de nitrógeno	55
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
5.1.	Conclusiones	56
5.2.	Recomendaciones.....	57
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	58
VII.	ANEXOS.....	62
VIII.	GLOSARIO.....	64

Lista de figuras

Figura 1: Comportamiento de la DBOC y DBON en el tiempo.....	17
Figura 2: Fases de crecimiento de la biomasa.....	19
Figura 3: Los procesos anaerobios se dan en tres pasos sucesivos	21
Figura 4: Sistema de Tanque Séptico más filtro percolador.....	37
Figura 5 : Tanque séptico	38
Figura 6 : Filtro percolador anaerobio.....	39
Figura 7 : Toma de muestras	41
Figura 8 : Medición de pH en los puntos de monitoreo	45
Figura 9: Promedio de pH	46
Figura 10: Temperatura del agua residual.....	46
Figura 11: Nitrógeno amoniacal NH_4^+ - N mg/l.....	48
Figura 12: Promedio de nitrógeno amoniacal por puntos de monitoreo	49
Figura 13: Recolección de muestras en un punto cercano al Río Grande	51
Figura 14 : Concentración de nitritos NO_2^+ - N mg/l.....	51

Lista de tablas

Tabla 1 : Aporte per cápita de aguas residuales	14
Tabla 2 : Composición típica de las aguas residuales	15
Tabla 3 : Composición típica del agua residual doméstica bruta	16
Tabla 4: Dimensiones del Tanque Séptico.....	38
Tabla 5: Frecuencia de monitoreo	42
Tabla 6: Preservantes y parámetros.....	43
Tabla 7: Comparación de datos de oxígeno disuelto.....	47
Tabla 8 . Comparación de nitrógeno amoniacal con normas internacionales	50
Tabla 9 . Comparación de nitritos con normas internacionales.....	53
Tabla 10. Concentración de nitratos y norma internacional.....	55
Tabla 11: Resultados de laboratorio.....	62

RESUMEN

En este trabajo de investigación se presenta un análisis de la Eficiencia de Remoción de Nitrógeno en un Sistema Unifamiliar de Tanque Séptico más Filtro Percolador del agua residual proveniente de una vivienda unifamiliar, instalado en el margen derecho del Río Grande, a 50 metros del puente Chacapampa, barrio Chacapampa, distrito y provincia de Celendín, región Cajamarca. Teniendo las siguientes coordenadas UTM: por el Este 815795 m y por el Norte 9241365 m, de la zona 17s en el sistema de proyección WGS-84.

Antes de iniciar la investigación se realizó un estudio de las características físicas de la infraestructura del sistema de tratamiento, el cual cuenta con un caudal de diseño de $0.240\text{m}^3/\text{día}$, para 6 habitantes, considerando una tasa de crecimiento de 1.8 % y un periodo de diseño de 10 años.

Los parámetros considerados en la investigación fueron: nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos del agua residual, considerando que la problemática asociada a la presencia de nitrógeno en las aguas residuales, radica ante todo en la eutrofización en los cuerpos de agua, además, el nitrógeno genera efectos negativos, como la reducción de oxígeno disuelto en aguas receptoras y sus consecuente toxicidad para la vida acuática.

Los análisis químicos se realizaron en un laboratorio acreditado por INDECOPI, Servicios Analíticos Generales (SAG), en el proceso de envío se consideró los preservantes necesarios para cada parámetro, como se evidencia en las hojas anexas de cadenas de custodia.

Considerando tres puntos de monitoreo a los cuales se les denominó: afluente del tanque séptico (ATS), efluente del tanque séptico (ETS) y efluente del filtro percolador (EFP), los resultados fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles nacionales e internacionales para un posterior uso del agua tratada, puesto que las aguas del Río Grande (cuerpo receptor) son aprovechadas para regar cultivos en el caserío denominado Pallac; de la presente investigación se concluyó que el sistema de tratamiento tiene un efluente rico en nitrógeno amoniacal, con inexistencia de nitritos y nitratos, debido a que no hay presencia de oxígeno disuelto para que el proceso biológico de nitrificación ocurra.

Palabras claves:

Nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto, pH, temperatura, tanque séptico, filtro percolador.

ABSTRAC

In this research an analysis of the efficiency of removal of nitrogen in a Family System Septic Tank more trickling filter wastewater from a house, installed on the right bank of the Rio Grande is presented, 50 meters from Chacapampa bridge , Chacapampa neighborhood, district and province of Celendin, Cajamarca region. Having the following coordinates UTM: 815 795 m in the east and north 9241365 m, from the 17s zone in the projection system WGS-84.

Before starting the research a study of the physical characteristics of the infrastructure of the treatment system, which has a design flow of 0.240m³ / day, for 6 people, considering a growth rate of 1.8% and a period was conducted design 10 years.

The parameters considered in the research were: ammonia nitrogen, nitrites and nitrates from wastewater, considering that the problems associated with the presence of nitrogen in wastewater, lies primarily in eutrophication in water bodies also nitrogen generated negative effects, such as reduction of dissolved oxygen in receiving waters and their consequent toxicity to aquatic life.

Chemical analyzes were performed in a laboratory accredited by INDECOPI, General Analytical Services (SAG) in the process of sending the preservatives necessary for each parameter was considered, as evidenced in the accompanying sheets of chain of custody.

Considering three monitoring points to which they were called: tributary of the septic tank (ATS), septic tank effluent (ETS) and effluent trickling filter (EFP), the results were compared with the ceilings national and international Eligible for treated water after use, since the waters of the Rio Grande (receiving body) they are harnessed to irrigate crops in the village called Pallac; of this investigation it concluded that the treatment system has a rich effluent ammonia nitrogen, with absence of nitrites and nitrates, because there is no presence of dissolved oxygen for the biological nitrification occurs.

Keywords:

Nitrites, nitrates, ammonia nitrogen, dissolved oxygen, pH, temperature, septic tank, trickling filter.

I. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales domésticas que no pasan por un tratamiento previo son vertidas directamente a los cuerpos receptores como lagos y ríos, alterando la calidad del agua; es decir, si la composición del agua residual doméstica contiene altos niveles de materia orgánica e inorgánica aumenta la demanda bioquímica de oxígeno, provocando la disponibilidad de oxígeno disuelto, en el caso de la presencia de materia inorgánica como fosfatos, nitritos y nitratos, estos pueden dar origen a problemas de eutrofización.

Los sistemas de tratamiento tanque séptico más filtro percolador, puede constituir una alternativa importante para ser aplicada en el tratamiento de aguas residuales que provienen de viviendas unifamiliares, que no cuentan con redes de alcantarillado, este sistema de tratamiento consta de dos unidades importantes, el primero es el tanque séptico, en el que el sustrato es degradado por la biomasa en la zona de sedimentación, va acumulándose lodos que deben ser retirados a una cámara de lodos para su estabilización, la actividad de retiro de lodos significa el mantenimiento o manejo de la planta, la segunda unidad es el filtro percolador, que consta de un medio altamente permeable, pueden utilizarse rocas para que en la superficie de las misma se genere una biopelícula del sustrato y adherirse microorganismos, a través del cual el residuo líquido percola.

En ese sentido, resulta útil determinar la remoción de los parámetros orgánicos e inorgánicos que constituyen las composiciones típicas de las aguas residuales domésticas; para lo cual el presente informe de tesis busca presentar los resultados del análisis, realizando el monitoreo de tres puntos del sistema de tratamiento del agua residual doméstica procedente de una vivienda unifamiliar.

Los resultados obtenidos permiten coincidir con autores e investigaciones realizadas con el mismo enfoque, es preciso decir que en este sistema de tratamiento se requiere de un componente adicional de fase aerobia para lograr un tratamiento biológico completo de las aguas residuales.

El objetivo del presente estudio fue determinar la eficiencia de remoción de nitrógeno en un sistema unifamiliar de tanque séptico más filtro percolador, para lo cual se tenía que determinar la concentración de nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal, también

medir otros parámetros como el pH y temperatura, luego contrastar resultados con los límites máximos permisibles de las normas nacionales e internacionales.

El informe de tesis consta de VIII ítems, siendo el primer ítem la introducción, el segundo ítem contiene la revisión de la literatura, que es el pilar fundamental al momento de la interpretación de los resultados, el tercer ítem contiene los materiales y métodos que se emplearon para la recolección de datos y obtención de los resultados, para el cual se siguieron procedimientos establecidos, el cuarto ítem contiene los resultados y discusión, se puede decir que este ítem es la parte central de la tesis, ya que consta de la discusión en pH y temperatura, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y la importancia ambiental del sistema de tratamiento, el quinto ítem muestra las conclusiones y recomendaciones, el sexto ítem muestra la bibliografía citada de acuerdo a la norma ICA CATIE, el séptimo ítem contiene los anexos y el octavo ítem muestra el glosario de términos.

1.1. Problema de Investigación

Uno de los contaminantes del agua es el nitrógeno (Cervantes *et al.*, 2000), desde hace más de un siglo se viene trabajando en la remoción de materia orgánica, más recientemente, se ha incorporado procesos tendientes a mejorar la remoción de nitrógeno presente en aguas residuales domésticas González y Saldarriaga (2008), la problemática asociada a la presencia de nitrógeno en las aguas residuales radica sobre todo en la eutrofización en los cuerpos de agua, además que, el nitrógeno genera efectos negativos, como la reducción de oxígeno disuelto en la corriente receptora Ferrer y Seco (2008) y su consecuente toxicidad para la vida acuática. Debido a ello, el interés en la remoción de nitrógeno se ha visto reflejado en el incremento de proyectos de investigación como en el caso del presente estudio.

En la actualidad no se cuenta con publicaciones de estudios realizados de calidad del efluente, desconociéndose así la eficiencia de remoción del nitrógeno en el Sistema Unifamiliar de Tanque Séptico más Filtro Percolador, ubicada al margen derecho del Río Grande, a 50 metros del puente Chacapampa, barrio Chacapampa, distrito y provincia de Celendín, región Cajamarca.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de remoción de nitrógeno en el sistema tanque séptico más filtro percolador de una vivienda unifamiliar?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia de remoción de nitrógeno en un sistema unifamiliar de tanque séptico más filtro percolador

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal en los tres puntos de monitoreo el sistema tanque séptico más filtro percolador.
- Determinar el pH y la temperatura en los tres puntos de monitoreo del sistema tanque séptico más filtro percolador.
- Contrastar resultados con los Límites Máximos Permisibles de las normas nacionales e internacionales.

1.4. Hipótesis de la Investigación

El sistema de tanque séptico más filtro percolador es eficiente en la remoción de nitrógeno.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes teóricos de la Investigación

Existen experiencias de remoción de nutrientes de las aguas residuales, tal es el caso de la tesis titulada “Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas”, en la que se muestra conclusiones con respecto a la remoción de nitrógeno de la siguiente manera:

Con *Azolla filiculoides*

A altas concentraciones de nitratos, la capacidad de la *Azolla filiculoides* en remover este parámetro es menor; por ejemplo para una concentración inicial de 34.70 mg/l, la remoción solo llegó a un 13%, mientras que para 9.75 mg/l la remoción fue del 100%.

Las concentraciones de nitritos, elementos tóxicos para las plantas acuáticas, fueron menores a 1 mg/l; en verano (20°C a 25.4°C), la remoción fue del 95%, en otoño (8°C a 17.5°C) del 17% y en invierno del 69%. Es decir el crecimiento y desarrollo de la *Azolla filiculoides* a lo largo del experimento se realizó normalmente y sin una representativa interferencia de estos iones (García, 2012).

Con *Lemna minor* y Jacinto de Agua

Tratando con *Lemna minor*, la capacidad de remoción del nitrógeno amoniacal hasta un periodo de retención de 2.5 días presentó un 67%, mientras que para 5 días presentó una remoción del 100%; teniendo presente que esta absorción no es netamente debido a la planta acuática.

Tratando con Jacinto de Agua, la capacidad de remoción del nitrógeno amoniacal tanto para un periodo de retención de 2.5 días como para 5 días presentó un 86% (García, 2012).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales domésticas

Según, Romero (2008) lo define como los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. También es usual la denominación de *aguas negras*, las cuales provienen de los inodoros, por lo tanto transportan excrementos humanos y orinas ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. Así mismo las *aguas grises* son aquellas que provienen de las tinas, duchas, lavados de mano y lavadoras, aportando DBO, sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales; siendo así, aguas residuales domésticas, sin incluir las de los inodoros.

La Norma Técnica OS. 090: 2006 lo define como agua de origen doméstico, comercial e industrial a aquella que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

2.2.2. Agua residual municipal

Son aguas residuales domésticas. Se pueden incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial, siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (Norma, OS. 090).

Tabla 1 : Aporte per cápita de aguas residuales

APORTE PER CÁPITA PARA AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	
PARÁMETROS	
DBO 5 días, 20°C, g / (hab.d)	50
Sólidos en suspensión, g / (hab.d)	90
NH ₃ -N como N, g / (hab.d)	8
N Kjeldahl total como N, g / (hab.d)	12
Fósforo total, g / (hab.d)	3
Coliformes fecales, N° de bacterias / (hab.d)	2x10 ¹¹
Salmonella <i>Sp.</i> , N° de bacterias / (hab.d)	1x10 ⁸
Nematodos intes., N° de huevos / (hab.d)	4x10 ⁵

Fuente: Adaptado de NORMA OS.090:2006

2.2.3. Composición de las aguas residuales domésticas

La composición de las aguas residuales, hace referencia a los constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes. En las figuras siguientes, se muestra valores típicos de la composición de las aguas residuales, según autores.

Tabla 2 : Composición típica de las aguas residuales

Parámetro	Magnitud	
Sólidos totales	720	mg/L
Sólidos disueltos	500	mg/L
Sólidos disueltos volátiles	200	mg/L
Sólidos suspendidos	220	mg/L
Sólidos suspendidos volátiles	165	mg/L
Sólidos sedimentables	10	mg/L
DBO	220	mg/L
COT	160	mg/L
DQO	500	mg/L
Nitrógeno total	40	mg/L-N
Nitrógeno orgánico	15	mg/L-N
Nitritos	0	mg/L-N
Nitratos	0	mg/L-N
Fósforo total	8	mg/L-P
Fósforo orgánico	3	mg/L-P
Fósforo inorgánico	5	mg/L-P
Cloruros	50	mg/L-Cl
Alcalinidad	100	mg/L- CaCO ₃
Grasas	100	mg/L

Fuente: Adaptado de Romero (2008:21)

Tabla 3 : Composición típica del agua residual doméstica bruta

Contaminantes	Concentración			
	Unidades	Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Disueltos, totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos suspendidos (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	mg/l	5	10	20
Demanda Bioquímica de oxígeno, mg/l 5 días, 20°C (DBO ₅ , 20°C)	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	30	50	100
Cloruro	mg/l	20	30	50
Alcalinidad como CaCO ₃	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	n°/100 ml	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	µg/l	<100	100- 400	>400

Fuente: adaptado de Metcalf y Edy. 1998

Las aguas residuales domésticas están constituidas principalmente por materia orgánica y nutrientes inorgánicos, dentro los nutrientes inorgánicos encontramos a los compuestos nitrogenados que se presentan en forma de amonio NH₄⁺, provenientes de la urea de la orina y los compuestos de fosfato; al respecto, Romero (2008) indica que la descomposición de la materia orgánica, especialmente la hidrólisis de las proteínas, produce material no carbonáceo como el amoníaco. Este material, nitrógeno amoniacal, es oxidado por las bacterias nitrificantes a nitrito y nitrato causando una demanda de oxígeno conocida como demanda bioquímica nitrogenácea (DBON).

Cuando se mide en laboratorio las demandas de oxígeno de varios días consecutivos, DBO_1 , DBO_2 , DBO_3 ,... DBO_i , se observa que la DBOC ejercida, aumenta día a día, pero eventualmente a los cinco días empieza a ejercerse también la DBON. Al respecto Orozco (2005) señala que, a los cinco días aparecen las bacterias nitrificantes que consumen la materia orgánica proteica.

Para Romero (2008), las formas de interés en aguas residuales son las de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos. Así mismo, Orozco (2005), menciona que cuando un agua residual descarga en un río, el nitrógeno está principalmente en forma orgánica, y luego se descompone a amoníaco, Nitrito y Nitrato sucesivamente, todos son formas interconvertibles bioquímicamente y componentes del ciclo del nitrógeno.

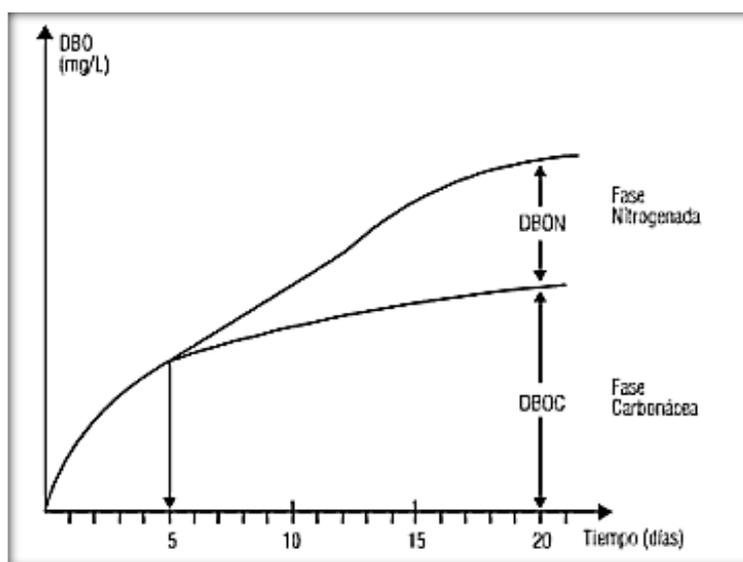


Figura 1: Comportamiento de la DBOC y DBON en el tiempo.

Fuente: Orozco, 2005: 21.

2.2.4. Crecimiento de la biomasa y utilización de sustrato

Existe una estrecha relación entre el crecimiento de la biomasa y el consumo del sustrato, conociéndose como rendimiento a la cantidad de biomasa generada por unidad de sustrato. Ferrer y Seco (2008) indican que los microorganismos crecen utilizando los contaminantes del agua como fuente de

carbono y/o energía (sustrato), convirtiéndolos en nuevos microorganismos (biomasa), dióxido de carbono y otros compuestos inocuos. El consumo de sustrato que es el objetivo del tratamiento de las aguas residuales se da por fases (Metcalf y Eddy, 1998):

Primera fase: la primera fase consiste en la aclimatación de los microorganismos al ambiente y al alimento disponible, al cual se le conoce como *fase de retardo*, esta fase varía dependiendo de los microorganismos sembrados, si los microorganismos están adaptados a un ambiente y sustrato similar, la fase de retardo será muy breve, pues una vez que se ha iniciado el crecimiento, continuará rápidamente, así, las células bacterianas se reproducen por fisión binaria, es decir, se dividen en segmentos para formar dos nuevas células independientes entre sí. El tiempo de regeneración, o tiempo requerido para que una célula madure y se separe, puede ser tan corto como 20 minutos, y depende también de factores ambientales y del suministro de sustrato.

Segunda fase: en esta fase, como los microorganismos ya se aclimataron, entonces crecen logarítmicamente, por lo que se conoce también como *fase logarítmica*, la reproducción se presenta de manera exponencial de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Nf_i 2^{n/1}$$

Donde **N** es el número de microorganismos producidos a partir de uno individual después de **n** veces de regeneración.

La biomasa se incrementa de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\frac{dX}{dt} = kX$$

Dónde

dX/dt = rapidez de crecimiento de la biomasa, $mg L^{-1} t^{-1}$.

X = concentración de la biomasa, mg/l .

K = constante de rapidez de crecimiento, t^{-1} .

Tercera fase: luego que se presenta el crecimiento logarítmico, llegan un nivel de *fase estacionaria* en el cual se produce bajo nivel de biomasa y va disminuyendo el sustrato, es decir se aproxima a un equilibrio entre la biomasa y el sustrato, sin embargo puede ocurrir el cambio de las condiciones ambientales o agotarse el sustrato por lo que inicia la siguiente etapa endógena.

Cuarta fase: la cuarta fase o *fase endógena* muestra el agotamiento del sustrato y mayor presencia de biomasa, desarrollándose población de depredadores debido a que las células son incapaces de obtener alimento de fuentes externas, iniciando así el catabolismo endógeno, es decir, catabolizan el protoplasma almacenado para mantener su energía, otras células mueren, o se rompen liberando su protoplasma, el cual se agrega al alimento disponible.

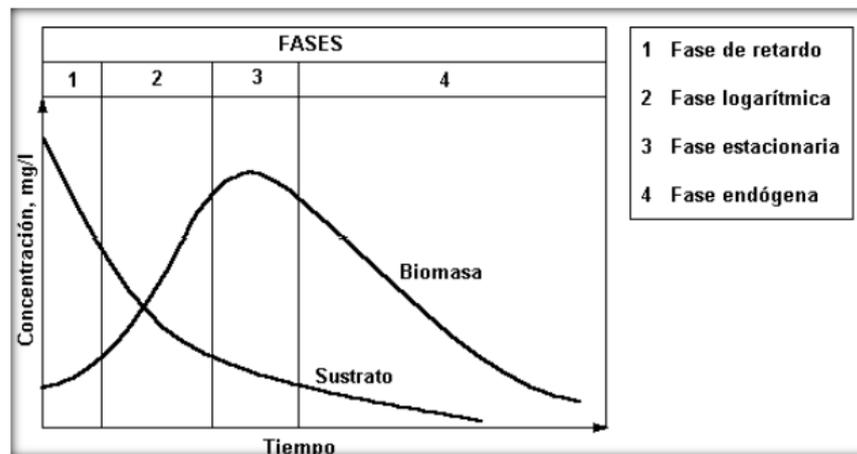


Figura 2: Fases de crecimiento de la biomasa.

Fuente: Orozco 2005.

2.2.5. Tratamientos biológicos de las aguas residuales

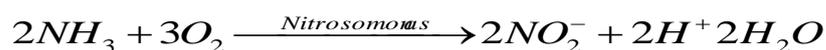
El tratamiento biológico, también conocido como tratamiento secundario, tiene como objetivo la remoción de materia orgánica, desechos y sustancias que con la sedimentación del tratamiento primario no se eliminaron. Según Romero (2008) los procesos biológicos tienen cuatro grupos principales: procesos anaerobios, procesos anóxicos, procesos aerobios y procesos combinados, aerobios con anóxicos o con anaerobios. Actualmente los procesos biológicos no son utilizados únicamente para la eliminación de materia orgánica, sino

también para la remoción de nitrógeno amoniacal y de fósforo. Estos procesos se presentan a diversas clasificaciones, diferenciando claramente a los procesos biológicos de cultivos en suspensión y a los procesos biológicos de soporte sólido (Metcalf y Eddy, 1998).

2.2.6. Proceso Biológico Aerobio

El proceso biológico aerobio es un proceso de respiración de oxígeno en el cual el oxígeno libre es el único aceptor de electrones, de tal manera que el oxígeno es reducido y la materia orgánica e inorgánica es oxidada. Es decir todos los organismos que usan oxígeno libre como aceptor de electrones son aerobios.

Así tenemos para el caso de la oxidación de NH_3 , la siguiente expresión de proceso biológico aerobio.



Romero (2008) refiere que las bacterias son los organismos más importantes en el tratamiento aerobio de las aguas residuales porque son excelentes oxidadores de materia orgánica y crecen muy bien en aguas residuales.

Las características físico-químicas del agua residual, se convierte en un factor de desarrollo de los microorganismos en el sistema aerobio, existiendo compuestos contaminantes que son degradables biológicamente y otros que no lo son, y a medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad con que los microorganismos degradan la materia orgánica, pero a partir de los 37°C , dichos organismos mueren, por otro lado los nutrientes son fundamentales para el desarrollo de la síntesis biológica en pequeñas cantidades.

2.2.7. Proceso Biológico Anaerobio

Los procesos biológicos anaerobios son aquellos en los cuales los microorganismos actúan en ausencia de oxígeno, al respecto Russell (2012) manifiesta que la descomposición anaerobia produce ácidos orgánicos y gas, así mismo, el tratamiento anaerobio es relativamente lento, a menudo es sensible a

la temperatura y altamente sensible a las toxinas, puede ser fácilmente alterado y requiere una importante mezcla.

Por otro lado Ferrer y Seco (2008) aclara que el proceso biológico anaerobio consiste en la ausencia de oxígeno y nitrato, también describe los pasos sucesivos del proceso anaerobio:

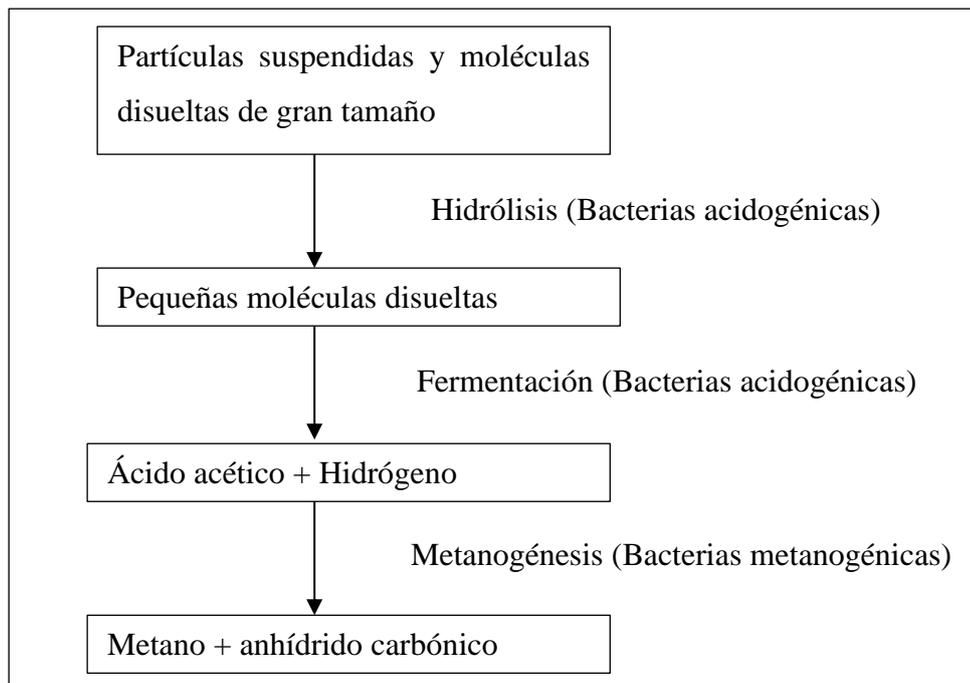


Figura 3: Los procesos anaerobios se dan en tres pasos sucesivos

Fuente: Ferrer y Seco 2008

El proceso anaerobio es menos eficiente en producción de energía que el aerobio, puesto que la mayoría de la energía liberada en el catabolismo anaerobio proveniente de la sustancia descompuesta aún permanece en los productos finales orgánicos reducidos como el metano, generosamente una cantidad de biomasa mucho menor que la producida en el proceso aerobio. Romero (2008) precisa que la descomposición anaerobia es posible con todos los compuestos orgánicos que contienen oxígeno en sus moléculas.

Rios, R. en su investigación “Disminución de la carga contaminante orgánica del efluente de las cámaras sépticas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra” en Colombia, tiene como resultado que en sistema Cámara Séptica (CS) y Filtro

Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) la remoción de P y N Amoniacal no ha existido, presentándose un aumento en la concentración de estos parámetros, situación normal es en este tipo de procesos anaerobios, por lo que recomienda un sistema de infiltración posterior al sistema de tratamiento.

2.2.8. Tanque séptico

El tanque séptico es una estructura de separación de sólidos que acondiciona las aguas residuales para su buena infiltración y estabilización en los ecosistemas de percolación que necesariamente se instalan a continuación, pues es un tanque de sedimentación de acción simple, en el que los lodos sedimentados están en contacto inmediato con las aguas residuales domésticas que entran al tanque, mientras los sólidos orgánicos se descomponen por acción bacteriana anaerobia.

Para Romero (2008), el tanque séptico, en el cual la sedimentación y la digestión del residuo ocurre en el mismo recipiente, es el sistema más usado para adecuar el agua residual con el fin de dispersarla en el subsuelo mediante campos de infiltración o para pos tratarla en filtros anaerobios, filtros intermitentes de arena o procesos biológicos en el mismo sitio.

Dentro de los parámetros de remoción que se dan en el tanque séptico son: DBO con una eficiencia de 30 a 50%, aceites y grasas en un 70 a 80%, de fósforo en un 15% y de SS de 50 a 70%, para descarga de efluentes de tratamiento secundario se estipula un pH de 6,0 a 9,0; para procesos biológicos de nitrificación se recomiendan valores de pH de 7,2 a 9,0 y para desnitrificación de 6,5 a 7,5 (Romero, 2008).

2.2.9. Filtro percolador anaerobio

El filtro anaerobio es una columna de diversos tipos de medios de sólidos que se utiliza en el tratamiento de aguas residuales, el agua a tratar fluye en sentido ascendente, entrando en contacto con el medio sobre el cual se genera una fina capa de bacterias anaerobias. La Norma OS.090:2006 refiere que la película de microorganismos que se desarrolla sobre el medio filtrante estabiliza la materia orgánica del agua residual.

El filtro percolador o biofiltro es un proceso muy usado para el tratamiento de aguas residuales. El filtro biológico no es un proceso diseñado para ejercer una verdadera acción de tamizado o filtración del agua residual sino para poner en contacto aguas residuales con biomasa adherida a un medio de soporte fijo, constituyendo un lecho de oxidación biológica.

El lecho del filtro percolador consiste en un medio altamente permeable, al cual se adhieren microorganismos y a través del cual el residuo líquido percola. Metcalf y Eddy (1998) refieren que usualmente el medio de rocas es de tamaño cambiante entre 2,5 y 10 cm, para la norma técnica OS 090:2006 cuando se utilicen piedras pequeñas, el tamaño mínimo será de 25 mm y el máximo de 75 mm, para piedras grandes, su tamaño oscilará entre 10 y 12 cm. En cuanto a la profundidad, también es variable según el diseño, para Metcalf y Eddy (1998) generalmente de 1 a 2,5 m, en promedio 1,8 m, mientras que para la norma técnica OS. 090:2006 un filtro de baja carga está en un rango de 1.5m a 3 m. El sistema de drenaje es importante como unidad de evacuación del agua tratada, puesto que para los filtros de flujo ascendente el tubo de drenaje está en la parte superior, el mismo también permite la circulación del aire. El material orgánico presente en el agua residual es adsorbido y descompuesto por la biomasa adherida al medio filtrante; en la porción interior, cerca de la superficie del medio, predominan condiciones anaerobias; en la parte externa, condiciones aerobias (Romero, 2008).

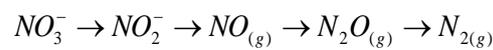
A medida que la película biológica aumenta de espesor, la materia orgánica adsorbida es utilizada por los microorganismos aerobios de la parte externa, como resultado de esto, los microorganismos de la parte interna no disponen de suficiente sustrato y entran en crecimiento endógeno. En dicha fase pierden su capacidad de adherencia al medio, son arrastrados por la acción de lavado del agua residual, se desprende la película biológica y se inicia el crecimiento de una nueva lama de microorganismos. Este fenómeno de pérdida o desprendimiento de la biomasa es función, principalmente de la carga orgánica y de la carga hidráulica sobre el filtro. La carga hidráulica afecta la velocidad de arrastre y la carga orgánica incide sobre la tasa de metabolismo de la película biológica.

Los filtros anaerobios también pueden ser útiles para desnitrificar efluentes ricos en nitratos o como pretratamiento en plantas de purificación de agua (Romero, 2008:707), el medio filtrante permanece sumergido en las aguas residuales, permitiendo una concentración alta de biomasa y un efluente claro.

2.2.10. Proceso biológico anóxico

Este proceso es muy importante para la eliminación de nitrógeno de las aguas residuales, el proceso anóxico, conocido también como proceso de respiración de nitrato. Al respecto Romero (2008) lo define como el conjunto de reacciones de reducción del nitrato o nitrito, en los cuales estos se utilizan como aceptores de electrones, en ausencia de oxígeno libre.

La desnitrificación en este proceso biológico se lleva a cabo en cuatro etapas principales, en la que el nitrato es reducido por microorganismo para obtener energía:



Nitrato → *Nitrito* → *Óxido nítrico* → *Óxido nitroso* → *Nitrógeno*

En cada una de estas etapas interviene una enzima reductasa específica que cataliza la transferencia de electrones al nitrógeno, los cuales se originan en el sustrato o donador de electrones, teniéndose para la desnitrificación como sustrato un residuo orgánico o inorgánico.

Al proceso anóxico también se le conoce como desnitrificación anaerobia, porque el resultado es la liberación de N₂, pero como las vías principales de conversión bioquímica no son anaerobias sino una modificación de las vías aerobias, se ha considerado más apropiadamente denominarlo proceso anóxico. La única diferencia entre la respiración aerobia y la anóxica radica en la enzima que cataliza la transferencia final de electrones (Romero, 2008), por lo que para que ocurra la desnitrificación se debe excluir el oxígeno; de lo contrario si

existen simultáneamente el oxígeno y nitrato, los microorganismos prefieren el oxígeno como aceptor de electrones.

2.2.11. Nitrógeno amoniacal

El nitrógeno amoniacal se considera todo el nitrógeno existente en solución como amoníaco o como ion amonio, dependiendo del pH de la solución (Grupo de Estudio Técnico Ambiental de DIGESA), el cual se produce por descomposición de la urea, compuesto siempre presente en las aguas residuales sanitarias, por hidrólisis enzimática, esta descomposición da como productos NH_3 (amoníaco disuelto) y NH_4^+ (ión amonio). Marín y Correa (2010) mencionan que la forma tóxica del nitrógeno amoniacal es la no ionizada (NH_3); la forma iónica (NH_4^+) no es tóxica. Por lo tanto, a pH bajo, una concentración relativamente alta de nitrógeno amoniacal total puede ser tóxica, puesto que solo una pequeña porción del total estará presente como NH_3 .

La hidrólisis es rápida, por lo que la urea raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes. El amoníaco está en equilibrio con el anión amonio, en función del pH de la solución, de acuerdo con la ecuación.



A niveles de pH superiores a 7, el equilibrio se desplaza hacia la izquierda, mientras que a valores de pH inferiores a 7 el NH_4^+ es predominante. El nitrógeno amoniacal es entonces el resultado de la hidrólisis de la urea, según la ecuación química, así como de otras sustancias proteínicas presentes en el agua residual sanitaria.



La hidrólisis de la urea se ve favorecida por un pH alcalino, entre 8,2 y 9,0, y el avance de la hidrólisis origina a su vez un aumento del pH del medio. Como se ha indicado, el proceso es rápido y produce una cantidad excesiva de amoníaco, que sobrepasa los requerimientos de los microorganismos para la

síntesis proteica, con la consecuente pérdida de nitrógeno en el medio y posible peligro de toxicidad.

2.2.12. Remoción de nitrógeno de las aguas residuales

En el agua residual, el nitrógeno puede estar presente de múltiples formas, y son numerosas las transformaciones que pueden sufrir en los diferentes procesos de tratamiento, sin embargo los dos mecanismos más importantes son la asimilación y las nitrificación – desnitrificación (Metcalf y Eddy 1998), pues la remoción de nitrógeno es de gran importancia ambiental, ya que su aumento en sistemas acuáticos lenticos genera el fenómeno de la eutrofización, la tesis de García (2012) explica que, la eutrofización consiste en un enriquecimiento excesivo de los elementos nutritivos del agua, que da lugar a una serie de cambios sistemáticos indeseables, entre ellos la producción perjudicial de algas y otras plantas acuáticas, el deterioro de la calidad de agua, la aparición de malos olores y sabores desagradables y la muerte de peces en el cuerpo de agua. Para que ocurra la remoción de nitrógeno de las aguas residuales es necesario dos procesos fundamentales: la nitrificación y desnitrificación, siendo este método el más adecuado para la eliminación del nitrógeno.

Al respecto Ferrer y Seco (2008) manifiestan que este método se realiza en una o dos etapas, dependiendo de si el nitrógeno en el agua residual a tratar está en forma de amoníaco o de nitrato, en el primer caso se necesitan dos etapas: una primera aerobia para la transformación del amoníaco en nitrato (nitrificación) y una segunda anóxica, para la conversión de los nitratos en nitrógeno gas (desnitrificación), en cambio si el nitrógeno del agua residual se encuentra ya en forma de nitrato, solo se precisa la etapa de desnitrificación.

2.2.13. Proceso de Nitrificación

Dentro del proceso de nitrificación existen, bacterias que pertenecen a la familia Nitrobacteraceae, que actúan en la conversión del amoníaco, el proceso respiratorio nitrificante se lleva a cabo en dos etapas: 1) oxidación de amonio a nitrito y 2) oxidación de nitrito a nitrato, en cada una de ellas participan microorganismos de géneros diferentes, es decir, no se han identificado microorganismos que puedan convertir directamente el amonio a nitrato.

Existen indicios de que una conversión total de la reacción de nitrificación depende de que se mantenga un nivel mínimo de oxígeno de 2 mg/l en el tanque de aireación, y preferiblemente 4 mg/l porque así se asegura una oxidación más completa (Russell 2012), de manera general la nitrificación ocurre según la siguiente reacción

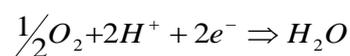
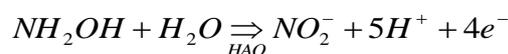
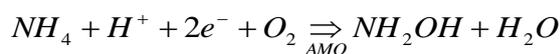


Teniendo una constante cinética de crecimiento de las bacterias nitrificantes de la forma:

$$K_N = 10^{(0.51T - 1.158)}$$

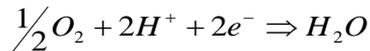
Donde T es la temperatura en °C.

Estudios realizados por Cervantes, *et al.* (2000) sobre los avances en la eliminación biológica del nitrógeno de las aguas residuales indica que, la oxidación del amonio se realiza por bacterias litoautotróficas de los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrosolobus*, entre otros. En un primer paso, la enzima amonio mono oxidasa (AMO) transforma el amonio en hidroxilamina, que posteriormente se convierte en nitrito, mediante la hidroxilamina oxido-reductasa (HAO).



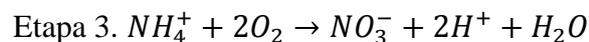
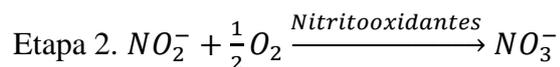
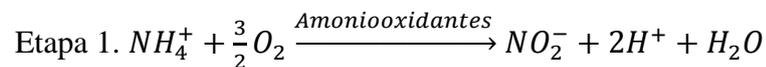
Durante esta etapa ocurre el mayor consumo de oxígeno (4.33 mgO₂/mg N-NH₄⁺ oxidado), además que se generan iones hidrógeno, propiciando en el cultivo un descenso del *pH*. La enzima AMO es membranal, mientras que la enzima HAO se localiza en el periplasma. La oxidación de la hidroxilamina aporta 4 electrones, único sitio reductor en donde se genera energía, lo que explica porque estas bacterias tienen un rendimiento de crecimiento muy bajo.

La oxidación del nitrito a nitrato la pueden realizar bacterias del género *Nitrobacter* y *Nitrosococcus*, mediante la acción de la nitrito óxido-reductasa (NOR).



Ferrer y Seco (2008) sustentan que las bacterias responsables de la nitrificación son estrictamente autótrofas, presentando una tasa de crecimiento mucho menor que las bacterias heterótrofas encargadas de la degradación de la materia orgánica, requiriendo de las fases aerobia y anóxica para la eliminación de nitrógeno.

A las temperaturas habituales de las EDAR (10-25 °C) las bacterias nitrooxidantes crecen más de prisa que las amoniooxidantes lo que significa que el amonio es oxidado completamente a nitrato (Ferrer y Seco, 2008), ello se comprende con las siguientes reacciones por etapas.



Para las condiciones habituales de operación de una EDAR (tiempos de retención celular inferiores a 25 días y temperaturas del agua en el reactor inferiores a 25 °C), la etapa 1 corresponde con la etapa limitante del proceso de nitrificación debido a que el nitrito producido es rápidamente oxidado a nitrato Claros (2012).

2.2.14. Proceso de desnitrificación

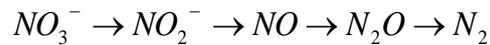
La desnitrificación supone un ahorro de energía al utilizarse los nitratos como aceptores de electrones en el proceso de oxidación de la materia orgánica en lugar del oxígeno (Ferrer y Seco, 2008), por lo que estos procesos son anóxicos, teniendo como resultado final la pérdida de nitrógeno del sistema al reducir los nitratos a nitrógeno gas. Metcalf y Eddy (1998) refieren que las bacterias anaerobias obtienen la energía a partir de la conversión de nitrato en nitrógeno gas, pero necesitan una fuente de carbono para la síntesis celular.

En la desnitrificación una vez que se ha oxidado el amonio a nitrato, este último puede ser reducido a N_2 , mediante la desnitrificación biológica, la desnitrificación es un proceso respiratorio anaerobio heterotrófico del tipo anóxico (similar al de los microorganismos de respiración aerobia) donde la reducción del nitrato hasta N_2 sigue una serie de pasos que involucra la actividad de diferentes enzimas.

La investigación realizada por Cervantes *et al.* (2000) indica que los géneros desnitrificantes más citados incluyen, *Alcaligenes*, *Paracoccus*, *Pseudomonas*, *Thiobacillus* y *Thiosphaera*, entre otros, la mayoría de ellos son heterótrofos, pero algunos pueden crecer autotróficamente en hidrógeno y CO_2 , o en compuestos sulfurados reducidos, pues la mayoría de estos microorganismos poseen la enzima nitrato reductasa para reducir nitrato a nitrito. Así también, algunas especies, como, *Pseudomonas aureofaciens*, no poseen la óxido nitroso reductasa, así que su producto final es N_2O .

El primer paso de la desnitrificación es la reducción de NO_3^- a NO_2^- , catalizado por la nitrato reductasa. Se han identificado dos tipos de nitrato reductasa, una membranal, la otra es una enzima soluble que se localiza en el periplasma. El segundo paso es la reducción de NO_2^- a NO por medio de la nitrito reductasa. Luego la reducción de NO a N_2O , está catalizada por óxido nítrico reductasa. La última etapa de la desnitrificación es la reducción de N_2O a N_2 . Es llevada a cabo por el óxido nitroso reductasa, localizada en el periplasma, esta enzima es severamente inhibida por la presencia de oxígeno en el proceso

desnitrificante para no liberar N_2O , gas que contribuye al efecto invernadero del planeta.



Cada paso tiene una velocidad específica que depende de las características cinéticas de cada enzima. Así, si las enzimas involucradas en los últimos pasos presentan una velocidad de reacción menor que las de la primera etapa, habrá la acumulación de intermediarios.

Una variable ambiental que también puede influir en la acumulación de intermediarios indeseables en un proceso desnitrificante es el pH. Se ha descrito que en condiciones ácidas (pH 6 o menor) se acumula ácido nitroso, muy tóxico para las bacterias. A valores de pH ligeramente alcalinos, el nitrato es convertido a N_2 (Cervantes *et al.*, 2000).

La desnitrificación produce alcalinidad; por cada miligramo por litro de NO_3^- -N reducido a N_2 , se producen 3.6 ml/L de alcalinidad, la mineralización del nitrógeno orgánico celular también produce alcalinidad como bicarbonato de amonio; por cada miligramo por litro de N orgánico se obtienen 3.6 mg/l de alcalinidad como NH_4HCO_3 (Romero, 2008).

2.2.15. Factores limitantes en los procesos biológicos

Los factores ambientales juegan un papel muy importante en los procesos biológicos para la eliminación o remoción de nitrógeno de las aguas residuales, así tenemos a la temperatura y el pH. Metcalfy Eddy (1998) refieren que el intervalo de un pH óptimo para la desnitrificación es de 7 y 8, para la nitrificación el pH óptimo esta entre 7.5 y 8.6, además indica que para que se produzca la nitrificación, es fundamental que exista concentraciones de oxígeno disuelto por encima de 1mg/l, en tanto que para la desnitrificación la presencia de OD suprime el sistema enzimático. Al respecto Russell (2012) revela que existen indicios de que una conversión total de la reacción de nitrificación depende de que se mantenga un nivel mínimo de oxígeno de 2 mg/l en el tanque de aireación, y preferiblemente de 4 mg/l porque así se asegura la oxidación más completa.

Respecto al oxígeno disuelto, Romero (2008) manifiesta que en un proceso anóxico una concentración de 0.1 a 0.2 mg/l tiene efectos inhibitorios, esto debido a que las bacteria prefieren al oxígeno como aceptor de electrones.

2.2.16. Límites máximos permisibles nacionales e internacionales para aguas residuales domésticas para un posterior uso

A nivel internacional existen Guías de calidad de agua para riego, como lo que tiene la FAO, la Guía canadiense y como el de la OMS (Organización Mundial de la Salud) los cuales están basados en estudios sobre la toxicidad de elementos contaminantes en las plantas y en el suelo, como la calidad del agua residual depende del uso de las aguas del cuerpo receptor al cual se vierte, o del uso directo de las aguas residuales tratadas se ha considerado las siguientes normas que están en el compendio del Grupo de Estudio Técnico Ambiental de DIGESA, porque en el Perú no existe normatividad con LMP en el parámetro de Nitrógeno para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

La FAO, establece para el nitrato un valor de <5.00 mg/l, que representa ningún grado de restricción de uso para aguas destinadas al uso agrícola.

La FAO establece para el nitrato y nitrito una concentración de 100 mg/l para aguas destinadas a la bebida del ganado.

La Norma para el Control de la Calidad de los cuerpos de agua de Venezuela, establece un valor de 10 mg/l como límite máximo de concentración para los nitritos y nitratos, en aguas destinadas al riego de hortalizas, legumbres consumidas en crudo, cereales, y cultivos arbóreos.

La Norma para prevenir la Contaminación Ambiental de Paraguay, establece como concentración máxima de 10 mg/l para el nitrato en aguas destinadas para el riego de hortalizas o plantas frutícolas u otros cultivos destinados al consumo humano en forma natural.

La Guía Canadiense de la Calidad del Agua, establece para el nitrato y nitrito una concentración de 100 mg/l para aguas destinadas a la ganadería.

La Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua de Ecuador, establece para el nitrato y nitrito una concentración de 10 mg/l para aguas destinadas al uso pecuario.

La Norma Técnica Nacional para agua de uso Agrícola y Pecuario, de Honduras establece para el nitrato y nitrito una concentración de 10 mg/l en aguas destinadas al uso pecuario.

El Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, indicando un pH para vertido a un cuerpo de agua de 6.5 a 8.5, y una temperatura menor a los 35 C°; pero no presenta los LMP para compuestos del nitrógeno.

Según la legislación de Honduras en la clase III (A) se establece que las concentraciones para nitrógeno amoniacal total son de 0.5 mg/l, la misma concentración establece para A2.

La Norma Brasileña recomienda para nitrógeno amoniacal:

Para un pH de 7.5 recomienda 3.7 mg/l

Para pH entre 7.5 y menores que 8 recomienda 2 mg/l

Para pH menores de 8.5 recomienda 1 mg/l

Para pH mayores a 8.5 recomienda 0.5 mg/l

2.2.17. Procedimiento de medición del oxígeno disuelto

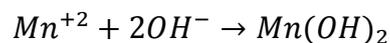
El procedimiento fue del manual de análisis químicos medioambientales de Quispe C. y Zambrano W.

- Primero se tomó las muestras de cada uno de los puntos de monitoreo, para la toma de muestra se tuvo especial cuidado para no introducir burbujas de aire. La botella se debe enjuagar por lo menos dos veces con la muestra de agua y dejar que rebose.

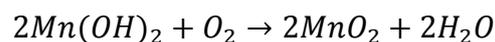
- Agregar 2 ml de solución de sulfato de manganeso y luego 2 ml de solución yoduro-alcalina, introduciendo la pipeta hasta la parte media de la botella. Tapar y agitar fuertemente.
- Adicionar 2 ml de solución de ácido sulfúrico al 70%, Agitar hasta disolución del precipitado.
- Dejar en reposo por 10 minutos y agitar.
- Tomar alícuotas de 50 ml por duplicado.
- Titular con solución de tiosulfato 0.01 N hasta que tome un color amarillo pálido.
- Adicionar 2 ó 3 gotas de solución de almidón.
- Seguir titulando hasta desaparición del color azul.
- Anotar el gasto de solución de tiosulfato.

Fundamento

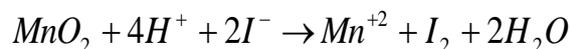
La muestra de agua se hace reaccionar con una solución de iones manganeso:



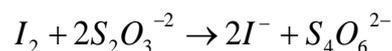
El cual se oxidará utilizando el oxígeno disuelto en el medio, dando un compuesto de Mn^{+4}



La solución se acidifica fuertemente y el yoduro presente se oxida a yodo en cantidad equivalente al oxígeno presente en la muestra:



El yodo liberado se valora con tiosulfato de sodio, aproximadamente 0.01N:



Este método se conoce con el nombre de su creador Winkler, aunque luego fue revisado por Carpenter. Se puede aplicar a todo tipo de aguas naturales, residuos domésticos o industriales y agua de mar, sin embargo si la muestra contiene abundante materia orgánica es recomendable utilizar azida de sodio en el medio de reacción.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La investigación se llevó a cabo en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, denominado “Sistema Unifamiliar de Tanque Séptico más Filtro Percolador” ubicada al margen derecho del Río Grande, a 50 metros del puente Chacapampa, barrio Chacapampa, distrito y provincia de Celendín, región Cajamarca.

Coordenadas UTM: por el Este 815795 m y por el Norte 9241365 m, de la zona 17 del sistema WGS-84.

mapa

A. Descripción del Sistema Unifamiliar Tanque Séptico más Filtro Percolador

El sistema fue instalado en el año 2012 por estudiantes del curso Tratamiento de Aguas Residuales de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca, realizando pruebas de funcionamiento e implementación de mejoras, evaluando la eficiencia de remoción para algunos parámetros como DBO_5 y DQO; identificando la necesidad de realizar trabajos de investigación que contribuyan a mejorar las condiciones de salubridad de las poblaciones; como investigar la eficiencia de remoción de parámetros inorgánicos (nitrógeno y fósforo).

La planta fue diseñada para atender el servicio de 6 habitantes, considerando una tasa de crecimiento del 1.8%, coeficiente de retorno de 80%, con una dotación de 50 l/hab./día, un periodo de diseño de 10 años, un periodo de retención en el tanque séptico de 18.86 horas, con un caudal de diseño de $0.240 \text{ m}^3/\text{día}$ o 0.0027 l/s , solo para aguas provenientes de servicios higiénicos del sanitario o también conocidas como aguas negras.

El sistema de tratamiento es de nivel secundario consta de dos partes importantes, la primera es un tanque séptico que contiene el cultivo en suspensión para ser tratado biológicamente, las dimensiones se detallan en el literal B1. En cuanto al filtro, es de flujo ascendente, pero su diseño es de filtro percolador, ya que tiene en la parte inferior piedras que oscilan entre 10 cm, luego piedras más pequeñas que oscilan entre los 50 mm, se observa en el literal B2.

B. Dimensiones de la planta

A continuación se presenta el esquema del sistema de planta de tratamiento, con sus respectivas medidas.

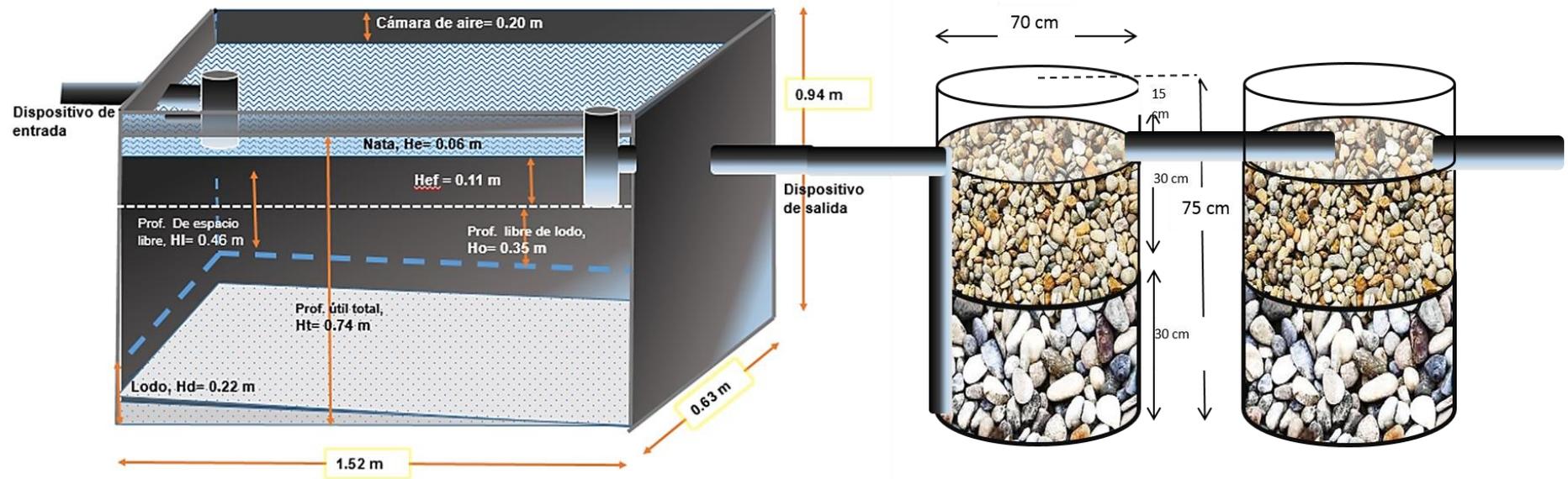


Figura 4: Sistema de Tanque Séptico más filtro percolador

B1. Tanque séptico

El tanque séptico fue construido de concreto simple, de forma rectangular, cuyas medidas se presentan en la tabla 4 y representado gráficamente en la figura 8.

Tabla 4: Dimensiones del Tanque Séptico

Unidades del tanque sépticos	Medida
Profundidad máxima de espuma sumergida (H_e)	0.06 metros
Profundidad libre de espuma sumergida (H_{es})	0.11 metros
Profundidad libre de lodos (H_o)	0.35 metros
Profundidad de espacio libre (H_l)	0.46 metros
Profundidad de digestión y almacenamiento de lodos (H_d)	0.22 metros
Profundidad total efectiva ($H_d+H_l+H_e$)	0.74 metros
Cámara de aire	0.20 metros
Ancho de la planta	0.63 metros
Largo de la planta	1.52 metros
Alto de la planta	0.94 metros

Fuente: Elaboración a partir de medidas de la planta y los criterios de la norma IS.020:2006

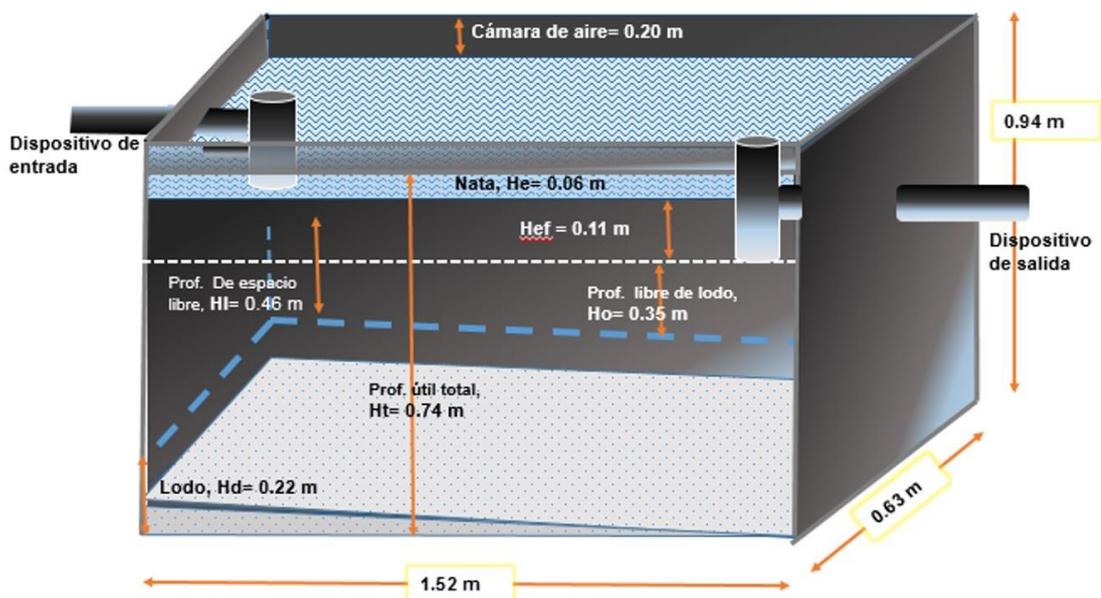


Figura 5 : Tanque séptico.

B2: Filtro percolador anaerobio

El filtro percolador está construido con material de concreto simple para una capacidad de baja carga, con un diámetro de 70 cm y una altura de 75 cm, a una distancia de 50 centímetros del efluente del tanque séptico; en la parte inferior tiene una capa de 30 cm de altura de piedra de alrededor de 10 cm de circunferencia es decir 3.18 cm de diámetro, con un área superficial de 7.94 cm², luego una capa de 30 cm de altura de piedra que oscila en los 50 mm, es decir de 1.59 cm de diámetro, con área superficial de 2.50 cm². El agua llega por la parte alta al filtro mediante un tubo PCV de 2 pulgadas, y descende hasta el fondo por el mismo tubo que esta incrustado en la pared del filtro. El filtro percolador tiene una tapa, el centro de la tapa hay un orificio con un tubo quemador de gases. El agua tratada sale del filtro mediante un tubo de 2 pulgadas que está en la parte superior a 5 cm de profundidad respecto a la tapa.

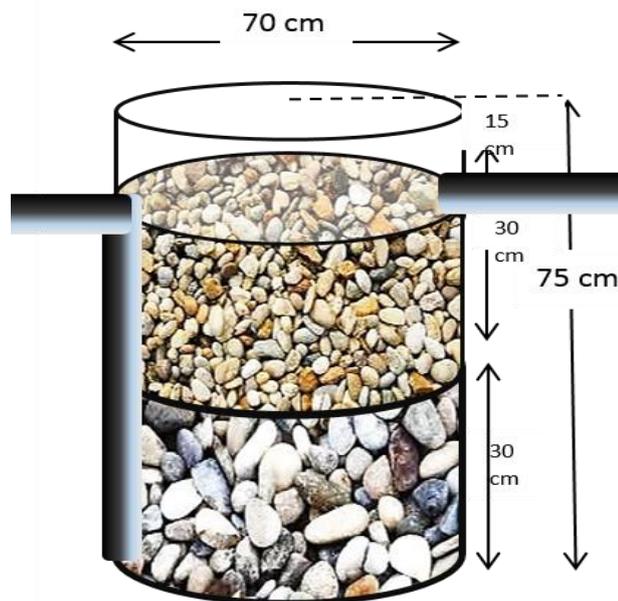


Figura 6 : Filtro percolador anaerobio

Para el filtro se calculó la porosidad de acuerdo al tamaño de roca, empleando la siguiente fórmula: $P = \frac{V_v}{V} * 100$, donde V_v es el volumen de vacíos y V es volumen total de la muestra, teniendo una porosidad de 45 % para las rocas de 10 cm de circunferencia y para las rocas de 50 mm una porosidad de 41%.

3.2. Materiales

3.2.1. Material biológico

Las aguas residuales provenientes de los proceso de tratamiento del sistema unifamiliar de tanque séptico más filtro percolador.

3.2.2. Material de campo

- Fichas de registro de campo.
- Cinta adhesiva.
- Plumón indeleble.
- Cita de embalaje.
- Preservantes químicos a emplearse en el campo para la preservación de las muestras (ácido sulfúrico).
- GPS para identificación de la ubicación de la planta.
- pH-metro con función de medición de la temperatura.
- Termómetro.
- Cámara fotográfica.
- Guantes de látex descartables.
- Mascarilla descartable.
- Reloj.

3.2.3. Material y equipo de laboratorio

La presente investigación tuvo lugar de medición de ensayos en laboratorio particular al de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, el laboratorio contratado fue Servicios Analíticos Generales SAG, el cual está acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INDECOPI – SNA con Registro N° LE-047, los materiales necesarios para la toma de muestras que a continuación se mencionan fueron otorgados por dicho laboratorio.

- Frascos de plástico con tapa rosca de 300 ml
- Cooler
- Hielo
- Preservante de ácido nítrico.

3.3. Metodología

3.3.1. Trabajo de campo

El trabajo de campo para la presente investigación ha tenido en cuenta el “Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales” (Anexo-rm-273-2013-MCVS), el cual contempla las pautas fundamentales desde el lugar o punto de toma de muestras, el proceso de toma de muestras, el uso de preservantes y tipo de frasco de acuerdo al parámetro, el etiquetado, cadena de custodia, con la finalidad de obtener resultados confiables; sin embargo también se tomó en cuenta la metodología proporcionada por la bibliografía.

3.3.1.1. Punto de muestreo y/o monitoreo

En la presente investigación se ha tenido tres puntos de monitoreo: el primero en el afluente del tanque séptico, el segundo en el efluente del tanque séptico y el tercero el efluente del filtro percolador que al mismo tiempo se convierte en efluente del sistema de tratamiento.

	<p>Primer punto de muestreo y/o monitoreo Nombre del punto: Afluente del Tanque Séptico (ATS)</p>
<p>Segundo punto de muestreo y/o monitoreo Nombre del punto: Efluente del Tanque Séptico (ETS)</p>	
	<p>Tercer punto de muestreo y/o monitoreo Nombre del punto: Efluente del Filtro Percolador (EFP)</p>

Figura 7 : Toma de muestras

3.3.1.2. Frecuencia de Monitoreo

Se realizaron 04 monitoreos de los parámetros seleccionados en la presente investigación, en un período de 4 meses, esto con el fin de evaluar los cambios sustanciales que ocurren en este periodo de tiempo. En cada muestreo se ha tomado los parámetros de campo: temperatura usando el termómetro y pH con el uso de equipo multiparámetro.

Tabla 5: Frecuencia de monitoreo

NÚMERO DE MONITOREO	FECHA DE MONITOREO	OBSERVACIÓN
Primer monitoreo	15 de diciembre del 2014	Las muestras fueron tomadas en compañía de la Ingeniero asesor de tesis, los análisis se realizaron en laboratorio Servicios Analíticos Generales.
Segundo monitoreo	27 de enero del 2015	Las muestras fueron tomadas en compañía de la Ingeniero asesor de tesis, los análisis se realizaron en laboratorio Servicios Analíticos Generales.
Tercer monitoreo	09 de marzo del 2015	Las muestras fueron tomadas en compañía de la Ingeniero asesor de tesis, los análisis se realizaron en laboratorio Servicios Analíticos Generales.
Cuarto monitoreo	16 de marzo del 2015	Las muestras fueron tomadas en compañía de la Ingeniero asesor de tesis, los análisis se realizaron en laboratorio Servicios Analíticos Generales.

3.3.1.3. Toma de muestra del agua residual

La toma de muestra se realizó de acuerdo a lo que se indica en la RM 273-2013-VIVIENDA, considerando que no se debe tomar las muestras cerca de la superficie o del fondo, en la toma de muestras se debe evitar partículas

grandes, sedimentos y/o material flotante que se haya acumulado en el punto de muestreo.

En cada uno de los puntos de monitoreo se ha medido los parámetros de campo: temperatura y pH, previamente calibrados.

En cada medición de los diferentes parámetros se han utilizado los equipos de protección, como: guantes látex desechables, mascarilla y el mameluco.

Para el caso de las muestras que se enviaron al Laboratorio acreditado por INDECOPI (Servicios Analíticos Generales, SAG) se utilizó como preservante ácido sulfúrico.

En cada muestreo se ha llenado la cadena de custodia, la cual consta de:

A. Rótulos de muestras

En el rotulado se consideró los datos básicos, colocándose antes del muestreo con lapicero indeleble.

- Número de la muestra
- Nombre del colector
- Fecha y hora del muestreo
- Parámetro
- El ácido para preservar.

Tabla 6: Preservantes y parametros

DETERMINACIÓN / PARÁMETRO	RECIPIENTE	VOLUMEN MÍNIMO DE MUESTRA	PRESERVACIÓN Y CONSERVACIÓN	TIEMPO MÁXIMO DE DURACIÓN
Nitritos	P,V	100 ml	Analizar lo más pronto posible. Refrigerar a 4°C	48 horas
Nitratos	P,V	100 ml	Analizar lo más pronto posible. Refrigerar a 4°C	Ninguno
Nitrógeno amoniacal	P,V	500 ml	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2, refrigerar a 4°C.	28 días

Leyenda:

P= frasco de plástico o equivalente.

V=Frasco de vidrio.

3.3.2. Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio para la determinación de niveles de cada uno de los parámetros de la presente investigación se realizó en un laboratorio acreditado por INDECOPI, sin embargo teniendo en cuenta la importancia de medir el nivel de oxígeno disuelto en cada uno de los puntos, este parámetro se analizó en el Laboratorio Regional del Agua Cajamarca y en la misma planta de tratamiento, para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

A. Método para la determinación de oxígeno disuelto

El método utilizado de ensayo fue SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-0. C, 22 Ed.2012: OXYGEN (DISSOLVE)*. Azide Modificaton, con límite de cuantificación (LC) es de 0.3 mg O₂/l.

B. Método para la determinación de Nitrógeno Amoniacal

El método utilizado fue *SM 4500-NH₃-B, C Nitrogen (Ammonia). Preliminary Distillation Step. Titrimetric Method*, con Límite de Cuantificación (LC) de 1.00 NH₄⁺-N mg/l.

C. Método para la determinación de Nitritos

El método utilizado fue *SM 4500 – NO₂-B. Nitrogen (nitrite). Colorometric method*, con un límite de Cuantificación 0.003 en unidades de NO₂⁻- N mg/l.

D. Método para la determinación de Nitratos

El método utilizado fue *SM 4500 – NO₂-E. Nitrogen (Nitrate). Cadmiun Reducution method*, y el límite de cuantificación (LC) es 0.030 en unidades de NO₃⁺- N mg/l.

3.3.3. Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete consistió en el procesamiento de datos, análisis y redacción de los mismos, teniendo siempre presente la revisión bibliográfica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. pH y temperatura



Figura 8 : Medición de pH en los puntos de monitoreo

Romero (2008) estipula, para procesos de biológicos de nitrificación se recomienda valores de pH en un rango de 7.2 a 9.0 y Metcalf y Eddy (1998) refieren que, para que la nitrificación ocurra, el pH óptimo está entre 7.5 y 8.6, por lo que los resultados de la presente investigación estarían dentro de lo establecido para que se dé el proceso de nitrificación. El análisis de los promedios de pH se presenta en la figura 8.

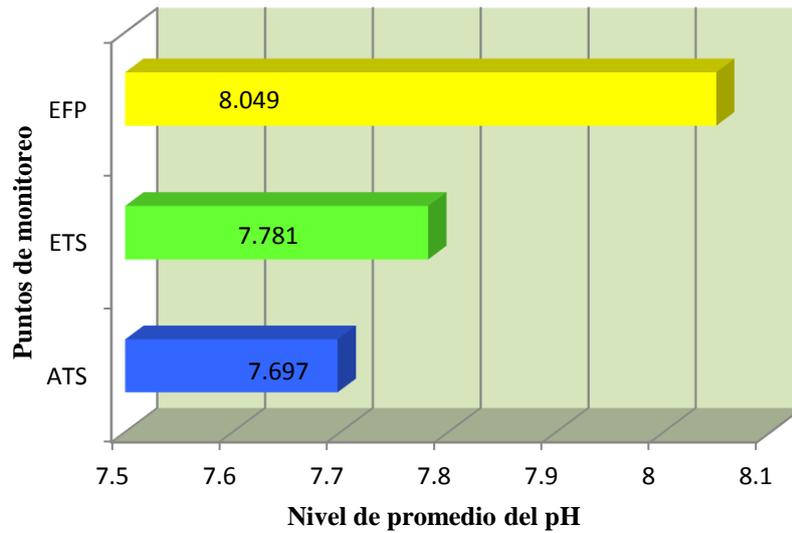


Figura 9: Promedio de pH

Romero (2008) indica que a pH menor a 9 como en la presente investigación figura 9, predomina el nitrógeno amoniacal en forma de ion amonio (NH_4^+) el cual no es tóxico. Por tanto una concentración relativamente alta de nitrógeno amoniacal total puede no ser tóxica, puesto que sólo una pequeña porción del total estará presente como amoniaco NH_3 .

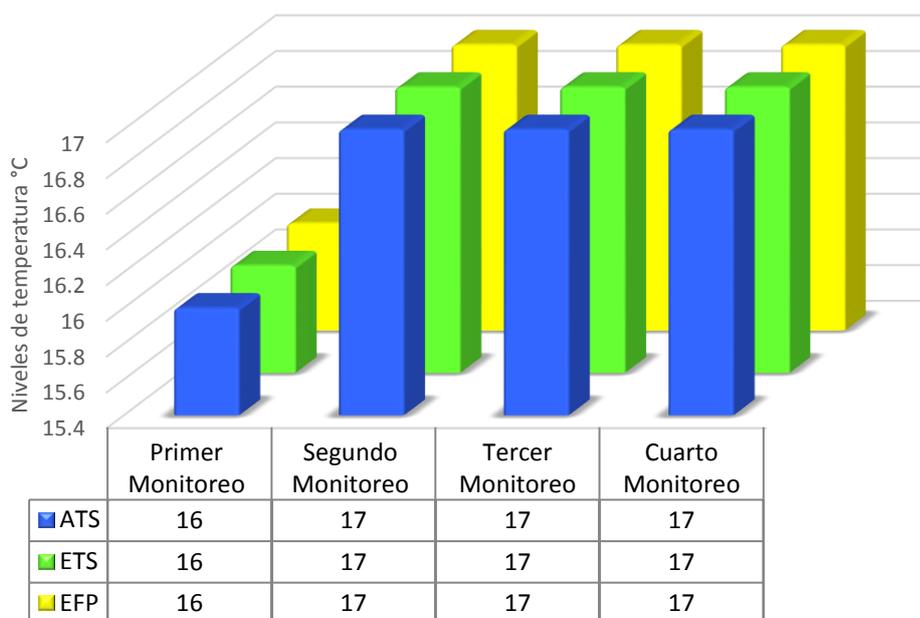


Figura 10: Temperatura del agua residual

El rango de 10 a 25 °C (Ferrer y Seco, 2008), inferior a 25 °C (Claros, 2012) es normal de este tipo de sistemas de tratamientos, la temperatura de la presente investigación oscila entre 16 y 17 °C figura 10, el cual implica ser adecuada para conversiones bacterianas o metanogénesis dentro de un tanque séptico.

Así también para el pH y la temperatura, el D.S.N°003-2010-MINAM, en la que se aprueba los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, indica que el pH para vertido a un cuerpo de agua es de 6.5 a 8.5 y una temperatura menor a los 35 °C y como resultados de la investigación se tiene en el Efluente del Filtro Percolador (EFP) en promedio un pH de 8,049 y una temperatura de 16.75 °C; es decir que los valores están dentro de los rangos establecidos en el D.S.N°003-2010-MINAM.

4.2. Oxígeno disuelto

Los resultados se comparó en la tabla 7 con datos que reporta la bibliografía como cantidad mínima necesaria para permitir del proceso biológico de nitrificación, ello permitió comprobar la inexistencia de oxígeno disuelto necesario para el proceso biológico de nitrificación.

Tabla 7: Comparación de datos de oxígeno disuelto

Resultado y autor	Concentración
Resultado	< 0.3 mg/l
Romero. 2008	2 mg/l
Metcalf y Eddy. 1998	1 mg/l
Russell. 2012	4 mg/l

4.3. Nitrógeno Amoniacal (NH₄⁺-N mg/l)

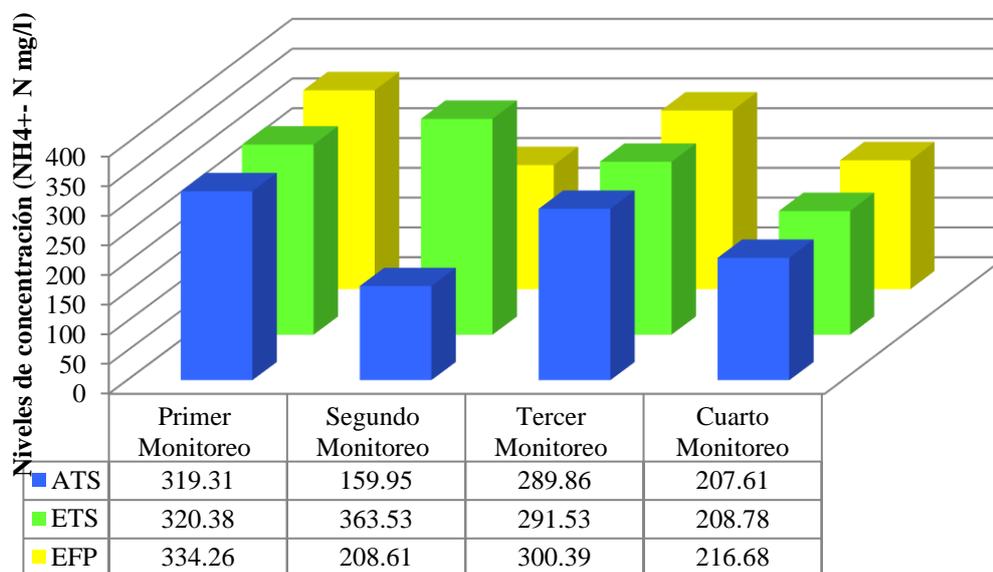


Figura 11: Nitrógeno amoniacal NH₄⁺- N mg/l

En la figura 11, se observa que la concentración más baja de nitrógeno amoniacal se presentó en el afluente del tanque séptico del segundo monitoreo con un valor de 159.95 NH₄⁺- N mg/l, en tanto la concentración más alta fue 334.26 NH₄⁺- N mg/l presentándose en el efluente del filtro percolador del primer monitoreo, en el primer, tercer y cuarto monitoreo se observa que los niveles de concentración van en aumento iniciando en el ATS, luego ETS y EFP.

Estos resultados tienen sus orígenes en la procedencia de las aguas residuales; las cuales son aguas negras, según Romero (2008) las aguas negras que provienen de los inodoros transportan excrementos humanos y orinas ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. Por otro lado, la forma química del nitrógeno amoniacal, tiene sus orígenes en la hidrólisis enzimática de la urea. También Romero (2008) refiere que la descomposición de la materia orgánica (proteínas) genera materia no carbonácea como el amoniaco. Luego el nitrógeno amoniacal ya sea en su forma NH₃ (amoniacado disuelto) y NH₄⁺ (ión amonio), mediante un proceso de nitrificación pasa a nitritos y luego a nitratos.

En el proceso de nitrificación es muy importante la presencia del oxígeno disuelto, al respecto Metcalf y Eddy (1998) mencionan que, para que se produzca la nitrificación, es fundamental que exista concentraciones de oxígeno disuelto por encima de 1mg/l, Russell (2012) indica que se puede dar una conversión total de la reacción de nitrificación dependiendo de que mantenga un nivel mínimo de oxígeno de 2mg/l en el tanque de aireación y preferiblemente de 4 mg/l porque así se asegura una oxidación más completa; coincidiendo con los autores antes citados, en el ensayo de oxígeno disuelto que se realizó el 08/03/2015 (en el tercer monitoreo) no hubo presencia del mismo, ello permite indicar que no se da el proceso de nitrificación al no existir la presencia mínima de oxígeno disuelto, el resultado de este ensayo se corroboró cuando se hizo análisis de oxígeno disuelto como indica en el ítem 4.3.

Entonces, teniendo en cuenta las condiciones del sistema de tratamiento, se tiene los siguientes promedios del nitrógeno amoniacal por cada punto de monitoreo.

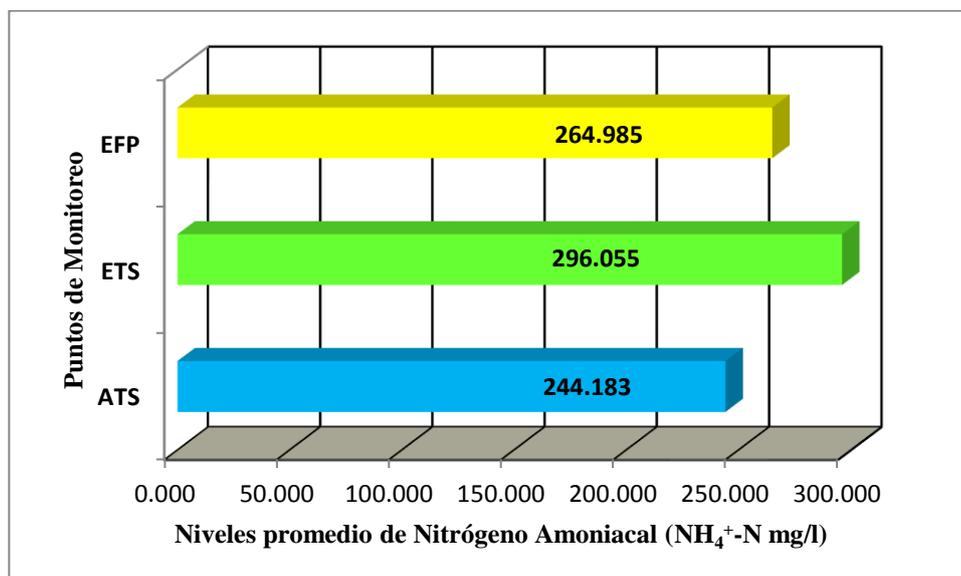


Figura 12: Promedio de nitrógeno amoniacal por puntos de monitoreo

De acuerdo a los promedios expresados en la figura 12, se puede determinar que en el afluente del tanque séptico - ATS la concentración de nitrógeno amoniacal es menor, teniendo en promedio 244.183 mg/l, esto debido únicamente a la hidrólisis de la urea del agua residual proveniente del inodoro, mientras que en el segundo

punto, efluente de tanque séptico - ETS se aprecia la mayor concentración con un nivel de 296.005 mg/l, el resultado se debe a la sumatoria de la concentración inicial del ATS mas el nitrógeno amoniacal generado por la descomposición de la materia orgánica Romero (2008). Finalmente en el efluente del filtro percolador se observa un descenso de concentración respecto al ETS, teniendo un nivel de 264.985 mg/l, generándose una formación de nitrato tal como se indica en el ítem 4.5.

Tabla 8 . Comparación de nitrógeno amoniacal con normas internacionales

Monitoreo y LMP	Resultado Nitrógeno Amoniacal mg/ l NH₄⁺- N		
	ATS	ETS	EFP
Primer monitoreo	319.31	320.38	334.26
Segundo monitoreo	159.95	363.53	208.61
Tercer monitoreo	289.86	291.53	300.39
Cuarto monitoreo	207.61	208.78	216.68
Honduras		0.5	
Brasil			
para pH 7.5		3.7	
para pH entre 7.5 y 8		2	
para pH menores a 8.5		2	
para pH mayores a 8.5		0.5	

De la tabla 8 se observa que la concentración es elevada en comparación de las normas internacionales.

Como el sistema de tratamiento esta adyacente al río, denominado Río Grande, se realizó un análisis del nivel de concentración de nitrógeno amoniacal en un punto cercano al cuerpo receptor (antes de la mezcla), y se obtuvo la concentración de 118.56 NH₄⁺-mg/l, el cual es 2.235 veces menor al promedio del efluente del filtro percolador, inclusive 2.060 veces menor al promedio del afluente del tanque séptico, ello indica que va disminuyendo la concentración de nitrógeno amoniacal y va incrementando el proceso biológico de nitrificación.



Figura 13: Recolección de muestras en un punto cercano al Río Grande

4.4. Nitritos ($\text{NO}_2^+ - \text{N}$ mg/l)

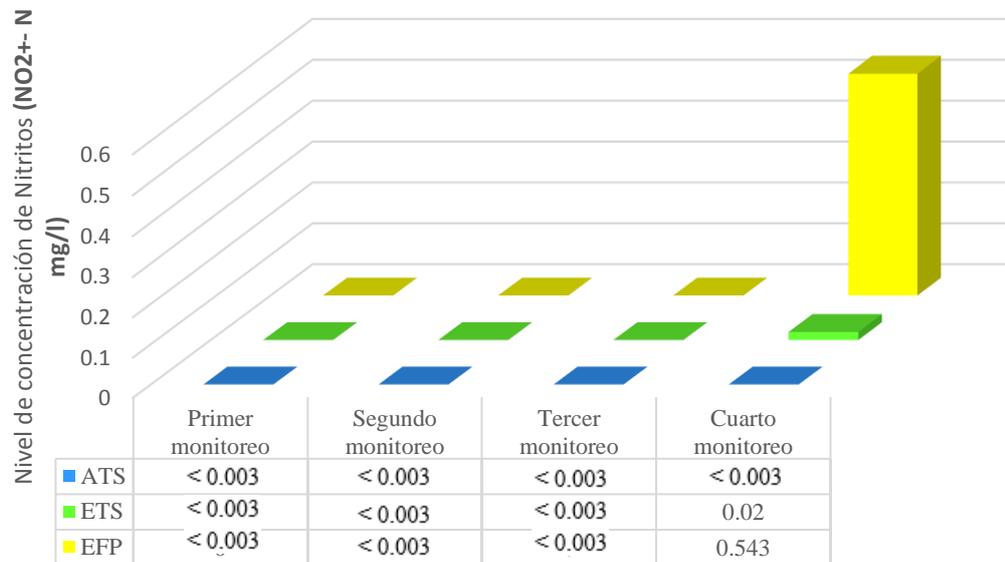
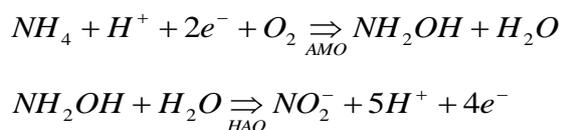


Figura 14 : Concentración de nitritos $\text{NO}_2^+ - \text{N}$ mg/l

En el punto de monitoreo afluente del tanque séptico (ATS): En sus cuatro monitoreos tiene como resultado $< 0.003 \text{ NO}_2^+ - \text{N}$ mg/l, valor que está por debajo del LCM esto quiere decir que el agua residual doméstica que ingresa a la planta de tratamiento no contiene nitritos, coincidiendo con Romero (2008), Metcalf y Edy

(1998) mencionan que la concentración de Nitritos en la composición de aguas residuales domesticas crudas es cero (ver tablas 2 y 3).

En el punto de monitoreo efluente del tanque séptico (ETS): en los tres primeros monitoreos de este punto se tiene resultados de $< 0.003 \text{ NO}_2^+ \text{- N mg/l}$, es decir por debajo del LMC, esto se debe a que en el tanque séptico no hay presencia de oxígeno disuelto necesario para que las bacterias nitrificantes de los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrosobulos* realicen la reacción descrita por Cervantes et al (2000).



Ya que en un primer paso, la enzima amonio mono_oxidasa (AMO) transforma el amonio en hidroxilamina, que posteriormente se convierte en nitrito, mediante la enzima hidroxilamina oxido-reductasa (HAO), lógicamente, si no hay la concentración mínima oxígeno disuelto, significa la no existencia de nitritos.

En el punto de monitoreo efluente del filtro percolador (EFP): teniendo en cuenta que este punto de monitoreo es al mismo tiempo el efluente del sistema de tratamiento, presenta resultado en el segundo y tercer monitoreo indicando que no existe presencia de Nitritos, es decir $< 0.003 \text{ NO}_2^+ \text{- N mg/l}$, puesto que no hay oxígeno disuelto necesario para que se pueda dar la reacción.

También se analizó la concentración de nitritos en un punto cercano al Río Grande (antes de la mezcla), y se obtuvo una concentración de $0.927 \text{ NO}_2^+ \text{-mg/l}$, un pH de 7.223, lo que significa un incremento de 5.066 veces de nitritos y disminución de pH con respecto al promedio del efluente del filtro percolador, es decir las bacterias nitrificantes realizan el proceso biológico de nitrificación, debido al ingreso de oxígeno disuelto a medida que el tubo del efluente se acerca al punto de vertido.

Tabla 9 . Comparación de nitritos con normas internacionales

Monitoreo	Resultado Nitritos		
	NO₂⁺- N mg/l		
LMP	ATS	ETS	EFP
Primer monitoreo	<0.003	<0.003	<0.003
Segundo monitoreo	<0.003	<0.003	<0.003
Tercer monitoreo	<0.003	<0.003	<0.003
Cuarto monitoreo	<0.003	0.02	0.543
FAO		100	
Venezuela		10	
Canadá		100	
Ecuador		10	
Honduras		10	

Leyenda:
LMP: Límite Máximo Permisible
ATS: Afluente del Tanque Séptico
ETS: Efluente del Tanque Séptico
EFP: Efluente del Filtro Percolador

Si bien los datos de la tabla 9 muestran que la concentración de nitritos está por debajo de los LMP, sin embargo es necesario indicar que cuando este efluente se ponga en contacto con oxígeno disuelto tendrá un incremento en su concentración.

4.5. Nitratos (NO₃⁻- N mg/l)

Dentro del proceso biológico para la generación de nitratos (NO₃⁻-N mg/l), necesariamente se tiene que presentar la oxidación del nitrito mediante la acción de la enzima nitrito óxido-reductasa (NOR) de las bacterias del género Nitrobacter y Nitrosococcus, precisándose la siguiente reacción.



A partir de esto se puede analizar los resultados de la investigación que están en la figura 15.

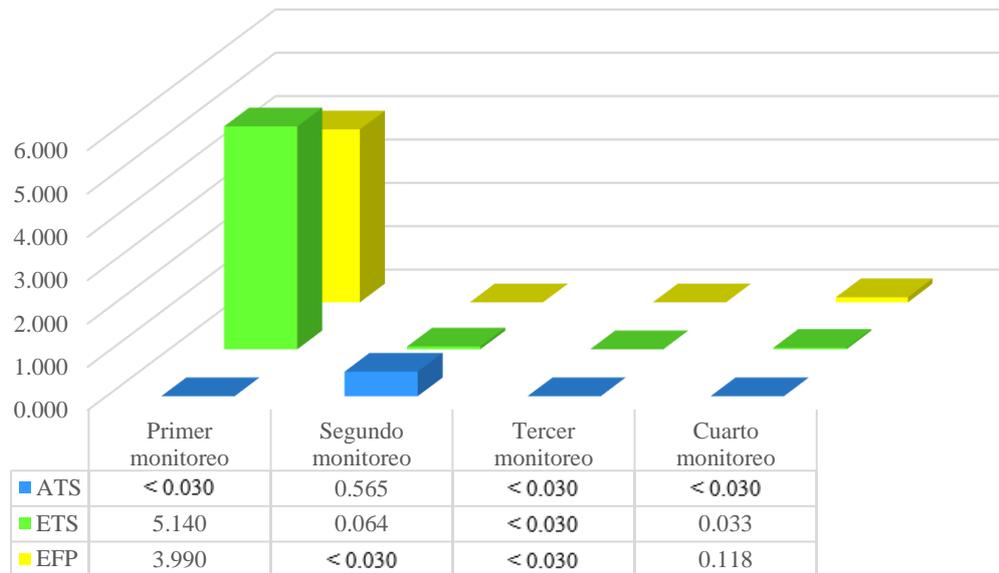


Figura 15: Medición de Nitratos NO₃⁻- N mg/l

De la figura 15 se observa valores menores a LCM, indicando la no presencia de Nitratos, los valores con presencia de nitratos ocurren debido proceso SHARON que es la eliminación del nitrógeno amoniacal vía nitrito, tomando referencia con lo que indica Claros (2012) y Ferrer y Seco (2008) que a temperaturas habituales de las EDAR (10-25 °C) las bacterias nitritooxidantes crecen más de prisa que las amoniooxidantes por lo que el nitrito producido es rápidamente oxidado a nitrato, por ello se observa valores en el rango de 0.033 hasta 5.65 NO₃⁻- N mg/l.

Tabla 10. Concentración de nitratos y norma internacional

Monitoreo y LMP	Resultado Nitrato NO₃⁺-N mg/l		
	ATS	ETS	EFP
Primer monitoreo	<0.030	5.140	3.990
Segundo monitoreo	0.565	0.064	<0.030
Tercer monitoreo	<0.030	<0.030	<0.030
Cuarto monitoreo	<0.030	0.033	0.118
Venezuela		10	
FAO		100	
Paraguay		10	
Canadá		100	
Ecuador		10	
Honduras		10	

Leyenda:
LMP: Límite Máximo Permisible
ATS: Afluente del Tanque Séptico
ETS: Efluente del Tanque Séptico
EFP: Efluente del Filtro Percolador

4.6. Eficiencia de la planta para la remoción de nitrógeno

El cálculo de eficiencia es de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Concentración de ingreso} - \text{Concentración de salida}}{\text{Concentración de ingreso}} * 100$$

Con los resultados obtenido de los parámetros analizados, en el nitrógeno amoniacal, el efluente del filtro percolador tendría un 10.49 % de eficiencia respecto al efluente del tanque séptico.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La eficiencia del sistema de tratamiento tanque séptico más filtro percolador presenta eficiencia nula en la remoción de nitrógeno, dejando un nivel elevado entre 159.95 y 363.53 NH_4^+ -N mg/l, con alta probabilidad de conversión a nitrito y nitratos en una fase aerobia.

La temperatura en promedio por cada punto de monitoreo es de 16.75 °C, este valor está dentro del rango establecido por Ferrer y Seco, 2008 (de 10 a 25 °C), inferior a los 25 °C que plantea (Claros, 2012), de igual manera cumple con los LMP que indica el D.S. 03-2010-MINAM. (<35°C).

El pH en los tres puntos de monitoreo es de 7.672, 7.78 y 8.059, respectivamente, los cuales están dentro del rango de 6.5 a 8.5 de LMP fijado por D.S.N°003-2010-MINAM, además de acuerdo a citas bibliográficas, es aceptable para la ocurrencia del proceso biológico de remoción de nitrógeno.

El oxígeno disuelto es un factor muy importante dentro del sistema de tratamiento y de acuerdo a los resultados se determina que no hay presencia de oxígeno disuelto, en consecuencia no se da el proceso de nitrificación en la remoción biológica de nitrógeno.

El nitrógeno amoniacal se encuentra en concentraciones elevadas y supera los LMP de las normas internacionales.

La concentración de nitrito tiene valores < 0.003 NO_2^+ -N mg/l, debido al proceso SHARON que consiste en la eliminación del nitrógeno amoniacal vía nitrito, por lo que el paso de nitrito a nitrato es muy corto.

Existe una baja conversión de nitratos con valores en el rango 0.033 hasta 5.140 de NO_3^+ -N mg/l.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda incorporar una fase aerobia para efectivizar el proceso biológico de nitrificación como fase fundamental para la eliminación de la alta concentración de nitrógeno amoniacal.

Luego de la implementación del sistema se recomienda continuar con los trabajos de investigación, que permita mejorar el sistema, logrando una alternativa eficiente en el tratamiento de las aguas residuales en viviendas que no cuentan con red de alcantarillado.

Para el buen funcionamiento de este sistema de tratamiento, se recomienda ejecutar adecuadamente su plan de manejo, ello partiendo de capacitación y sensibilización a los beneficiarios (habitantes de éste domicilio), sobre la importancia del sistema y su mantenimiento para lograr contribuir en la disminución de la carga de contaminantes presente en las aguas residuales, evitando que el Río Grande (fuente receptora), se siga contaminando.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Cervantes, F; Pérez, J; Gómez, J. 2000. Avances en la Eliminación Biológica del Nitrógeno de las Aguas Residuales. Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa. Pág. 76.

Claros J. 2012. Estudio del Proceso de Nitrificación y Desnitrificación vía Nitrito Para el Tratamiento Biológico de Corrientes de Agua Residual con alta carga de Nitrógeno Amoniacal. Tesis Doctoral. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Pág. 15.

Decreto Supremo. D.S N° 002-2008-MINAM. Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (en línea). Consultado 19 octubre 2014. Disponible en http://www.ana.gob.pe/media/664662/ds_002_2008_minam.pdf

Decreto Supremo. D.S N° 003-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (en línea). Consultado 15 octubre 2014. Disponible en http://www.vivienda.gob.pe/ambiente/AnexosPDF/Normativa/Imp-ds_003-2010-minam.pdf

DIGESA. Grupo de Estudio Técnico Ambiental Parámetro Organoléptico (en línea). Consultado 20 septiembre 2014. Disponible en http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf

Estándares de Calidad Ambiental de Agua. Grupo N°3 Riego de Vegetales y Bebida de Animales (en línea). Consultado 20 septiembre 2014. Disponible en http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%203.pdf

Ferrer, J; Seco, A. 2008. Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales. Primera Edición. Grupo Editor Alfaomega. Pag. 96

García, M. 2012. Comparación y Evaluación de tres Plantas Acuáticas para Determinar la Eficiencia de Remoción de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. Tesis para optar el Título Profesional. Lima, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental. Pág. 216.

González. M, Saldarriaga. J. 2008. Remoción Biológica de Materia Orgánica, Nitrógeno y Fósforo en un Sistema Tipo Anaerobio-Anóxico-Aerobio. Revista EIA. (en línea). Universidad de Antioquia. Consultado 15 agosto 2014. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S179412372008000200005

Martin J, Correa J. 2010. Evaluación de la Remoción de Contaminantes en Aguas Residuales en Humedales Artificiales Utilizando la *Guadua angustifolia Kunth* (en línea). Universidad Tecnológica de Pereira. Consultado 23 noviembre 2014. Disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1801/1/6283M337.pdf>

Martínez, S; Rodríguez, M. 2005. Tratamiento de Aguas Residuales con MATLAB. Determinación de los Parámetros Biocinéticas. Editorial Reverte, S.A. Impreso en México. Pág. 235.

Metcalf y Eddy. 1998. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tercera edición. Editor Antonio García Brage. Impreso en España. Pág. 698

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. 2006. Reglamento Nacional de Edificaciones DS N° 011-2006-VIVIENDA (en línea). Consultado 15 junio 2016. Disponible en http://www.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE_Actualizado_Solo_Saneamiento.pdf

Norma Técnica IS.020: 2006 Tanques Sépticos (en línea). Consultado 16 octubre 2014. Disponible en

http://www.construccion.org.pe/normas/rne2009/rne2006/files/titulo3/03_IS/RNE2006_IS_020.pdf

Norma Técnica OS.090: 2006 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (en línea). Consultado 08 octubre 2014. Disponible en http://www.construccion.org.pe/normas/rne2009/rne2006/files/titulo2/03_OS/RNE2006_OS_090.pdf

Norma Técnica Colombiana NTC ISO 5667-1. Gestión Ambiental. Calidad del Agua. Muestreo. Directrices para el diseño de programas de muestreo (en línea). Consultado 05 noviembre 2014. Disponible en http://ingenieria.udea.edu.co/isa/normas_decretos/norma%20muestreo.pdf

Orozco, A. 2005. Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y diseño. Editorial Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Páginas 412.

Quispe, C. Zambrano, C. Manual de Análisis Químicos Medioambientales.

Ramalho, R. 2003. Tratamiento de Aguas Residuales. Niveles de Tratamiento de Aguas Residuales y Calidad de las Aguas. Editorial Reverté, S.A. Segunda Edición. España. Pág. 697.

Resolución Ministerial N°273-VIVIENDA. 2013. Aprueban Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR (en línea). Consultado 16 octubre 2014. Disponible en <http://www.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/anexo-rm-273-2013-vivienda.pdf>

Romero, J. 2008. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Editor Escuela Colombiana de Ingeniería. Tercera Edición. Pág. 1248.

Russell, D. 2012. Tratamiento de Aguas Residuales. Un Enfoque Práctico. Editorial Reverté .S.A. Impreso en España. Pag. 171

Rios R. Disminución de la carga contaminante orgánica del efluente de las cámaras sépticas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domesticas en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra (en línea). Bolivia, Tecnociencia Universitaria. Consultado 13 noviembre. 2014. Disponible en <http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rtc/v7n7/a04v7n7.PDF>

VII. ANEXOS

1. Consolidado de resultados del laboratorio

Tabla 11: Resultados de laboratorio

Número de Monitoreo	Ensayos	Unidad	Resultado Punto		
			ATS	ETS	EFP
Primer monitoreo	N-Amoniacal	NH ₄ ⁺ -mg/l	319.31	320.38	334.26
	Nitritos	NO ₂ ⁺ -mg/l	<0.003	<0.003	
	Nitratos	NO ₃ ⁺ -mg/l	<0.030	5.140	3.99
	pH		7.692	7.731	8.021
	Temperatura	°C	16	16	16
Segundo monitoreo	N-Amoniacal	NH ₄ ⁺ -mg/l	159.95	363.53	208.61
	Nitritos	NO ₂ ⁺ -mg/l	<0.003	<0.003	<0.003
	Nitratos	NO ₃ ⁺ -mg/l	0.565	0.064	<0.030
	pH		7.734	7.919	8.059
	Temperatura	°C	17	17	17
Tercer monitoreo	N-Amoniacal	NH ₄ ⁺ -mg/l	289.86	291.53	300.39
	Nitritos	NO ₂ ⁺ -mg/l	<0.003	<0.003	<0.003
	Nitratos	NO ₃ ⁺ -mg/l	<0.030	<0.030	<0.030
	pH		7.689	7.742	8.071
	Temperatura	°C	17	17	17
	Oxígeno Disuelto	mg/l	< 0.3	< 0.3	< 0.3
Cuarto monitoreo	N-Amoniacal	NH ₄ ⁺ -mg/l	207.61	208.78	216.68
	Nitritos	NO ₂ ⁺ -mg/l	<0.003	0.020	0.543
	Nitratos	NO ₃ ⁺ -mg/l	<0.030	0.033	0.118
	pH		7.672	7.731	7.840
	Temperatura	°C	17	17	17

Leyenda:
ATS: Afluente del Tanque Séptico
ETS: Efluente del Tanque Séptico
EFP: Efluente del Filtro Percolador

2. Fotos



Figura 16: Muestras con preservante para envío a laboratorio



Figura 17: Biopelícula en la superficie de la roca

3. Guía de cadena de custodia del primer muestreo.
4. Informe de ensayo del primer muestreo.
5. Guía de cadena de custodia del segundo muestreo.
6. Informe de ensayo del segundo muestreo.
7. Guía de cadena de custodia del tercer muestreo.
8. Informe de ensayo del tercer muestreo.
9. Guía de cadena de custodia del cuarto muestreo.
10. Informe de ensayo del cuarto muestreo.
11. Informe de ensayo de oxígeno disuelto.

VIII. GLOSARIO

- ATS: Afluente del Tanque Séptico
- ETS: Efluente del Tanque Séptico
- EFP: Efluente del Filtro Percolador
- OD: Oxígeno Disuelto
- PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales probablemente
- EDAR: Estaciones Depuradora de Aguas Residuales
- LMP: Límites Máximos Permisibles
- CS: Cámara Séptica
- FAFA: Flujo Anaerobio de Flujo Ascendente
- LCM: Limite de cuantificación del método