



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

INSTITUTO DE POSTGRADO

**MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS RECURSOS FI-
TOGENÉTICOS Y DE MICROORGANISMOS ASOCIADOS.**

**“DINÁMICA DE LA POBLACIÓN MICROBIANA EN LODOS GRANULARES
AEROBIOS PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE AZAYA”**

Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magíster en **MAESTRÍA EN
BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS RECURSOS FITOGENÉTICOS Y
DE MICROORGANISMOS ASOCIADOS.**

AUTOR: Jorge Edwin Granja Ruales

DIRECTOR: Szabolcs Szilveszter

IBARRA - ECUADOR

2021



APROBACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director de Trabajo de Investigación con el tema “**DINÁMICA DE LA POBLACIÓN MICROBIANA EN LODOS GRANULARES AEROBIOS PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE AZAYA**” de autoría de **Jorge Edwin Granja Ruales**, para obtener por el Título de Magister en Biodiversidad y Recursos Genéticos, mención Recursos Genéticos, doy fe de que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a su presentación y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 29 días del mes de julio del 2021

Lo certifico

PhD Szabolcs Szilveszter
Passport ID: BJ2125765
DIRECTOR DE TESIS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

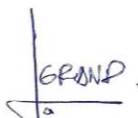
DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100114375-7		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Jorge Edwin Granja Ruales		
DIRECCIÓN:	Juan Genaro Jaramillo 552 y Av. Mariano Acosta		
EMAIL:	jgranjaruales@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062955178	TELÉFONO MÓVIL:	0982679190
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	“DINÁMICA DE LA POBLACIÓN MICROBIANA EN LODOS GRANULARES AEROBICOS PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE AZAYA”		
AUTOR:	Granja Ruales Jorge Edwin		
FECHA:	2021/07/29		
PROGRAMA:	PREGRADO <input type="checkbox"/>	POSGRADO <input checked="" type="checkbox"/>	
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Magíster en Biodiversidad y Recursos Genéticos		
DIRECTOR /ASESOR:	PhD Szabolcs Szilveszter / MSc. Lucía Yépez		

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 16 días del mes de septiembre del 2021

EL AUTOR



Jorge Edwin Granja Ruales

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: POSGRADO – UTN

Fecha: Ibarra, 29 de julio del 2021

Jorge Edwin Granja Ruales: “DINÁMICA DE LA POBLACIÓN MICROBIANA EN LODOS GRANULARES AEROBIOS PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE AZAYA” / Trabajo de Grado de Magister en Biodiversidad y Recursos Genéticos.

DIRECTOR: PhD Szabolcs Szilveszter

El principal objetivo de esta investigación fue evaluar la dinámica de la población microbiana en Lodos Granulares Aerobios para el tratamiento biológico de aguas residuales domesticas de Azaya. Los objetivos específicos fueron: - Determinar la biodegradabilidad de la aguas residuales domesticas en Azaya. - Caracterizar las comunidades microbianas de las aguas residuales en un reactor secuencial mediante la hibridación fluorescente *in situ* con un microscopio fluorescente invertido. - Analizar la dinámica de la población microbiana en gránulos aerobios utilizando aguas residuales de Azaya en un reactor secuencial

Fecha: Ibarra, 29 de julio del 2021



Jorge Edwin Granja Ruales
AUTOR



PhD Szabolcs Szilveszter
DIRECTOR



DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mi familia por el apoyo, amor y confianza que depositan en cada paso de mi vida.

A mi esposa por el entusiasmo que ha forjado en las diferentes metas para el desarrollo profesional y contribuir al crecimiento del país.

A mis amigos por el apoyo oportuno y sensato, fundamentales para el aprendizaje continuo.

Jorge Edwin Granja Ruales.



AGRADECIMIENTO

Gracias a mi familia por haberme apoyado y ayudado a cumplir con el desarrollo de esta tesis.

Agradezco a mi Director PhD Szabolcs Szilveszter por haberme apoyado durante la realización de este trabajo de grado que sin sus conocimientos, mentorías y aportes la excelencia no la hubiera alcanzado.

De igual manera a mi Asesora MSc. Lucía Yépez por los consejos y apoyo para culminar exitosamente esta etapa.

Por último agradezco a la UTN por haberme dado la oportunidad de emprender esta maestría con el fin de ampliar mis conocimientos para poder compartirlos con mis alumnos y ser cada día un mejor docente.

Jorge Edwin Granja Ruales.

Contenido

CAPITULO I	1
EL PROBLEMA	1
1.1. Problema de investigación	1
1.2. Objetivos de la investigación	3
1.3. Justificación	3
CAPITULO II	5
2.1. Antecedentes	5
2.2. Marco teórico	7
2.2.1. Lodo granular aerobio: Composición del sustrato	7
2.2.2. Bio-degradabilidad del agua residual	8
2.2.3. Diseño del reactor secuencial intermitente.....	11
2.2.4. Dinámica microbiana.....	14
2.3. Marco legal.....	19
2.3.1. La Constitución Ecuatoriana.....	19
2.3.2. Leyes	19
2.3.2.1. Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización.....	19
2.3.2.2. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.	20
CAPITULO III	21
MARCO METODOLÓGICO	21

2.4.	Descripción del área de estudio	21
2.5.	Enfoque y tipo de investigación	22
2.6.	Procedimiento de la investigación	22
2.6.1.	Fase 1: Determinar la biodegradabilidad de las aguas residuales domesticas en Azaya. 22	
2.6.2.	Fase 2: Caracterizar las comunidades microbianas de las aguas residuales en un reactor secuencial mediante la hibridación fluorescente in situ con un microscopio fluorescente invertido. 24	
2.6.2.1.	Análisis con microscopía de fluorescencia	28
2.6.2.2.	Preparación de la muestra	30
2.6.3.	Analizar la dinámica de la población microbiana en los gránulos aerobios a partir aguas residuales de Azaya en un reactor secuencial.	32
2.7.	Consideraciones bioéticas.....	35
CAPITULO IV.....		36
DISCUSION Y RESULTADOS		36
4.1.	Determinar la biodegradabilidad de las aguas residuales domesticas en Azaya.	36
4.2.	Caracterizar las comunidades microbianas de las aguas residuales en un reactor secuencial mediante la hibridación fluorescente in situ con un microscopio fluorescente invertido.	37
4.3.	Analizar la dinámica de la población microbiana en los gránulos aerobios a partir aguas residuales de Azaya en un reactor secuencial.	42
CAPITULO V		48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		48



5.1. Conclusiones	48
5.2. Recomendaciones.....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	10
Figura 2.....	12
Figura 3.....	12
Figura 4.....	17
Figura 5.....	21
Figura 6.....	27
Figura 7.....	28
Figura 8.....	29
Figura 9.....	33
Figura 10.....	34
Figura 11	40
Figura 12.....	40
Figura 13.....	41
Figura 14.....	41



Figura 15	43
Figura 16	44
Figura 17	45
Figura 18	46
Figura 19	46
Figura 20	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	10
Tabla 2	23
Tabla 3	24
Tabla 4	25
Tabla 5	30
Tabla 6	32
Tabla 7	36
Tabla 8	37
Tabla 9	38
Tabla 10	38

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1	54
Anexo 2	55

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS RECURSOS FITOGENÉTICOS Y DE MICROORGANISMOS ASOCIADOS

“DINÁMICA DE LA POBLACIÓN MICROBIANA EN LODOS GRANULARES AEROBIOS PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE AZAYA”

Autor: Jorge Edwin Granja Ruales

Tutor: Szabolcs Szilveszter

Año: 2021

RESUMEN

En el sector rural del Ecuador no es posible desarrollar grandes redes de alcantarillado debido a la geografía y constituye una buena alternativa desarrollar plantas de tratamiento de aguas residuales satélites, donde la tecnología de Lodos Granulares Aerobios (LGA) es una de las mejores opciones sustentables para resolver este problema ambiental. Para afrontar este desafío en la UTN se construyó la planta piloto de tratamiento biológico de aguas residuales domesticas en Azaya para desarrollar la tecnología LGA en reactores a escala de laboratorio y experimentar la estructura, morfología y composición microbiana de los gránulos. En este ámbito existe un gran vacío en la teoría de los Lodos Granulares Aerobios que proporciona la estructura de los gránulos y la dinámica de la población microbiana dentro de los mismos. La presente investigación evalúa la dinámica la población microbiana en Lodos Granulares Aerobios para el tratamiento biológico de aguas residuales domesticas de Azaya, a partir de la determinación de la biodegradabilidad de la aguas residuales domesticas en Azaya, caracterización de las comunidades microbianas de las aguas residuales en un reactor secuencial discontinuo (SBR) mediante la hibridación fluorescente *in situ* con un microscopio fluorescente invertido y análisis de la dinámica de la población microbiana en la estructura granular con gránulos aerobios de aguas residuales de Azaya en un SBR. El experimento se desarrolló con aguas residuales sintéticas para reducir el efecto de las variables ambientales en la observación, llegándose a determinar que las aguas residuales de pequeños asentamiento humanos son altamente biodegradables y la aireación intermitente permite optimizar el tratamiento biológico de las aguas residuales mediante el crecimiento equilibrado de las bacterias ammonia-oxidantes (AOB) y las bacterias nitrite-oxidantes (NOB), con un pH entre 6,5 a 7,3; concentración de oxígeno disuelto entre 1,5 a 7 mg/L y ajuste cíclico del tiempo de retención hidráulico.

Palabras clave: Tratamiento biológico de aguas residuales, reactor secuencial discontinuo (SBR), lodos granulares aerobios, microscopía de fluorescencia, bacterias nitrificantes

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS RECURSOS FITOGENÉTICOS Y DE MICROORGANISMOS ASOCIADOS

"DYNAMICS OF THE MICROBIAL POPULATION IN AEROBIC GRANULAR SLUDGE FOR THE BIOLOGICAL TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER OF AZAYA"

Author: Jorge Edwin Granja Ruales

Tutor: Szabolcs Szilveszter

Year: 2021

ABSTRACT

In the rural sector of Ecuador, it is not possible to develop large sewerage networks due to geography and it is a good alternative to develop satellite wastewater treatment plants, where the Aerobic Granular Sludge (LGA) technology is one of the best sustainable options for solve this environmental problem. To face this challenge, the UTN built the pilot plant for the biological treatment of domestic wastewater in Azaya to develop LGA technology in laboratory-scale reactors and to experiment with the structure, morphology and microbial composition of the granules. In this area there is a great gap in the theory of Aerobic Granular Sludge that provides the structure of the granules and the dynamics of the microbial population within them. This research evaluates the dynamics of the microbial population in Aerobic Granular Sludge for the biological treatment of domestic wastewater from Azaya, from the determination of the biodegradability of domestic wastewater in Azaya, characterization of the microbial communities of wastewater in a sequential batch reactor (SBR) by fluorescent in situ hybridization with an inverted fluorescent microscope and analysis of the dynamics of the microbial population in the granular structure with aerobic granules of Azaya sewage in a SBR. The experiment was developed with synthetic wastewater to reduce the effect of environmental variables in the observation, and it was determined that wastewater from small human settlements is highly biodegradable and intermittent aeration allows optimizing the biological treatment of wastewater through growth. balanced of ammonia-oxidant bacteria (AOB) and nitrite-oxidant bacteria (NOB), with a pH between 6.5 to 7.3; dissolved oxygen concentration between 1.5 to 7 mg / L and cyclical adjustment of the hydraulic retention time.

Keywords: Biological wastewater treatment, sequential batch reactor (SBR), aerobic granular sludge, fluorescence microscopy, nitrifying bacteria

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Problema de investigación

En el Ecuador urge optimizar los recursos naturales para reducir los costos de producción en general por intermedio de soluciones auténticas, fomentar el desarrollo sostenible y mejorar la calidad de vida en el país. Con este enfoque el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Ibarra contribuye al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo a través del proyecto “Construcción de la Visión Ibarra 2030” y entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible de interés para la zona: Agua Limpia y Saneamiento”, como también el “Trabajo Decente y Crecimiento Económico”(Gobierno Autonomo y Descentralizado Municipal de Ibarra, 2018, p 13); grandes desafíos para la comunidad y academia. Situación señalada también en el informe de rendición de cuentas de la SENAGUA correspondiente al ejercicio del 2018, al mencionar que entre las funciones institucionales corresponde “Incrementar el acceso permanente a agua de calidad y buen uso para todas las formas de aprovechamiento del recurso hídrico”(Yamberla, 2018 p 3)

Por otra parte, la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) tiene entre los objetivos “Incrementar la efectividad en el control técnico de la normativa relacionada a la calidad y cantidad del agua, sus usos y aprovechamiento, tarifas y la calidad de los servicios públicos vinculados, articulando acciones con los actores involucrados”(ARCA, 2018, p 2).

Con relación al Agua Limpia y Saneamiento, en América Latina la cobertura regional estimada sobre la existencia de algún sistema de depuración de las aguas residuales domésticas alcanza el 26,3 % con respecto al total de la población. En el Ecuador es preocupante y corresponde a tan sólo el 8 %, para alcanzar la cobertura al 100 % la Corporación Andina de Fomento (CAF) estima una inversión del 0,31 % del PIB, equivalente a USD 320'000.000 (CAF, 2013, p 7)

En el contexto ecuatoriano la implementación de la infraestructura para el tratamiento de agua residual es más difícil con relación a un sistema de abastecimiento de agua potable; por

ejemplo, en Chile fue necesario 25 años para alcanzar una cobertura del 90 % en este punto. Un sistema precario del tratamiento de aguas residuales incide directamente en la salud humana y calidad de vida de la población, como consecuencia de la degradación del ambiente y conservación de las fuentes de agua (*op.cit*)

Las plantas tradicionales de tratamiento de aguas residuales tienen algunas desventajas como: el requerimiento de instalaciones amplias, grandes flujos de recirculación y diferentes procesos de conversión bioquímica (oxidación del DQO, oxidación del amonio, reducción de nitratos y remoción biológica de fosfatos entre otros) para la remoción de contaminantes.

La aplicación de la tecnología de lodos granulares aerobios en el tratamiento de aguas residuales no requiere de varios procesos ni grandes flujos de recirculación, permite obtener altas concentraciones de biomasa en un reactor y condiciones adecuadas para la remoción de nutrientes y material orgánico (Bathe, *at al.*, 2005, p 125). Además, la morfología compacta de los gránulos facilita la decantación a una velocidad de entre 12 a 20 m/h, mientras los lodos activados en forma de floculó alcanzan 1 m/h (*op.cit*, p 20); en general constituye una tecnología con gran potencial en el futuro debido a la eficiencia de remoción, reducido volumen de residuos y bajo capital de inversión (Bing-Jei, 2013, p 1).

La tecnología de lodos granulares aerobios se basa en un fenómeno complejo de inmovilización espacial de los microorganismos con múltiples interacciones internas como es el crecimiento, almacenamiento y respiración endógena, como también depende de las características de los lodos; variables con gran incidencia en el rendimiento general del reactor (*op.cit*. p 1)

Los lodos granulares aerobios provenientes de aguas residuales domésticas aguas existen una variedad de microorganismos, agrupados en dos grupos microbianos principales: autótrofos y heterótrofos. Los autótrofos se encargan por el proceso de nitrificación y los heterótrofos por la oxidación del carbón orgánico, ambos juegan un rol importante en el proceso para el tratamiento biológico de aguas residuales como reporta Bing-Jei (2013, p 28).

En la actualidad la aplicación de esta tecnología en el tratamiento de aguas residuales municipales es todavía limitada y falta comprender la dinámica de la población microbiana

en los lodos granulares aerobios para el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas situación que conlleva a desarrollar la presente investigación.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. *Objetivo general*

Evaluar la dinámica de la población microbiana en Lodos Granulares Aerobios para el tratamiento biológico de aguas residuales domesticas de Azaya

1.2.2. *Objetivos específicos*

- Determinar la biodegradabilidad de la aguas residuales domesticas en Azaya.
- Caracterizar las comunidades microbianas de las aguas residuales en un reactor secuencial mediante la hibridación fluorescente *in situ* con un microscopio fluorescente invertido.
- Analizar la dinámica de la población microbiana en gránulos aerobios utilizando aguas residuales de Azaya en un reactor secuencial.

1.3. Justificación

La tecnología de lodos granulares aerobios ha demostrado un gran potencial para el tratamiento biológico de aguas residuales domesticas con varias ventajas sobre el tratamiento convencional. La ecología microbiana juega un rol importante en la arquitectura de los gránulos aerobios y está conformada por dos grupos principales de bacterias: autotróficas y heterotróficas; microorganismos que en presencia de materia orgánica de las aguas residuales compiten por la demanda de oxígeno disuelto y espacio, situación que con lleva a la competencia de inter-especies, transferencia de masa y estratificación de especies microbianas en gránulos (Bing-Jei, 2013, p 1)

En las instalaciones del estadio de la Universidad Técnica del Norte en el sector de Azaya está en funcionamiento la planta piloto de tratamiento biológico de aguas residuales con fin de desarrollar

una tecnología que contribuya a la solución ambiental de la descarga de aguas residuales domesticas rurales sin tratamiento alguno.

La planta de tratamiento mencionada produce lodos activados con múltiples microorganismos sin conocer la dinámica de la población microbiana, situación que limita el desarrollo de la tecnología de lodos granulares aerobia en el contexto ecuatoriano.

El conocimiento de la dinámica de la población microbiana en Lodos Granulares Aerobios contribuirá a la implementación de la tecnología de lodos granulares aerobia en el tratamiento biológico de aguas residuales municipales rurales y está enmarcada de la línea de investigación de la UTN: biotecnología, energía y recursos naturales; como también se ajusta a las metas del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 específicamente sobre: Incrementar el porcentaje de aguas residuales con tratamiento adecuado a 2021 (SENPLADES, 2017)

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

El tratamiento de lodos activados mediante la tecnología de lodos gránulos aerobios es un sistema novedoso que permitirá reducir la huella de carbono en un 75 % y alcanzar un ahorro de energía del 50 % en comparación con los sistemas convencionales, sobre todo sin uso de químicos (Aqua-Aerobic Systems Inc., 2017, p. 34)

En Inglaterra en el año 1914 se utilizó por primera vez el tratamiento biológico de lodos activados en los procesos de depuración de aguas residuales domesticas con microorganismos que oxidan la materia orgánica disuelta para convertir en agua estable y sin la carga contaminante, bajo condiciones de oxígeno y disponibilidad de alimento. Para elevadas concentraciones de materia orgánica, entre 0,6 y 1 kg de demanda bioquímica de oxígeno/kg sustrato/día predominan los microorganismos filamentosos de difícil decantación y permanecen en suspensión (Arcos, 2013, p 1).

Los gránulos aerobios densos y estables obtenidos mediante la interacción de los microorganismos constituyen una buena alternativa para promover el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas, en este ámbito se han realizado varias investigaciones en el mundo que demuestran la influencia de varios factores en el proceso de obtención de los gránulos, como son: composición del sustrato, concentración de la materia orgánica, fuerza de corte hidrodinámica, estrategia de alimentación, contenido de oxígeno disuelto, configuración del reactor, tiempo de retención de los sólidos y tiempo de decantación entre otros (Bing-Jei, 2013, p. 1).

Las condiciones del lavado en un ecosistema de lodo granular no son conocidas en la actualidad, donde diferentes grupos bacterianos están interactuando tanto en el crecimiento granular como en el efluente. Según (Szabó et al., 2017, p 2) mediante el análisis de imágenes obtenidas por hibridación

y fluorescencia *in situ* se ha observado taxones en el interior de los gránulos, protegidos de la erosión y creciendo rápidamente.

Los Reactores Secuenciales Intermitentes son adecuados para la obtención de gránulos aerobios a partir de aguas residuales domésticas reales con contenidos de carga orgánica inferior a $2 \text{ kg/m}^3/\text{d}$ según Wagner (2013, p 2)

El crecimiento de bacterias oxidantes de nitritos en un reactor secuencial es significativo bajo condiciones de suministro de oxígeno, especialmente con fracciones de tamaño medio según (Gilbert, *et al.*, 2012, p 2). Adicionalmente los experimentos en lotes mediante hibridación *in situ* fluorescente han demostrado ser herramientas precisas para el seguimiento de los diferentes procesos en un Reactor Secuencial Intermitente, especialmente para estudiar la distribución y actividad de las bacterias.

La influencia de los microorganismos en la granulación aerobia de lodos activados es relevante, este consorcio microbiano macroscópico está conformado por dos grupos principales: autotróficos y heterotróficos. Los autotróficos son los encargados de la nitrificación y los heterotróficos por la oxidación del carbono, ambos contribuyen a la eliminación del nitrógeno y conversión de la materia orgánica presente en las aguas residuales. El tiempo de retención de sólidos en el sustrato es un parámetro de operación que regula la dinámica de la población bacteriana según Bing-Jei (2013 p 56)

La materia orgánica existente en las aguas residuales genera competencia por el oxígeno disuelto y espacio entre los microorganismos autotróficos y heterotróficos al interior de los gránulos, competencia inter-especies y transferencia de masa que con lleva a la estratificación de los microorganismos en gránulos. La relación de crecimiento de los autotróficos es inferior con respecto a los heterotróficos e incluso a fallar, por lo tanto comprender el crecimiento de estos microorganismos es fundamental para optimizar la eliminación de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales mediante reactores (*op.cit*, p 56).

Los microorganismos tienen la facultad de aprovechar la materia orgánica coloidal y disuelta en las aguas residuales como alimento, para crecer y reproducir; produciendo gases, materia inorgánica y biomasa, con una densidad superior al agua que facilita la decantación (Moeller & Tomasini, 2010, p 151).

El tratamiento biológico de aguas residuales tiene una similitud con los ciclos biogeoquímicos naturales, bajo condiciones adecuadas para el desarrollo de comunidades microbianas para aumentar la velocidad de conversión de los sustratos de las aguas residuales en productos; la caracterización de los microorganismos permite conocer el potencial intrínseco para la Bioremediación en la depuración de las aguas residuales domésticas (Garza, *et al.*, 2013, p 1)

La materia orgánica disuelta en las aguas residuales es difícil de remover, la mejor alternativa es mediante microorganismos que utilizan al sustrato como alimento, principalmente las bacterias convierten al sustrato orgánico en gases, agua y nuevas células en condiciones aerobias, anaerobias o facultativas (pueden ser con o sin oxígeno libre). Principio utilizado para el tratamiento biológico de las aguas residuales en aguas biodegradables (González, 2015, p 48)

La biodiversidad en los lodos activados en un reactor es compleja y por lo tanto es determinante conocer con mayor detalle a los grupos fisiológicos existentes, los mismos que están en relación directa con la biomasa y esta con el parámetro Demanda Química del Oxígeno (DQO), según Chávez sugiere considerar como parámetros de evaluación a: DQO, pH, alcalinidad y sólidos volátiles disueltos (Chávez *et al.*, 2003, p 1)

2.2. Marco teórico

2.2.1. Lodo granular aerobio: Composición del sustrato

Los lodos granulares aerobios obtenidos a partir de aguas residuales domésticas tienen forma esférica y densa con una estructura compacta de fácil decantación. Luego de un prolongado debate en el pri-

mer taller sobre granulación aerobia mantenido en Munich en el 2004 se define como: gránulos obtenidos de lodos activados granulares de origen microbiano, los cuales no coagulan bajo reducidos esfuerzos de corte hidrodinámico y decantación significativamente más rápido que los flocos de lodos activados (Bing-Jei, 2013, p 2)

La granulación aerobia depende de la composición de cada sustrato, carga orgánica, forma de alimentación, diseño del reactor, tiempo de decantación, extracción de lodos, intensidad de aeración y dinámica microbiana.

Los gránulos aerobios pueden crecer en una variedad de sustratos orgánicos contenidos en un reactor secuencial intermitente, donde la concentración y composición influyen en la morfología y microestructura de los gránulos como también en la estabilidad para el desarrollo de los microorganismos.

Para el estudio de la granulación aerobia especialmente con relación al desarrollo de la dinámica poblacional bacteriana se deberán realizar en sustratos de aguas residuales reales, para controlar la variables ambientales se necesita trabajar en aguas residuales sintéticas similares a fin de comprender a profundidad las reacciones biológicas con relación al tipo de sustrato, entre los componentes de las aguas residuales sintéticas se tiene: glucosa, acetato, fenol y etanol entre otros (Tay, *et al.*, 2006, p 100).

2.2.2. Bio-degradabilidad del agua residual

La bio-degradabilidad del agua residual constituye un parámetro fundamental para el tratamiento biológico de aguas residuales mediante microorganismos, con base al metabolismo microbiano y crecimiento cinético en la fracción correspondiente a la materia orgánica fácilmente bio-degradable, mediante microorganismos que consumen a las moléculas pequeñas y simples, como es el ácido acético, etanol, metanol, glucosa y el amonio entre otros. Mientras la materia orgánica lentamente bio-degra-

dable está conformada por moléculas grandes que través de las enzimas producidas por los microorganismos son hidrolizadas en materia orgánica fácilmente bio-degradable, situación que conlleva a determinar el fraccionamiento de la demanda biológica de oxígeno total (Osorio y Robles, 2012, p 15).

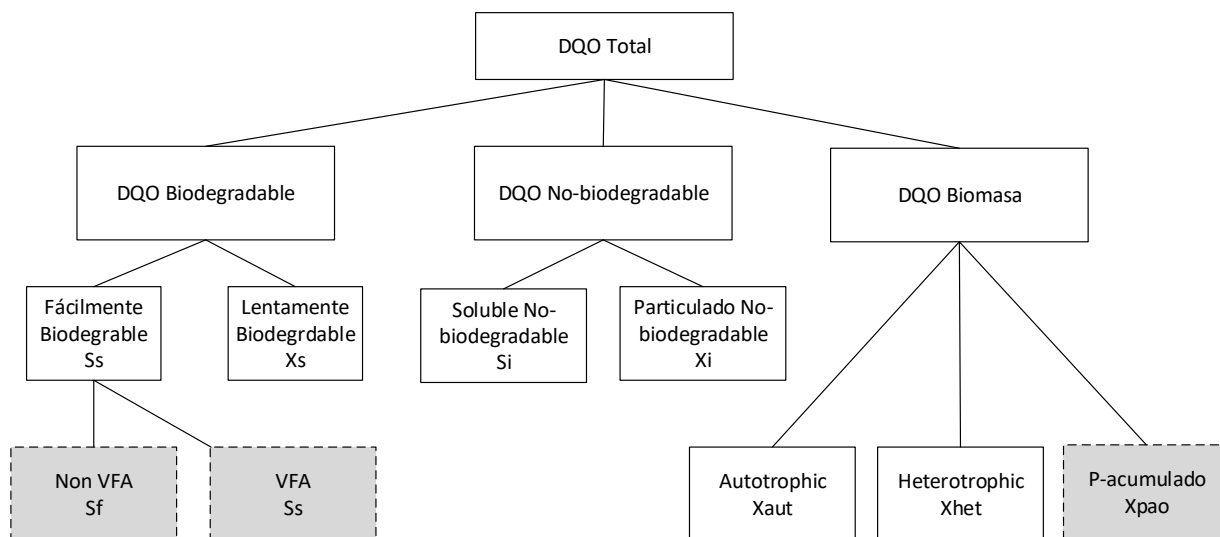
La bio-degradabilidad de las aguas residuales con relación al tratamiento biológico de aguas residuales requiere del fraccionamiento de la demanda química del oxígeno mediante la metodología aplicada por Pasztor (2009, p 52) por la facilidad de aplicación en la determinación de la fracción lentamente biodegradable y fácilmente biodegradable, información que contribuirá a comprender con mayor detalle la incidencia del sustrato en el comportamiento de los microorganismos, especialmente de las bacterias nitrificantes en el proceso recuperación de las aguas residuales domésticas procedentes de pequeños asentamientos humanos y determinar los parámetros de operación de las plantas de tratamiento biológico de las aguas residuales con el menor consumo de energía e insumos.

En los procesos biológicos para la depuración de aguas residuales el ciclo del nitrógeno tiene una relación directa con la dinámica microbiana, especialmente por las bacterias nitrificantes en condiciones apropiadas para el crecimiento en la composición del sustrato, pH y disponibilidad del oxígeno disuelto; de acuerdo a Szilveszter (2014) las aguas residuales domésticas apropiadas para el tratamiento biológico tienen una composición similar a la indicada en la Tabla 1 a fin de aplicar la tecnología apropiada para la depuración con base a la relación ideal de concentración del DQO con el nitrógeno total y alcalinidad ideal

Figura 1

División de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en los componentes de la familia de modelos

ASM



Nota: Adaptado de la división de las aguas residuales afluentes en componentes DQO dentro de la familia de modelos ASM, tomado de “Chemical oxygen demand fractions of municipal wastewater for modeling of wastewater treatment”, (pag 52) I. Pasztor; P. Thury; J. Pulai 2009, *International Journal Enviromental Science Technology*

Tabla 1

Composición del material soluble en aguas residuales domesticas medianamente concentradas

Parámetro	Material		Total
	Soluble	Suspendido	
DQO, [g/m ³]	300	450	750
DBO, [g/m ³]	140	210	350
N Total, [g/m ³]	50	10	60
P Total, [g/m ³]	11	4	15

Nota: Adaptada del curso “Introducción al tratamiento biológico de aguas residuales” (Henze 2008, como se citó en Szilveszter, 2014)

2.2.3. *Diseño del reactor secuencial intermitente*

La forma del reactor incide en el modelo de la mecánica del fluido y distribución de los agregados microbianos en el sustrato, especialmente con la velocidad de las burbujas del aire y esfuerzo de corte hidrodinámicos; en general los procesos aerobios son muy similares en los diferentes reactores con relación directa al tiempo de retención hidráulico, aporte del oxígeno y homogenización del sustrato a través de medios mecánicos (Robles Martínez, *et al.*, 2018, p 20)

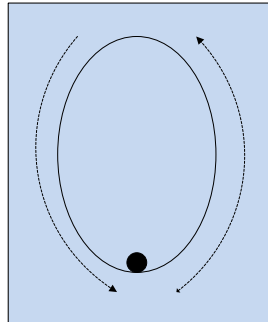
Los reactores denominados de mezcla completa (RCTA delacrónico en inglés) no han demostrado ser adecuados para la granulación aerobia debido al movimiento estocástico indicado, debido a que los agregados microbianos están expuestos a esfuerzos de corte variados y colisiones aleatorias. (Tay, *et al.*, 2006, p110)

Los reactores secuenciales intermitentes (SBR delacrónico en inglés) el afluente no ingresa durante el proceso de reacción, se caracterizan por una agitación continua del sustrato para lograr una concentración homogénea en el volumen íntegro del reactor que varía únicamente con el tiempo de reacción creando las condiciones apropiadas para desarrollar la investigación sobre el tratamiento biológico de aguas residuales (Robles Martínez, *et al.*, 2018, p 21).

El desarrollo de la granulación aerobia eficiente se ha logrado con reactores que tienen un movimiento circular uniforme del granulo.

Figura 2

Movimiento circular del granulo

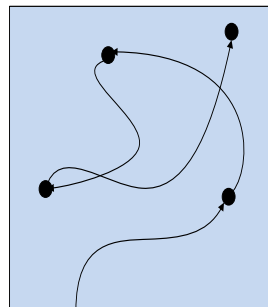


Nota: Adaptado del movimiento de las partículas en un SBR, tomado “Formation, Characterization and Mathematical Modeling of the Aerobic Granular Sludge”, por Bing-Jei, N. (2013)

El diseño de los reactores para garantizar una operación adecuada, deberá considerar una relación altura/diámetro del reactor mayor a 7,5; fundamental para lograr un flujo circular del sustrato líquido en el reactor y obtener una concentración homogénea en todo el reactor secuencial intermitente sin espacios muertos (Velez, 2020, p 49)

Figura 3

Movimiento estocástico del granulo



Nota: Adaptado del movimiento de las partículas en un SBR, tomado “Formation, Characterization and Mathematical Modeling of the Aerobic Granular Sludge”, por Bing-Jei, N. (2013)

El crecimiento de gránulos en un reactor secuencial intermitente (SBR) obedece a una secuencia de procesos: llenado, aeración, decantación y descarga. Por lo tanto, los microorganismos están expuestos a condiciones periódicas de banquete y hambruna, situación que conlleva a una característica hidrófuga de la comunidad bacteriana y alta hidrofobicidad celular, facilitando la formación de agregados microbianos. El régimen de cambio periódico de banquete / hambruna en la población microbiana fomenta una presión de selección microbiana para alterar las propiedades de la superficie de las células (Tay, *et al.*, 2006, p104).

La intensidad de aeración influye en los esfuerzos de corte hidrodinámicos en el proceso de formación de gránulos, a mayor esfuerzo de corte se logra: mayor estabilidad, morfología clara, estructura densa y buen rendimiento. La concentración de Oxígeno Disuelto es un parámetro importante y podría variar de 0,7 a 6 mg/L, el aspecto de mayor relevancia es mantener la condición aerobia en el sustrato y con la menor demanda energética (*op.cit*, p105).

La granulación aerobia con buen rendimiento se logra mediante una alimentación intermitente para favorecer a la compactación de los gránulos. Según Tay (2006, p 106) recomienda una alta frecuencia de alimentación para acelerar los ciclos de banquete / hambruna.

La alimentación en el fondo del reactor favorece el crecimiento de los gránulos y contribuye a mitigar los efectos adversos de la carga de materia orgánica fácilmente biodegradable (Haaksman, *et al.*, 2020, p 9).

La operación estable de un SBR con un proceso biológico implica controlar el crecimiento celular mediante la purga del exceso de lodos activados inmediatamente del ciclo de sedimentación (Robles Martínez, *at al.*, 2018, p 23).

2.2.4. *Dinámica microbiana*

La relación entre el agua y la vida es una casualidad pura, es decir que la vida que ha surgido en nuestro planeta es gracias al agua y sus propiedades. Es en los mares, ríos y lagos donde la vida se originó y evolucionó puesto a que el agua dentro de las células posibilita el desarrollo de todas las reacciones y actividades biológicas. De igual forma, el agua permite el transporte de productos orgánicos, nutrientes, entre otros.

El agua es el lugar donde habitan muchas bacterias siendo varias de ellas autótrofas que se alimentan de los componentes creados tras la descomposición de la materia orgánica. Este proceso de descomposición lleva obtener productos inorgánicos que permiten el reciclaje de nutrientes y materiales (Kuczynski, 2017, p 52), es decir, se crean las condiciones apropiadas para el tratamiento de aguas residuales.

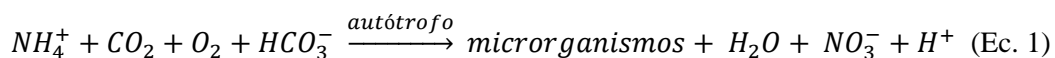
Una de las propiedades de las bacterias es su capacidad de poder multiplicarse con facilidad en periodos cortos de 20 a 25 minutos permitiendo así la conformación de colonias en un hábitat favorable para la vida en general. En los reactores se busca formar estas colonias como también determinar los parámetros adecuados para el saneamiento de las aguas en beneficio de la humanidad. Cabe señalar que para comprender e identificar los parámetros adecuados del crecimiento bacteriano es necesario preparar sustratos de cultivo controlados que contienen los componentes esenciales para el desarrollo de microorganismos (*op.cit*, p 54).

En los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas los microorganismos para el crecimiento necesitan carbono, nutrientes inorgánicos, energía y poder reductor; disponibles en el sustrato a través de las reacciones de oxidación del sustrato que suministran electrones requeridos para la transformación de las formas oxidadas a reducidas, finalmente al proceso de síntesis celular (Robles Martínez y Seco Torrecillas 2018, p 2).

La formación de la sustancia extracelular polimérica de agregados microbiano es muy compleja y depende de varios parámetros operacionales como de las concentraciones. La generación de la sustancia extracelular tiene relación directa con el crecimiento microbiano y consumo del sustrato, factores que determinan la dinámica microbiana; los microorganismos para el crecimiento necesitan carbono, nutrientes inorgánicos, energía y poder reductor disponibles en el sustrato, en relación directa con la Demanda Química de Oxígeno (*op.cit*, p 10).

Los consorcios microbianos macroscópicos tienen relación con la forma y tamaño de los gránulos aerobios, conformados por dos grandes grupos: autotróficos y heterotróficos. La nitrificación en el tratamiento biológico de aguas residuales es llevada a efecto mediante los autotróficos mientras los heterotróficos contribuyen a la eliminación del carbón (Moeller y Tomasini, 2010, p 151).

Los microorganismos autótrofos producen energía y síntesis celular a partir de materiales inorgánicos, mediante procesos fotosintéticos o químico-sintéticos; la presente investigación se focaliza en las reacciones inorgánicas de oxidación-reducción mediante las bacterias nitrificantes, oxidando el amonio en nitrato



La muerte y lisis de los microorganismos autótrofos enriquecen al sustrato lentamente biodegradable, previa hidrólisis es consumido por las bacterias heterotróficas en condiciones aerobias y anóxicas (Robles Martínez y Seco Torrecillas, 2018, p 11).

Según Mendez (2007, p 102) en el tratamiento biológico de la aguas residuales, el nitrógeno amoniacal utilizado para la síntesis de la nitrificación es mínimo en comparación a la utilización predominante de las bacterias nitrificantes y es importante recalcar que el desarrollo de este proceso con-

sume alcalinidad del sustrato, se ha demostrado la relación directa entre la capacidad de nitrificación y la relación DBO/Nitrógeno-total, cocientes entre 1 a 3 implica una existencia del 21 al 8,3 % de bacterias nitrificantes en la biomasa.

La evolución del tamaño de los gránulos aerobios está combinada con el almacenamiento simultáneo y crecimiento de los gránulos aerobios en el reactor secuencial y constituye uno de los principales desafíos para implementar esta tecnología en el contexto ecuatoriano (Bing-Jei, 2013, p 34).

La inestabilidad en el proceso de granulación aerobia tiene relación directa con la disponibilidad de materia orgánica fácilmente biodegradable y la secuencia de ciclos sucesivos recomendada es: alimentación anaeróbica durante 45 minutos, mezcla aerobia durante 4 minutos, alimentación aerobia durante 75 minutos, aeración durante 46 minutos, decantación durante 5 minutos y descarga de lodos durante 5 minutos (Haaksman, *et al.*, 2020, p 3).

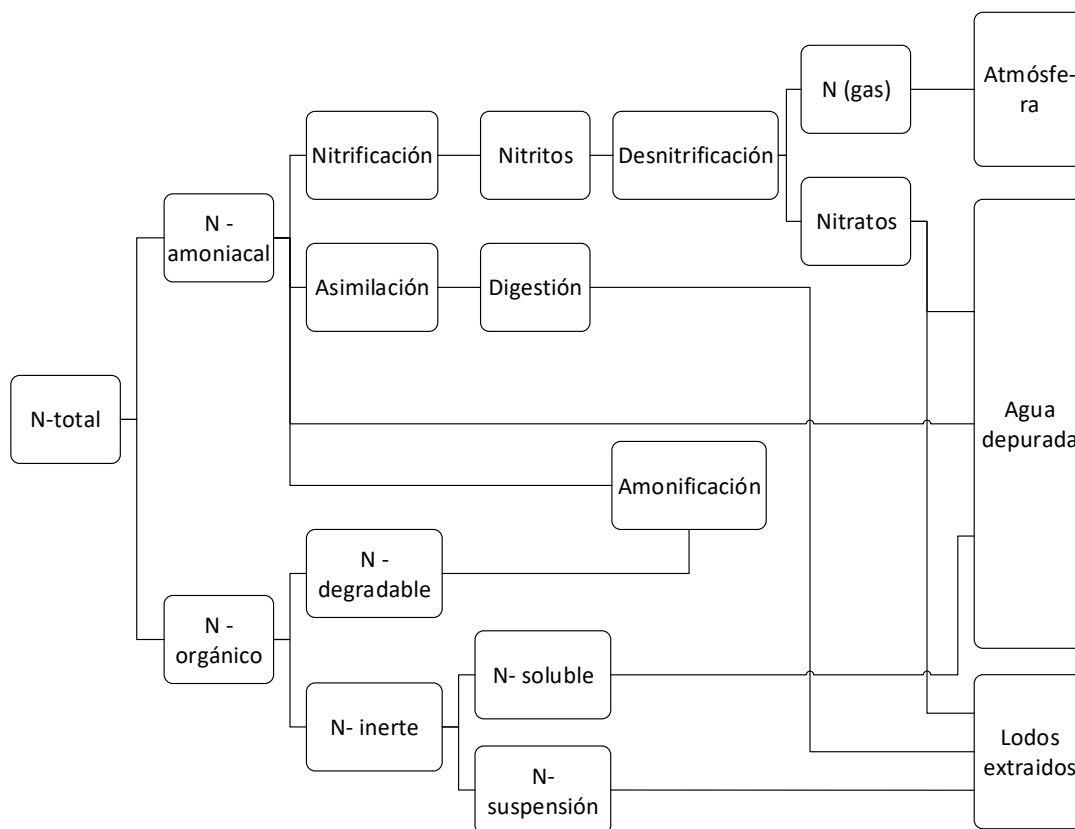
El nitrógeno está presente en las aguas residuales y tiene el rol de nutriente o bio-estimulante junto con otros elementos como el hierro y el fósforo; en forma de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrito y nitratos. La remoción de este elemento de las aguas residuales es mediante las bacterias amonio-oxidantes (AOB del acrónico en inglés) y las bacterias nitrito-oxidantes (NOB del acrónico en inglés) (Salas Trujillo, 2010, p 11).

El estudio mediante un Reactor Secuencial Intermitente es generar un lodo activado estable como sea posible con base a las características del lodo activado, efluentes y comunidad microbiana; con una mínima variabilidad de los parámetros ambientales y composición del influente. La manera de alcanzar estas condiciones es mediante un agua residual sintética usualmente denominada “*Syntho*” compuesta de productos disponibles en el mercado y bajo costo, como también de fácil preparación y dosificación.

“Syntho” es una mezcla conformada por un 10 % de agua residual domestica real con agua residual sintética, con una composición y calidad basada en el promedio de las aguas residuales domesticas en estudio. La fracción de material inerte existente en las aguas residuales reales es simulada con tierra de diatomea, fundamental para aumentar la densidad del floculo del lodo (Nopens, 2001, p 2).

Figura 4

Ciclo del nitrógeno en el tratamiento de aguas residuales



Nota: Adaptado del proceso de nitrificación-desnitrificación en el tratamiento de aguas residuales, tomado de *Procesos para el Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Industriales*, (pag. 100), C. Menéndez, JM. Pérez. 2007

Las bacterias tienen la capacidad de procesar diferentes nutrientes existentes en los medios de cultivos. Cabe mencionar que es importante identificar las bacterias por la forma de sus células como también la conformación de las colonias. En la actualidad con base a la tecnología desarrollada existen sistemas de identificación normalizados que permiten clasificar las bacterias y usarlas posteriormente con fines clínicos u otros campos de la ciencia.

Existen consideraciones dadas por Kuczynski (2017) para estudiar las bacterias desde una metodología clásica como son las siguientes:

- Los medios de cultivo tradicionales a veces no permite el crecimiento de todas las bacterias necesarias para un estudio.
- En los micronichos las bacterias pueden estar ocultas pasando desapercibidas en el agua libre.
- Algunas bacterias pueden sobrevivir dentro de otros organismos como comensales sin detectarse.
- Las bacterias al sentirse amenazadas desarrollan una cubierta protectora que las convierte resistentes a condiciones que afectarían o incluso matarían a la célula normal por lo que no son detectadas.

Cabe señalar que las observaciones anteriores no son las únicas, puesto a que, se ha evidenciado la existencia de un intercambio de información genética cuando las bacterias se encuentran en el agua.

Actualmente la tecnología de sonda genética permite identificar en el campo con precisión las bacterias a partir de una muestra original, mediante pequeños elementos del ADN de bacterias o colonias de bacterias que han adquirido firmas distintivas en el material genético con la evolución de la vida terrestre. El sistema Nitri-VIT desarrollado por Verimcon de Alemania permite identificar las bacterias nitrificantes, como también realizar un seguimiento a la dinámica de la población microbiana en los lodos activados de las plantas de tratamiento biológico de aguas residuales.

2.3. Marco legal

En el contexto ecuatoriano existen varias normas articuladas al aire, agua, suelo, ambiente y biodiversidad, sin embargo no existe una ley que regule a los lodos activados ni al uso de los microorganismos en general, como por ejemplo en actividades de Bioremediación; siendo necesario buscar normativas legales afines en la Constitución Ecuatoriana como leyes específicas y otras aplicadas en países similares al Ecuador.

2.3.1. La Constitución Ecuatoriana

Los Artículos 14, 66 numeral 27, 267 numeral 4 hacen referencia a vivir en un ambiente sano, libre de contaminación, preservar la biodiversidad y protección del ambiente; situación que enmarca a desarrollar la presente investigación para la búsqueda de otras alternativas para el tratamiento de aguas residuales domesticas en el sector rural.

Con referencia a la depuración de las aguas residuales el Artículo 264 numeral 4, el Artículo 314 y el Artículo 318 hacen referencia a la competencia exclusiva de los gobiernos municipales y del Estado para la depuración de la aguas residuales, por lo tanto la investigación aportará con soluciones acordes al contexto ecuatoriano

2.3.2. Leyes

2.3.2.1. Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización

El Artículo 196, menciona que los GADs municipales establecerán en forma progresiva sistemas de gestión de aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado. La investigación aportara con alternativas tecnológicas para la depuración de las aguas residuales o estrategias para mejorar el funcionamiento de las plantas de tratamiento existente (Asamblea del Ecuador, 2010, p 55).

2.3.2.2. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.

El Registro Oficial N° 305 Segundo Suplemento publicado el 6 de agosto del 2014 tiene como fin garantizar el derecho humano al agua, regular y controlar la restauración de los recursos hídricos como también de la gestión integral y recuperación en sus distintas áreas (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2014, p 1). El Artículo 3 hace referencia sobre el objetivo de la ley para garantizar el derecho humano al agua, así como regular, controlar, preservación, conservación y restauración de los recursos hídricos. Por otro lado, el Artículo 4 el agua, como recurso natural debe ser conservado y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable para garantizar la permanencia y calidad.

La dinámica microbiana desarrollada con la granulación aerobia está enmarcada en la obtención de lodos bajo condiciones de aeración prolongada, con tiempos de retención superior a los 20 días; al no existir una normativa ecuatoriana específica, se considerará a la NOM-004-SEMARNAT-2002, opción 3 de México que indica: “Se considera bio-sólidos digeridos aeróbicamente con el 2 % de sólidos o menos, han logrado la reducción de atracción de vectores si después de 30 días de digestión aerobia en una prueba de laboratorio a 20 grados Centígrados” (Mexicanas, 2003, p 9).

CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO

2.4. Descripción del área de estudio

La planta piloto de tratamiento biológico de la Universidad Técnica del Norte se encuentra en Azaya en el sector norte de Ibarra y el acceso principal es por el Anillo Vial, con todos los servicios básicos para realizar la investigación y condiciones de bioseguridad aceptables. La temperatura ambiente media de 17°C a una altitud de 2247 metros sobre el nivel de mar (INAMHI, 2013, p132)

Figura 5

Ubicación del área de estudio



El agua residual de ingreso proviene del barrio Flota Imbabura con características de biodegradabilidad adecuada para el tratamiento biológico con una población estimada de 2000 habitantes con base al caudal de ingreso a la planta de tratamiento y en relación a la información levantada por Pozo (2012, p 92)

2.5. Enfoque y tipo de investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, tipo de investigación exploratoria

2.6. Procedimiento de la investigación

2.6.1. Fase 1: Determinar la biodegradabilidad de las aguas residuales domesticas en Azaya.

Para determinar la bio-degradabilidad de las aguas residuales domesticas en Azaya, especialmente conocer la fracción de fácilmente biodegradable, se parte de una muestra compuesta obtenida en la planta de tratamiento biológico de aguas residuales; mediante análisis el método fisicoquímico con base al modelo de fraccionamiento del DQO a partir de la separación de los procesos de filtración y floculación mediante la medición del DQO obtenido en cada fracción acorde a los protocolos de la Estándar Métodos. La ventaja de este método es la rapidez y facilidad para lograr una caracterización de las aguas con mayor detalle, sin incluir el DQO atribuible a la biomasa, generalmente ($DQO_{Biomasa} \rightarrow 0$); mediante la aplicación de la siguiente expresión matemática:

$$X_I = DQO_{TOTAL} - X_S - S_S - S_I \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde:

$X_I = \text{Particulado inerte}$

$X_S = \text{Lentamente biodegradable}$

$S_S = \text{Fácilmente biodegradable}$

$S_I = \text{Soluble inerte}$

Los pasos y las fórmulas para determinar el fraccionamiento del DQO son las siguientes:

$$S_I = 90\% \text{ filtrado efluente } (0,45\mu\text{m}) \text{ DQO} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$S_S = \text{Floculado con } (\text{ZnSO}_4) \text{ y filtrado } (0,45\mu\text{m}) \text{ del influente DQO} - S_I \quad (\text{Ec. 4})$$

$$X_S = \text{DBO}_{\text{ULTIMO}} - S_S \quad (\text{Ec. 5})$$

La utilización del sulfato de zinc como coagulante obedece a las características de no-toxicidad, propiedades de neutralización de carga y puente de agregación eficiente, con una eficiencia superior a los coagulantes férricos y de aluminio convencionales.

El análisis de DQO y DBO se realizan con referencia a los protocolos existentes en la Estándar

Métodos.

Tabla 2

Parámetros de seguimiento del agua residual domestica real

Parámetros	Unidad	Método de referencia (Estándar Métodos)
Oxígeno Disuelto	mg/L	SM 4500 OG
Demanda química de oxígeno	mg/L	Filtrado en membrana de celulosa de 0,45 μm , SM 5220 D
Demanda bioquímica de oxígeno 5 días	mg/L	SM 5210 D
Demanda bioquímica de oxígeno 5 días	mg/L	Filtrado en membrana de 0,45 μm , SM 5210 D
pH		APHA 4500 H+B
Temperatura	°C	SM 2550 A
Nitrógeno amoniacal	mg/L	HACH 8038

El número de muestras apropiado con referencia a limitaciones prácticas un mínimo de semanas de muestreo compuesto diario y dos días de muestras cada dos horas (total 33 muestras).

2.6.2. Fase 2: Caracterizar las comunidades microbianas de las aguas residuales en un reactor secuencial mediante la hibridación fluorescente in situ con un microscopio fluorescente invertido.

El lodo activado cultivado en dos reactores secuenciales intermitentes con un volumen de trabajo de 3 litros, diámetro interior de 75 mm y alto de 1000 mm; los reactores R1 y R2 parten con un sustrato de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UTN localizada en el estadio de la UTN como inóculo y alimentado con agua residual sintética de características similares a la agua real; para generar un lodo activado estable como sea posible con base a las características del lodo activado en estudio, efluentes y comunidad microbiana, una mínima variabilidad de los parámetros ambientales y composición del afluente. La diferencia entre el reactor R1 y R2 consiste en el modo de operación a fin de buscar las mejores condiciones de operación. La Figura 6 corresponde al arreglo general de cada reactor. En este tipo de reactor no se alimenta el afluente mientras se desarrolla las reacciones en el sustrato, el contenido es homogéneo y únicamente varía las concentraciones con el tiempo.

Tabla 3

Parámetros operacionales de los reactores

Ciclos sucesivos	Duración (minutos)	
	R1	R2
Fase anaerobia y alimentación agua sintética	30	30
Fase anaerobia	185	10
Fase aerobia	0	175
Sedimentación	20	20
Descarga de efluente	5	5

La dosificación de la Tabla 4 son valores aproximados y se podría asumir que 1 mg/L de producto equivale a 1 mg/L de DQO, situación verificada entre el valor calculado y la medición del DQO total en el medio afluente, también se asume un valor DBO teórico con base a la relación DQO a DBO de 0,65 y una relación DQO/N/P 100:13,7:2,14.

En cada reactor se realizarán mediciones diariamente en el mismo ciclo del pH, temperatura y Oxígeno Disuelto (DO); DQO, contenido amoniacales y nitratos del influente como del efluente serán determinados durante tres repeticiones. Las condiciones normales de funcionamiento del reactor será con un pH entre 6,5 y 8, la temperatura ambiente entre 20 °C a 25°C y Oxígeno disuelto superior a 0,5 mg/L (Menéndez y Pérez, 2007, p 103).

Tabla 4

Afluente sintético

	mg/L	DQO [mg/L]	N [mg/L]	P [mg/L]
Compuesto químico				
UREA	91,74	23,22	42,81	
NH ₄ Cl	12,75		3,52	
Na-acetato	79,37	79,37		
Peptona	17,41	17,41	0,67	
MgHPO ₃ .3H ₂ O	29,02			5,14
KH ₂ PO ₄	23,4			3,14
FeSO ₄ .7H ₂ O	6,8			
Ingredientes de alimentación				
Almidón	122	122		
Leche en polvo	116,19	116,19	6,95	1,14
Levadura	52,24	52,24	6,28	
Aceite de soya	29,02	29,02		
		439,45	60,23	9,42

Nota: La tabla corresponde al dosificación de los componentes del agua residual sintética, adoptado del reporte técnico “Stability analysis of a synthetic municipal wastewater”, (pag 3), por I. Nopens, C. Capalozza & P. Vanrolleghem (2001), Department of Applied Mathematics, Biometrics and Process Control, Universiteit Gent

La caracterización de las variables del material afluente en cada localidad es fundamental, debido a la incidencia en el proceso de granulación aerobia en un determinado modelo biocinético, significa que las características del afluente podrían ajustar a los parámetros cinéticos, para comprender la dinámica microbiana y buscar el apropiado modelo biocinético.

En el tratamiento de lodos activados aproximadamente el 95 % de la biomasa está conformada por bacterias, el desafío consiste en conformar flóculos o gránulos a partir de las bacterias aisladas con un tamaño entre 0,5 a 1,0 μm , mediante el crecimiento en condiciones apropiadas hasta alcanzar un tamaño entre 0,05 a 1,0 mm; tamaño que facilita la sedimentación de la biomasa (Robles Martínez, y Seco Torrecillas, 2018, p 3).

El control de las condiciones ambientales es fundamental para el desarrollo de los microorganismos en general, como la temperatura, el pH, la existencia de nutrientes, presencia de productos tóxicos, como también el tiempo de permanencia suficiente para la reproducción y tiempo de utilización del sustrato (*Op cit.* p 14)

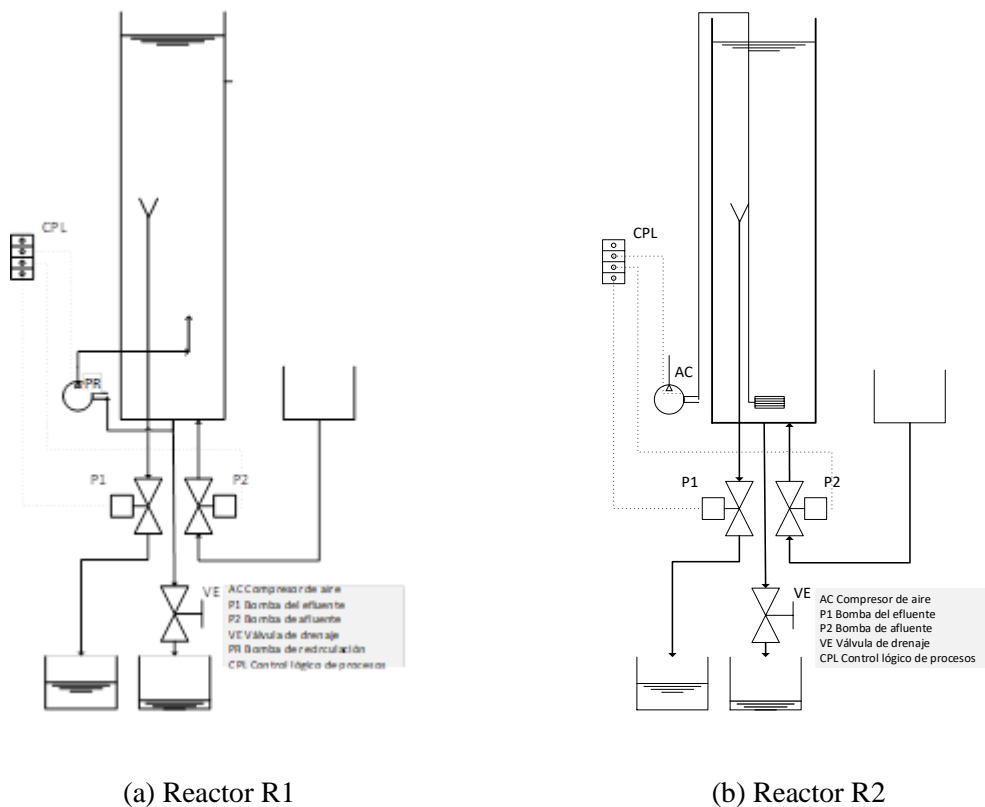
La temperatura del sustrato incide en la velocidad de las reacciones biológicas, como la transferencia de gases y características de sedimentación.

Los lodos activados que contienen las bacterias del sistema y conllevan la depuración del sustrato, son purgados a través de la válvula VE; al inicio de funcionamiento del reactor las bacterias están aisladas y libres, luego de un lapso de tiempo se aglutinan para formar los núcleos de los flóculos o gránulos; mediante la adición de bacterias y materia muerta o viva, durante la etapa de desarrollo el floculo es colonizado por microorganismos consumidores de bacterias hasta alcanzar el un sistema equilibrado en la etapa de madurez, situación sensible a las condiciones ambientales.

En los lodos activados existen algas, hongos, protozoos y bacterias; los seres vivos dominantes son las bacterias por la capacidad de utilizar la materia orgánica y formar rápidamente flóculos o gránulos. Las bacterias nitrificantes autótrofas existentes están en competencia por el oxígeno cuando este es el limitante, sobre todo mantener el equilibrio con las bacterias heterótrofas de fácil reproducción y presentes en los núcleos de flóculos o gránulos ((Robles Martínez y Seco Torrecillas 2018, p 26)

Figura 6

Arreglo general de los reactores



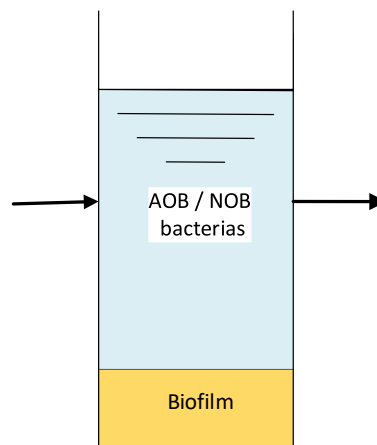
El proceso de Nitrificación Biológica es muy sensible a las limitaciones de **oxígeno, temperatura y pH**; sobre todo tiene relación directa con las bacterias amoníaco-oxidantes (AOB) y de las bacterias nítrico-oxidantes (NOB); grupos de bacterias existentes en los lodos activos cuyo crecimiento tiene

relación con el suministro adecuado de oxígeno y la edad mínima del lodo. El seguimiento y control de este proceso se basa en la identificación y cuantificación de los microorganismos mediante la tecnología de sonda genética Nitri-VIT®, las bacterias AOB brillan con color rojo y las bacterias NOB brillan con un color verde.

El reactor secuencial intermitente con un sustrato de agua residual sintética de acuerdo con Laurení (et al 2019) la distribución de la biomasa se visualiza en la Figura 7, en el cual se asume que la dinámica microbiana depende del crecimiento y lavado en el sustrato.

Figura 7

Distribución segregativa de la biomasa en un reactor secuencial intermitente con agua residual doméstica



Nota: Adaptado de la ubicación de la biomasa “Biomass segregation between biofilm and flocs improves the control of nitrite-oxidizing bacteria in mainstream partial nitrification and anammox process”, por Laurení, M., Weissbrodt, D., Villez, K., Robin, O., Jonge, N., Rosenthal, A., Well, G., Lund-Nielsen, J., Morgenroth, E., Joss, A. (2019)

2.6.2.1. Análisis con microscopía de fluorescencia

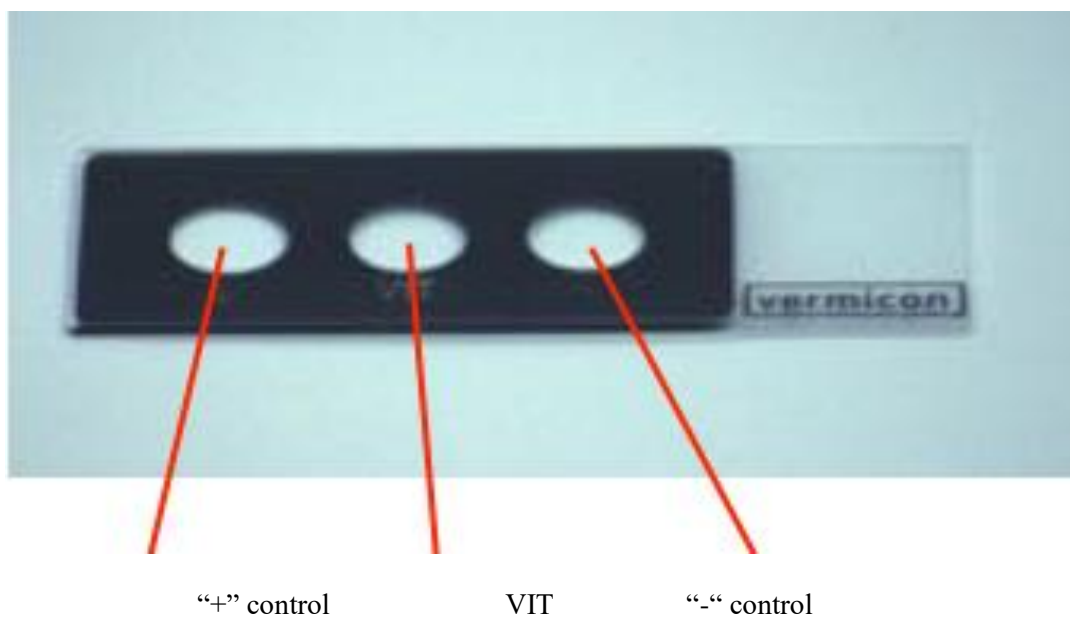
En el análisis con microscopía de fluorescencia ajustado a la tecnología VIT de Vermicon, permite observar la presencia de las bacterias AOB y NOB existentes en los flóculos de un

sustrato, mediante el portaobjeto que dispone tres campos: “+” control positivo, VIT y “-“ control negativo. La Tabla 6 contiene las guías clave para una aplicación exitosa de la observación microscópica mediante un objetivo 100x inmerso en aceite, en un microscopio de fluorescencia en un ambiente totalmente oscuro.

La conservación apropiada de los portaobjetos Nitri-VIT previa a la aplicación del aceite de acabado podría almacenarse hasta 6 meses a una temperatura inferior a -20°C y en el caso de haber aplicado el aceite de acabado podrían guardarse a -20°C hasta 5 días calendario.

Figura 8

Arreglo general del portaobjeto VIT



Nota: Adaptado del manual Nitri-VIT ® por www.verimcon.com (s/f)

Tabla 5
Guías clave para la microscopía de fluorescencia

Microscopio de fluorescencia	Campo del portaobjeto		
	"+" Control positivo	VIT	"-" Control negativo
Fase de contraste	Fase de contraste	Fase de contraste	Fase de contraste
Fluorescencia roja	Todas las bacterias viables brillan rojo	Bacterias viables AON brillan en rojo	Sin iluminación celular
Fluorescencia verde	Sin iluminación celular	Bacterias viables NOB brillan en verde	Sin iluminación celular

Nota: Adaptada del manual Nitri-VIT por www.vermicon.com (s/f)

La preparación de la muestra en la placa de observación se realiza con base al protocolo Nitri-VIT®:

2.6.2.2. Preparación de la muestra

- a) La muestra de lodo activado a ser analizada deberá aplicarse un tratamiento de separación en una centrifuga entre 20.000 a 26.000 rpm durante un minuto.
- b) Luego mezclar 100 μ L de lodo activado con 100 μ L de etanol absoluto en el tubo de reacción y agitar en un vortex durante cinco minutos a la temperatura del cuarto.
- c) La lamina portaobjetos debe insertarse en la tapa del reactor VIT, luego aplicar 10 μ L de lodo activado fijo en cada compartimento del portaobjetos, finalmente secar el portaobjetos en posición horizontal a una temperatura de 46 °C durante 15 a 30 minutos, máximo 2 horas.
- d) En el tanque dispersar 25 gotas de la Solución C1 y luego insertar el tanque en el reactor VIT.

- e) Aplique 1 gota de control positivo PV (rojo) al campo "+" del portaobjeto / Aplique 1 gota de Nit VIT (verde) al campo "VIT" del portaobjeto / Aplique 1 gota de control negativo (marrón) al campo "-" del portaobjeto.
- f) El portaobjetos deberá insertarse con cuidado en el reactor VIT e incube en posición horizontal a 46°C , durante 90 minutos. PRECAUCIÓN: ¡Las soluciones / gotas no se pueden mezclar!
- g) La solución tapón de lavado deberá prepararse con 3 mL de la Solución D1 y 27 mL de agua destilada por diapositiva y precalentar durante 30 minutos a una temperatura de 46°C .
- h) Abrir el reactor VIT, sacar la tapa con el porta objetos y remover el tanque del reactor VIT
- i) Inmediatamente colocar el reactor VIT a la posición vertical y llenar con la solución tapón de lavado precalentada.
- j) Inmediatamente insertar en el reactor la tapa con el portaobjetos, cerrar herméticamente con cuidado y colocar el reactor VIT en posición horizontal durante 15 minutos a una temperatura de 46°C .
- k) Abrir el reactor VIT sacar el portaobjetos y desechar la solución tapón del reactor.
- l) Con el reactor VIT en posición vertical llenar de agua destilada sumergir brevemente el portaobjetos e inmediatamente sacudir el exceso de agua.
- m) El portaobjetos deberá colocarse en posición de secado durante 15 minutos a una temperatura de 46°C .
- n) En el portaobjetos aplicar una gota de la solución de acabado en cada campo y finalmente sellar con una cobertura de vidrio.

2.6.3. Fase 3: Analizar la dinámica de la población microbiana en los gránulos aerobios a partir aguas residuales de Azaya en un reactor secuencial.

A partir del análisis microscópico de las bacterias AOB y NOB en el sustrato bajo diferentes condiciones se determina los cambios en la población microbiana mediante la tecnología Nitri-VIT® , que permite con precisión identificar y cuantificar las bacterias directamente a partir de muestras de lodos activados. Para la evaluación con la tecnología Nitri-VIT® se aplica los valores de la Tabla 6

Tabla 6

Criterio de evaluación VIT ®

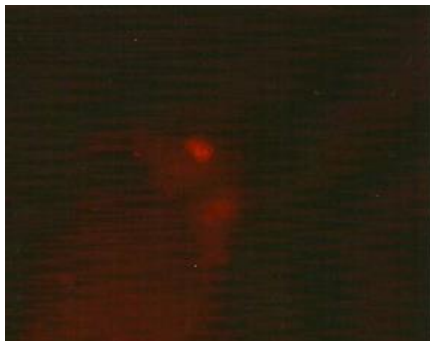
Grado de apreciación	Calificación
Pocas	1
Algunas	2
Muchas	3
Abundantes	4
Excesivas	5

Nota: Adaptada del manual Nitri-VIT por www.vermicon.com (s/f)

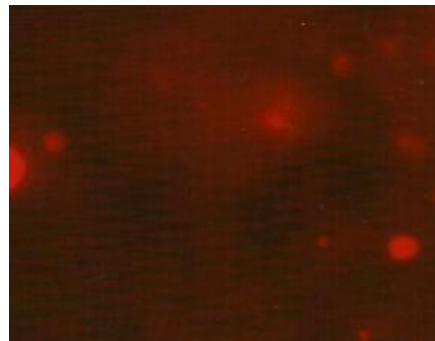
Las bacterias AOB se observan en los portaobjetos expuestos a la luz verde en un microscopio de fluorescencia invertido visualizados con una tonalidad roja, Figura 9 mientras las bacterias NOB excitadas con un haz de luz azul se observan con una tonalidad verde, Figura 10; en ambos casos se recomienda utilizar en el microscopio un objetivo 100x inmerso en aceite.

Figura 9

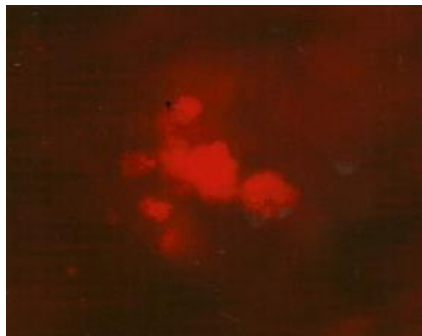
Imágenes fluorescentes patrón de bacterias AOB



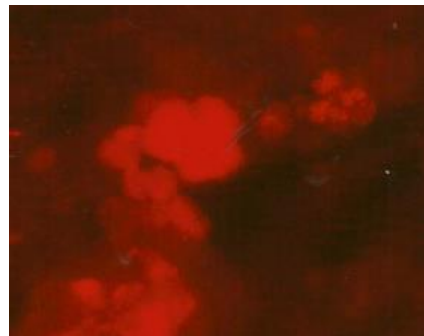
a) Pocas



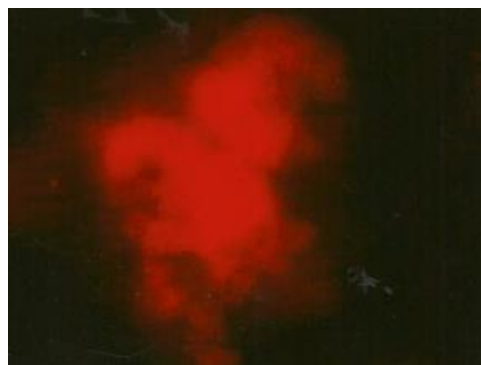
b) Algunas



c) Muchas



d) Abundantes

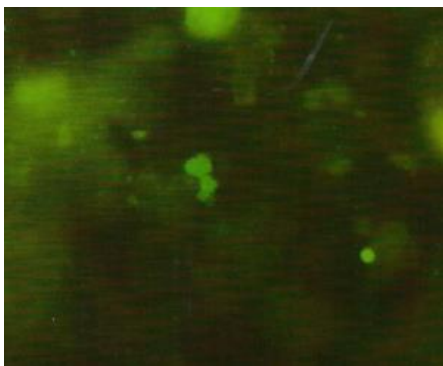


e) Excesivas

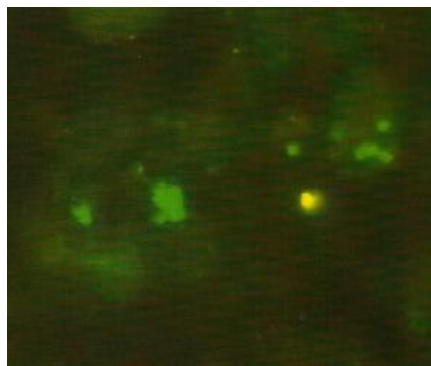
Nota: Adaptadas del manual Nitri-VIT por www.vermcon.com (s/f)

Figura 10

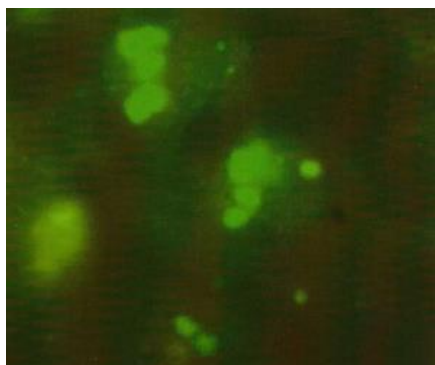
Imágenes fluorescentes patrón de bacterias NOB



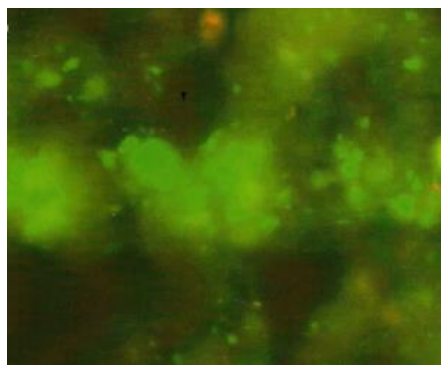
a) Pocas



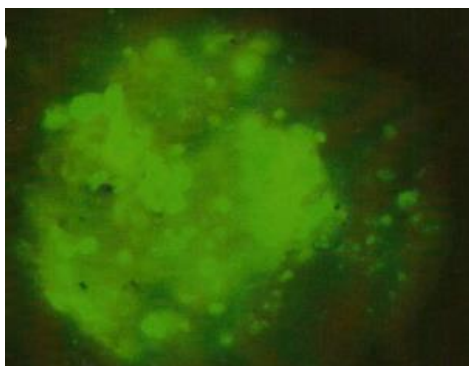
b) Algunas



c) Muchas



d) Abundantes



e) Excesivas

Nota: Adaptadas del Manual Nitri-VIT por www.vermicon.com (s/f)

2.7. Consideraciones bioéticas

El desarrollo de la investigación está orientada a la conservación del ambiente en beneficio de nuestra sociedad y por ende del planeta Tierra, con base a principios éticos para discernir las acciones correctas.

La investigación de los microorganismos se realizará en los hábitats naturales, sin utilizar proteínas especiales ni microorganismos modificados genéticamente. Las enzimas previstas utilizar no tienen conflictos bioéticos.

Los resultados de la investigación están orientados a mejorar la calidad de los efluentes de aguas residuales para contribuir a la protección de ecosistemas acuáticos, reducir la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua y aumentar la calidad de vida.

CAPITULO IV DISCUSION Y RESULTADOS

4.1. Determinar la biodegradabilidad de las aguas residuales domesticas en Azaya.

Con base al protocolo STOWA se recolectaron las muestras de agua después del tanque de sedimentación de la planta de tratamiento biológico de aguas residuales instalada en el estadio de la Universidad Técnica del Norte, sector Azaya. Al final del proceso se tomaron las muestras del efluente en el punto de descarga a la piscina de almacenamiento.

Para el fraccionamiento de la Demanda Química de Oxígeno aplicado por Pasztor (2009) se levantaron 33 muestras en diferentes días a la misma hora, la tabla 7 corresponde al valor medio del DQO_{Total} , $DBO_{último}$, DQO del material floculado con Sulfato de Zinc; con base a la normativa de la Estándar Métodos y filtrado del afluente (salida del sedimentador) en una membrana de $0,45 \mu m$ y DQO del efluente (descarga a la piscina de desnitrificación) filtrado en una membrana de $0,45 \mu m$

Tabla 7

Concentraciones de DQO y DBO

	DQO_{Total} [mg/L]	$DBO_{último}$ [mg/L]	$DQO_{Floc + filt}$ [mg/L]	$DQO_{efluente}$ [mg/L]
Media	758,3	447,3	349,8	283,2
Desviación estándar	70,1	35,1	46,1	22,4
Coficiente de variación	10,8	12,8	7,6	12,7

El agua residual en estudio de acuerdo a la concentración del DQO corresponde a la categoría Media admisible para el tratamiento biológico, con base a las ecuaciones 2, 3, 4, 5 y los valores representativos de las muestras de la Tabla 7, se determina el fraccionamiento del DQO desglosado en la Tabla 8.

Tabla 8

Fraccionamiento del DQO

S_i [mg/L]	S_s [mg/L]	X_s [mg/L]	X_i [mg/L]
254,9	94,9	352,4	56,1

La fracción de DQO fácilmente biodegradable S_s y lentamente biodegradable X_s , según Haaksman (2020, p 2) inciden en la estabilidad morfológica de los gránulos aerobios; especialmente la fracción S_s que facilita el desarrollo de microorganismos en el sustrato, apropiados para el tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas y desarrollar la investigación sobre la dinámica microbiana a través del análisis con microscopía de los lodos mediante la tecnología Nitri-VIT. Adicionalmente la relación COD/TN es mayor a 3,5 adecuada para lograr una adecuada desnitrificación (Szilvester, 2014)

4.2. Caracterizar las comunidades microbianas de las aguas residuales en un reactor secuencial mediante la hibridación fluorescente in situ con un microscopio fluorescente invertido.

A fin de controlar las variables ambientales se formuló el agua sintética con base a las características del agua real de Azaya correspondiente a un valor promedio DQO 758 mg/L de acuerdo al método utilizado por Nopens (2001, p 3), el concentrado para el agua sintética se elaboró con los materiales disponibles en el mercado local desglosados en la Tabla 9 y diluidos en 2 L de agua destilada tipo 1.

Tabla 9

Composición del concentrado para elaborar el concentrado de agua residual sintética

COMPONENTE	g
Compuesto químico	
UREA	15,8
NH ₄ Cl	2,2
Na-acetato	13,7
Peptone	3,0
MgHPO ₄ .3H ₂ O	5,0
KH ₂ PO ₄	4,0
FeSO ₄ .7H ₂ O	1,0
Ingredientes de alimentación	
Almidón	21,1
Leche en polvo	20,1
Levadura	9,0
Aceite de soya	5,0

El agua sintética utilizada en la observación se diluyó 40 mL de concentrado en 2,5 L de agua embotellada y 250 mL de agua real; la Tabla 10 permite evidenciar el control de las variables ambientales en el ensayo experimental, como es el caso de la variación del DQO en el agua real y la variación del DQO en el agua sintética.

Tabla 10

Concentración del DQO en el agua real y agua sintética

Fecha	Agua Real DQO [mg/L]	Agua Sintética DQO [mg/L]
17/05/2021	290	298
16/06/2021	320	332
16/07/2021	705	418

El ensayo experimental se realiza en dos reactores uno sin aeración R1 y otro R2 con aireación alimentados con el mismo afluente, a fin de analizar el crecimiento de las bacterias nitrificantes en estas condiciones; la estabilidad de operación en cada uno de los reactores se controla mediante la extracción del efluente en un volumen de 1,75 litros que representa el 50 % del volumen de reacción, paralelamente el monitoreo del pH y Oxígeno Disuelto.

El ciclo estable para el crecimiento equilibrado de las bacterias nitrificantes se logra en el día 60 con un ciclo total de 240 minutos el cual permite controlar el pH. En la Figura 11 y la Figura 12 se observa una tendencia lineal en la relación del pH con respecto al tiempo para ambos reactores, mientras que, la tendencia del DO es logarítmica tanto para el reactor R1 y R2 con respecto al tiempo.

En la Figura 11 que corresponde al R1, se observa que existe una tendencia negativa, es decir, a medida que el pH disminuye en el tiempo, el DO también disminuye.

Por otro lado, en la Figura 12 que corresponde al R2, se observa que existe a tendencia positiva para el DO y cíclica para el pH, no obstante, se observa que a medida que el pH se mantiene en el rango de 6,4 a 7,3, el DO aumenta; situación similar a la obtenida por Shuai (2021, p 5), evidenciándose el mayor incremento de pH entre los 100 y 150 minutos de cada ciclo.

Con respecto a la calidad del efluente a partir de 80 días de operación se observa una marcada diferencia entre los reactores R1 y R2, con una reducción de la concentración de DQO en el efluente en el reactor R2, como también la reducción de la concentración de nitratos, como una consecuencia de la actividad microbiana de las bacterias AOB y NOB en el reactor R2; la poca actividad microbiana en el reactor R1 no es favorable para el tratamiento biológico de las aguas residuales, creando altas concentraciones de DQO, nitratos y malos olores.

Figura 11

Variación del pH y OD con relación al tiempo en cada ciclo, reactor R1 (sin aeración)

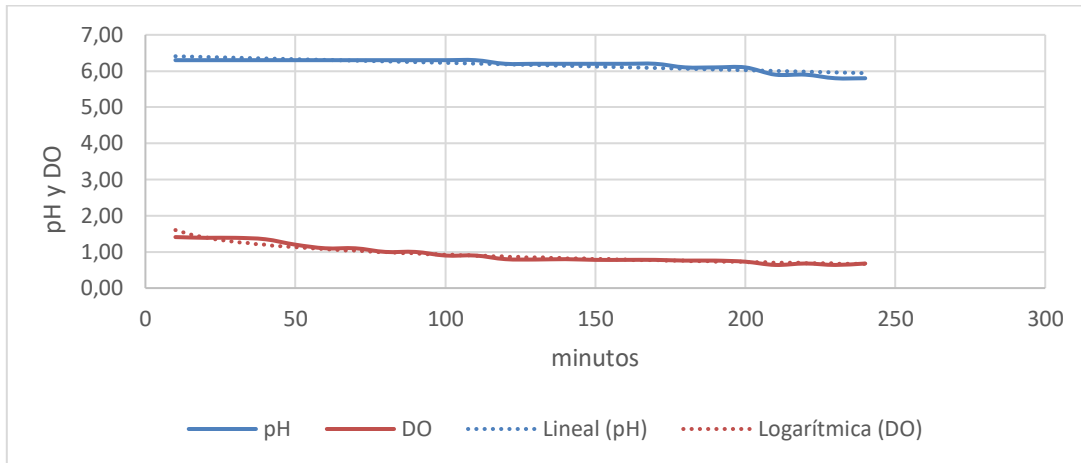


Figura 12

Variación del pH y OD con relación al tiempo en cada ciclo, reactor R2 (con aeración)

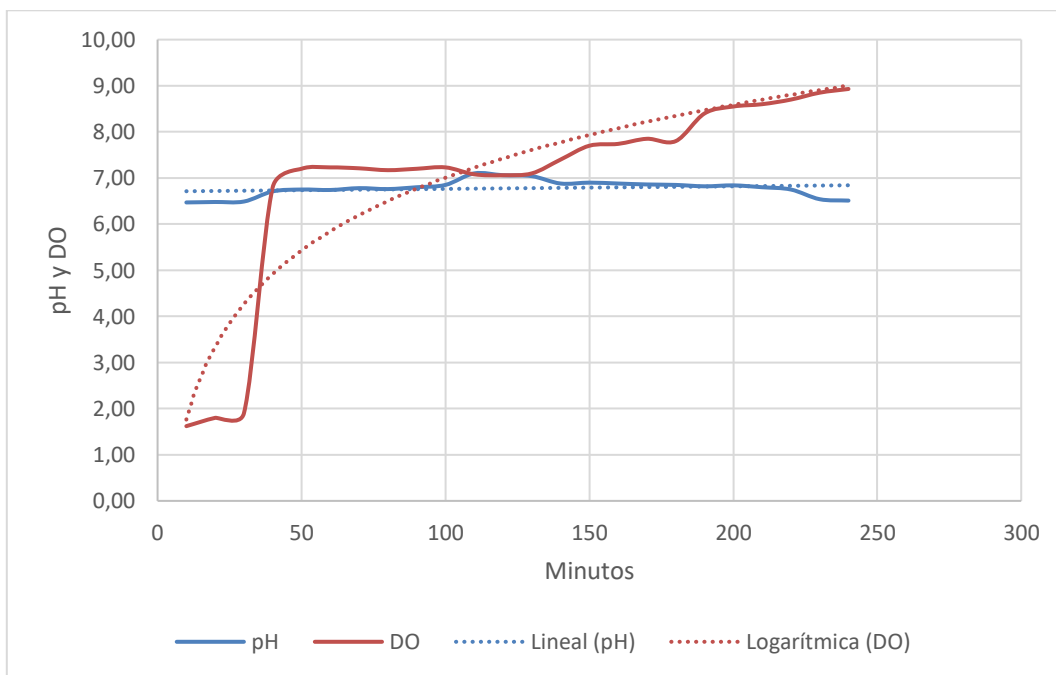


Figura 13

Reactores bajo condiciones de operación estable



a) Reactor R1 sin aireación

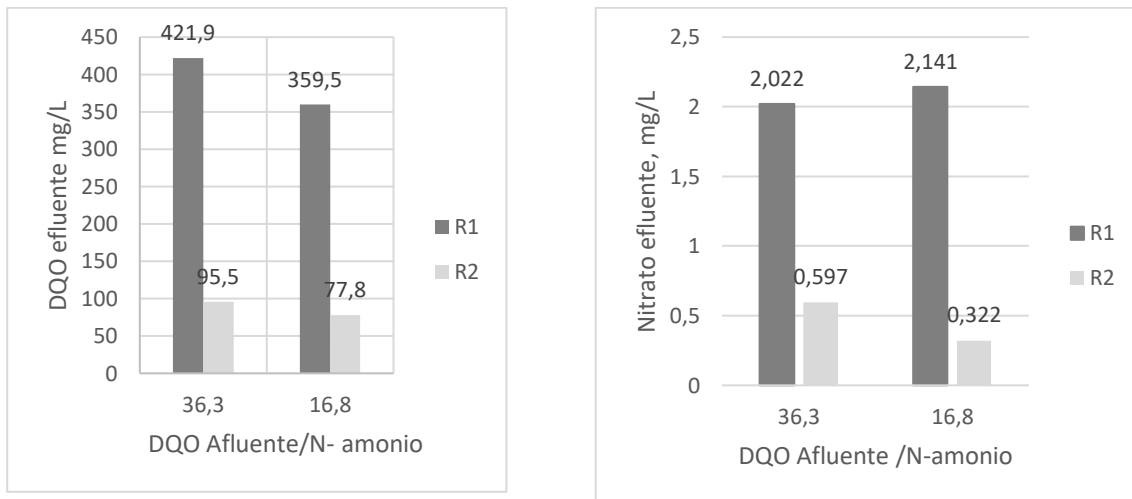


b) Reactor R2 con aireación

La relación carbono/nitrógeno del afluente según Liu (2019, p 8) incide en el desarrollo de las bacterias NOB bajo condiciones intermitentes de aireación, experiencia evidenciada cuando se alcanzó el día 80 de operación del reactor R2 (con aireación)

Figura 14

Concentraciones del efluente en los reactores R1 y R2



a) DQO del efluente

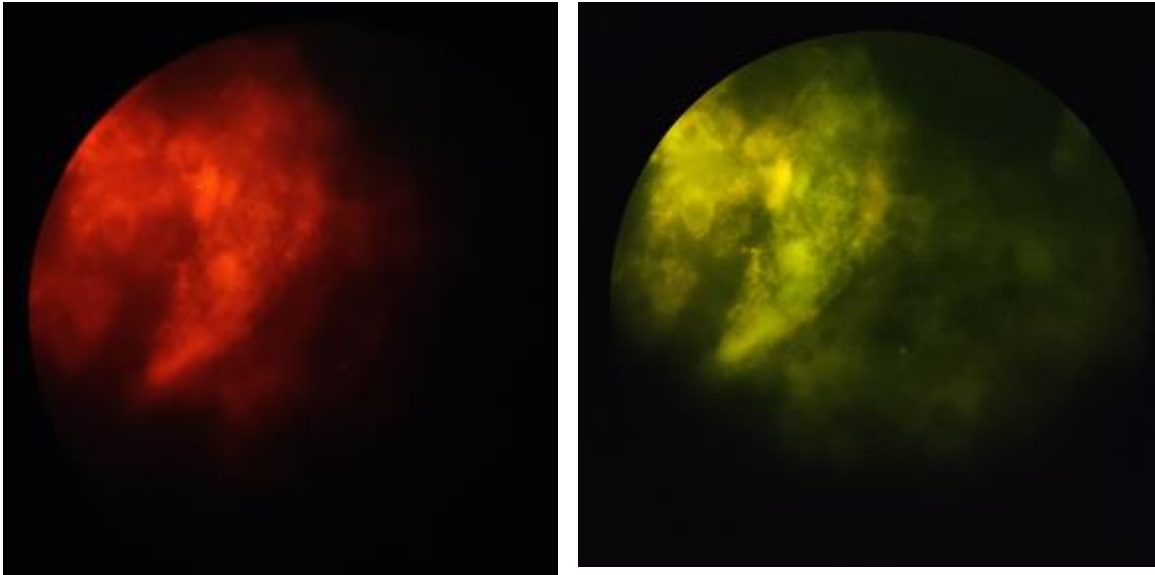
b) Nitrato del efluente

4.3. Analizar la dinámica de la población microbiana en los gránulos aerobios a partir aguas residuales de Azaya en un reactor secuencial.

A partir del sustrato cultivado en el reactor R1 luego de 60 días de retención en las condiciones sin aeración, se tomaron muestras de lodo activado del fondo e inmediatamente se preparó el portaobjeto con la muestra microbiana mediante la tecnología Nitro-VIT para observar en el microscopio Invertido Leica con el objetivo 100x, evidenciándose la inexistencia de bacterias AOB, tampoco de bacterias NOB.

Figura 15

Bacterias AOB y NOB en condiciones sin aeración y sustrato de 60 días, para el tratamiento biológico de aguas residuales. Reactor R1, aumento 100x



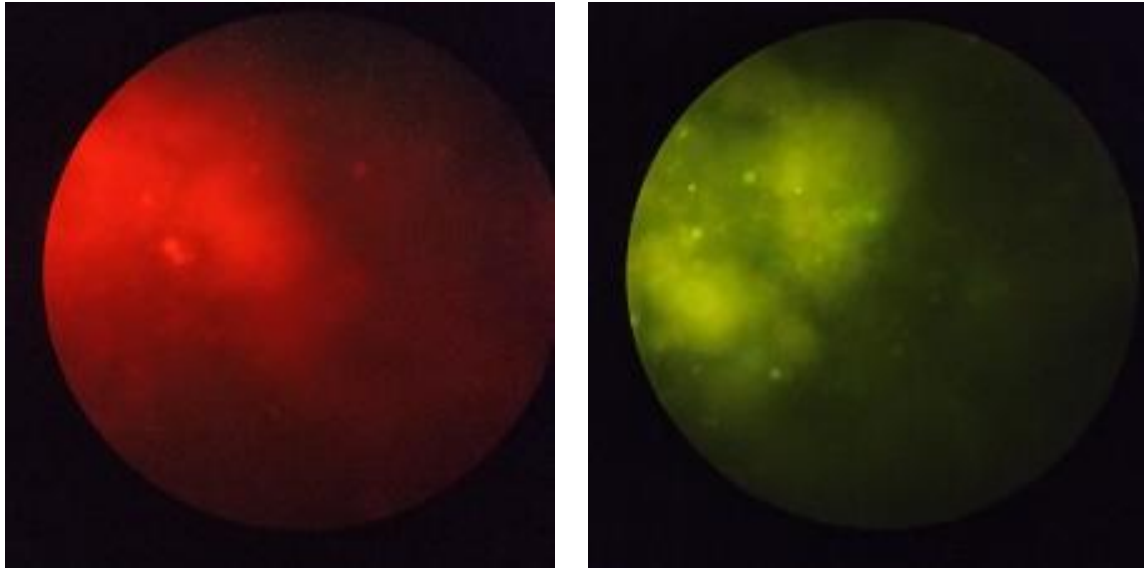
a) Sin bacterias AOB

b) Sin bacterias NOB

En el reactor R2 con aireación intermitente, alimentado con agua sintética, luego de 60 días de operación con un pH entre 6,8 y 7,3; una concentración de DO desde 2,4 a 8 mg/L, temperatura entre 20,0 a 22,5 °C en ciclos de 240 minutos se observa la disponibilidad de poblaciones microbianas nitrificantes tanto de las bacterias AOB como de las bacterias NOB. En estas condiciones de operación la formación de flóculos y biofilm es estable como la calidad del efluente es apropiada, tanto en los parámetros físicos y DQO inferior a 100 mg/L y Nitratos menor a 1 mg/L.

Figura 16

Bacterias AOB y NOB en condiciones con aeración intermitente y sustrato de 60 días, para el tratamiento biológico de aguas residuales, aumento 100x



a) Pocas bacterias AOB

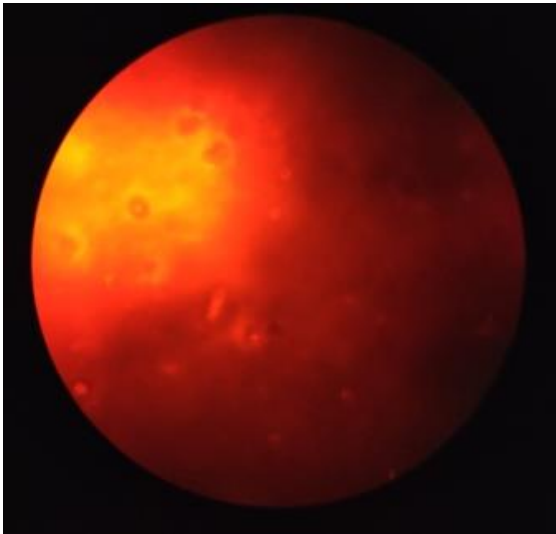
b) Algunas bacterias NOB

Pasado 80 de operación el reactor R2 alimentado agua sintética con una concentración de DQO 418 mg/L en condiciones y nitrógeno amoniacal de 29,4 mg/L en condiciones estables de operación (sin biofilm flotante) ni espuma, con un pH entre 6,8 a 7,3; una concentración de DO desde 2,4 a 8 mg/L y una temperatura entre 20 a 22,5 °C; como un efluente de apropiada calidad con una concentración del DQO inferior a 100 mg/L y nitratos con una concentración inferior a 1 mg/L.

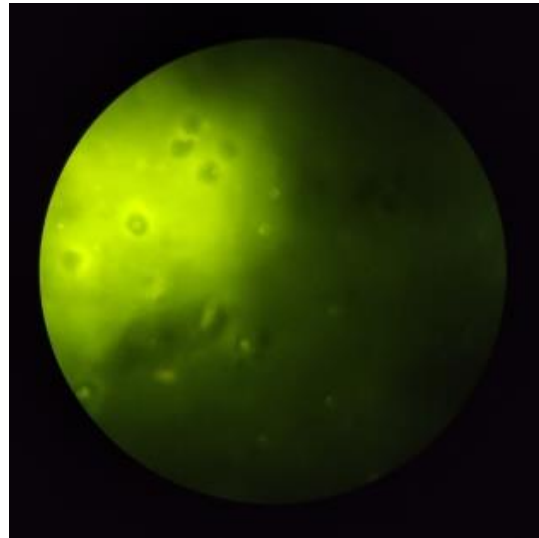
En el reactor R2 en las condiciones con aeración intermitente y acidez con un pH entre 5,4 a 6,3, concentración de DO entre 2,4 a 9,0 mg/L, temperatura entre 20 a 22,5 °C; el biofilm del sustrato flota y el sobre donante registró una concentración de nitratos superior a 100 mg/L, se observa la presencia de poblaciones microbianas nitrificantes filamentosas creando las condiciones apropiadas para la captura de nitrógeno gaseoso que genera la flotación del biofilm. Figura 17

Figura 17

Bacterias AOB y NOB en condiciones con aeración intermitente y sustrato de 80 días para el tratamiento biológico de aguas residuales, aumento 100x.



a) Muchas bacterias AOB

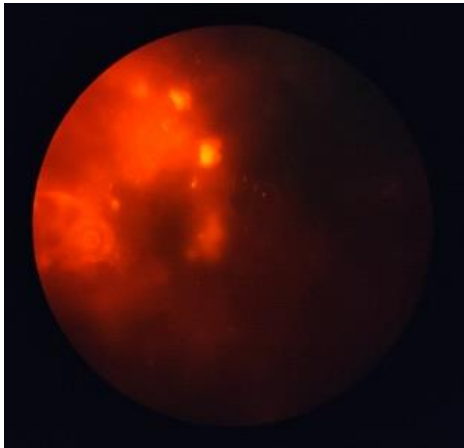


b) Muchas bacterias NOB

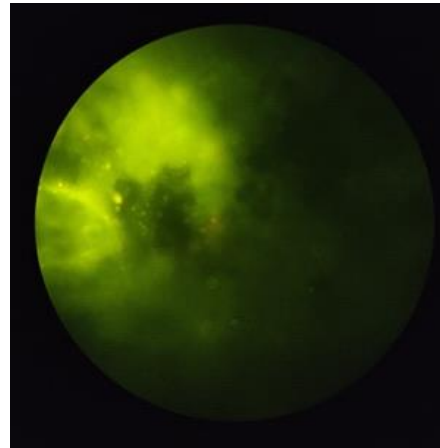
En biofilm del fondo (no flotante) la forma de las bacterias nitrificantes, tanto AOB como NOB no presentan filamentos, Figura 18.

Figura 18

Bacterias AOB y NOB presentes en el biofilm flotante con filamentos



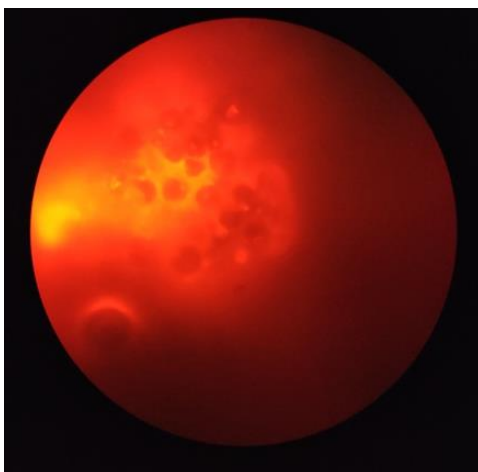
a) Formación filamentososa en las bacterias AOB



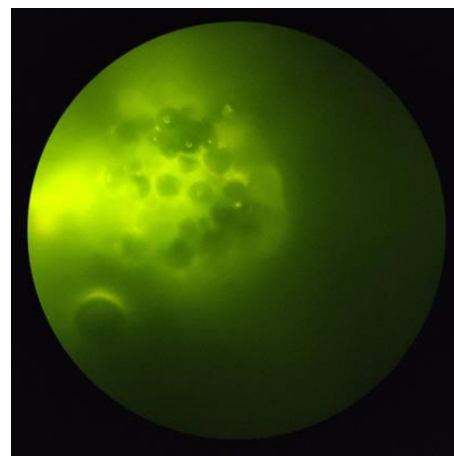
b) Formación filamentososa en las bacterias NOB

Figura 19

Bacterias AOB y NOB sin filamentos presentes en el biofilm precipitado en el fondo del reactor



a) Formación sin filamentos en las bacterias AOB

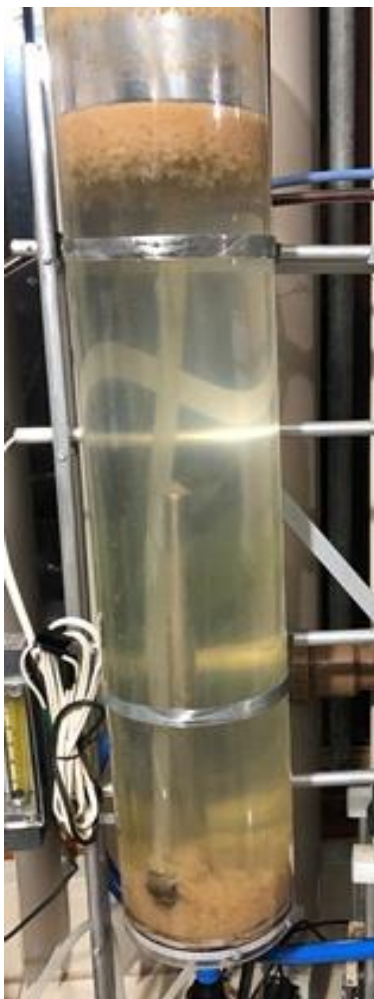


b) Formación sin filamentos en las bacterias NOB

En condiciones de acidez el reactor R2 con aireación parte del biofilm flota registrándose un pH = 5,45 al final del ciclo de sedimentación y en la etapa de aireación el sustrato alcanzó una concentración DO de 8,5 mg/L

Figura 20

Biofilm flotante en el reactor R2 bajo condiciones de acidez, pH = 5,45



CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las aguas residuales domésticas procedentes de pequeños asentamientos humanos como el sector de Azaya con una población inferior a 2000 habitantes, presentan una biodegradabilidad apropiada para el tratamiento biológico de aguas residuales mediante las bacterias nitrificantes.

La caracterización morfológica y cualitativa de las comunidades microbianas mediante la tecnología Nitrí-VIT es apropiada para la optimización de los procesos en el tratamiento biológico de aguas residuales.

Las condiciones favorables para el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas biodegradables mediante el crecimiento equilibrado de las bacterias nitrificantes AOB y NOB se logra mediante la aireación intermitente con un contenido de oxígeno disuelto entre 1,5 a 7 mg/L, mantener el pH entre 6,5 y 7,3 mediante el ajuste cíclico del tiempo de retención hidráulico

5.2. Recomendaciones

La biodegradabilidad de las aguas residuales deberá completarse con estudios sobre la incidencia de los diferentes tipos de detergentes en el fraccionamiento de DQO, específicamente con la fácil biodegradabilidad y lenta biodegradabilidad.

La optimización de los procesos biológicos de aguas residuales deberá ampliarse mediante estudios de la relación DQO/TN y dinámica microbiana de las bacterias nitrificantes con la tecnología Nitrí-VIT .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aqua-Aerobic Systems Inc. (2017). Aerobic Granular Sludge System Reduces Chemicals, Enhances Settling. *Water & Wastes Digest*, 100.

ARCA. (2018). Agencia de Regulacion y Control del AGua. Recuperado de <http://www.regulacionagua.gob.ec/objetivos/>

Arcos, Y. (2013). Microbiología de lodos activados. Recuperado de <http://www.udea.edu.co/hm>

Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (2014). *Ley Orgánica De Recursos Hídricos, Usos Y Aprovechamiento Del Agua. Registro Oficial*. Quito. <https://doi.org/SAN-2014-1178>

Bathe, S., Kreuk, M., McSwain, B., & Schwarzenbeck, N. (2005). *Aerobic Granular Sludge* (Primera). London: IWA Publishing.

Bing-Jei, N. (2013). *Formation, Characterization and Mathematical Modeling of the Aerobic Granular Sludge* (First). New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-31281-6>

CAF. (2013). *Equidad e Inclusion Social en America Latina: Acceso Universal al Agua y Saneamiento*. Caracas. Recuperado de <http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/611/aguaysaneamientoespanol.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chávez, M., Mejías, D., Masy, M., Escorihuela, A., Chacín, E., & Fernández, N. (2003). Evaluación de la biomasa en el lodo granular anaerobio en reactores por carga. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90430204>

Ecuador., A. N. de la R. del. (2010). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y*

Descentralización. Quito. Recuperado de

http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_org.pdfhttp://www.ame.gov.ec/ame/pdf/cootad_2012.pdf

Garza, Y., Mata, J., Barbosa, L., & Rodriguez, J. (2013). Aislamiento y caracterización biodegradativa de microorganismos presentes en un lodo anaerobio, p. 1.

Gilbert, E., Müller, E., Horn, H., & Lackner, S. (2012). Microbial activity of suspended biomass from a nitrification-anammox SBR in dependence of operational condition and size fraction, p. 10.

Gobierno Autonomo y Descentralizado Municipal de Ibarra. (2018). *VISION IBARRA-2030*. IBARRA. Recuperado de <https://localizingthesdgs.org/library/588/Vision-Ibarra-2030.pdf>

González, I. (2015). *GENERACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LODOS*. Universidad de Córdoba.

Haaksman, V.A, Mirghorayshi, M., Van Loosdrecht, M.C.M., Pronk, M., (2020), Impact of aerobic availability of readily biodegradable COD on morphological stability of aerobic granular sludge, *Water Research journal* 187

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116402>

INAMHI. (2013). *ANUARIO METEOROLOGICO*. Quito.

[//www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf)

Kuczynski, D. (2017). Las bacterias sean unidas: una introducción a la ecología de los ríos urbanos.

Editorial Maipue. <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/77344?page=60>

Laureni, M., Weissbrodt, D., Villez, K., Robin, O., Jonge, N., Rosenthal, A., Well, G., Lund-Nielsen, J., Morgenroth, E., Joss, A. (2019). *Biomass segregation between biofilm and flocs improves the control of nitrite-oxidizing bacteria in mainstream partial nitrification and anammox process*

Liu, W., Liu, Ch., Zhang, Sh., Gu, P., Shen, Ch., Wang, W., Peng, Y. (2019). Initial nitrite concentration promote nitrite-oxidizing bacteria activity recovery from transient anoxia: Experimental and modeling investigations

Menéndez Gutiérrez, C. y Pérez Olmo, J. M. (2007). *Procesos para el tratamiento biológico de agua residuales*. Editorial Félix Varela.

<https://elibro.net/es/ereader/utnorte/152077?page=27>

Menéndez Gutiérrez, C. y Pérez Olmo, J. M. (2007). *Procesos para el tratamiento biológico aguas residuales*. Editorial Félix Varela. <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/152077?page=105>

Mexicanas, N. O. (2003). *NOM-004-SEMARNAT-2002*. México D.F.

legismex.mty.itsem.mx/normas/ecol/semarnat004.pdf

Moeller, G., & Tomasini, A. (2010). *Microbiología de lodos activados*. Jiutepec.

Nopens, I., Capalozza, C., Vanrollenghem, P. (2001). *Satbility Analysis of Synthetic Municipal Wastewater*. Universiteit Gent

Osorio Robles, F. (2012). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes: aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*. Ediciones Díaz de Santos. <https://elibro.net/es/ereader/utnorPasztorte/62518?page=26>

Pasztor, I., Thury, P., Pulai, J. (2009). Chemical oxygen demand fractions of municipal wastewater for modeling of wastewater treatment, University of Pannomia. Veszprem, Hungary

Pozo, V. (2012). Estudio de factibilidad de dos sitios potenciales para la instalación de la planta de tratamiento biológico de aguas residuales en el estadio de la Universidad Técnica del Norte, cantón Ibarra provincia Imbabura

Robles Martínez, Á. Seco Torrecillas, A. y Robles Martínez, Á. (2018). Tratamientos biológicos de aguas residuales (3a. ed.). Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.

<https://elibro.net/es/ereader/utnorte/57448?page=10>

Salas Trujillo, R. A. (2010). Estudio de los procesos de nitrificación y desnitrificación en reactores secuenciales para la remoción de nitrógeno total en un residual sintético. D - Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. CUJAE.

<https://elibro.net/es/ereader/utnorte/85840?page=88>

SENPLADES. (2017). *Plan nacional de desarrollo 2017-2021*. Quito.

Shuai, L., Jialin, L., Shenhua, Y., Qiong, Z., Xiyao, L., Lilian, Z., Yongzhen, P. (2021) Rapid achieving partial nitrification in domestic wastewater: Controlling aeration time to selectively enrich ammonium oxidizing bacteria (AOB) after simultaneously eliminating AOB and nitrite oxidizing bacteria (NOB)

Szabó, E., Liébana, R., Hermansson, M., Modin, O., Persson, F., & Wilén, B.-M. (2017).

Comparison of the bacterial community composition in granular and the suspended phase of sequencing batch reactor. *AMB Press*, 12. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0471-5>

Szilveszter, S. (2014), *Introducción al tratamiento biológico de aguas residuales* [Diapositiva Power

Point] Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales

Tay, J.-H., Tay, S., Yu, L., Yeow, S. K., & Ivanov, V. (2006). *Biogranulation Technologies for Wastewater Treatment* (First). Oxford: Elsevier.

Tsuneda, S., Ejiri, Y., Ogiwara, M., Nagano, T., & Hirata, A. (2005). *Characteristics and Applicability of Nitrifying Granules Produced in an Aerobic Upflow Fluidized Bed Reactor*.

Vermicon (s/f) Nitri-VIT® *Manual*. Alemania

Yamberla, R. (2018). *Informe de gestión de la Subsecretaría de la Demarcación Hidrográfica de Mira – Secretaría del Agua*. Ibarra.

<https://aplicaciones.senagua.gob.ec/reslotaip2018/rendicioncuentas/f3/DH>

MIRA/f3/Informe_de_gestion_dh_mira.pdf

ANEXOS

Anexo 1 *Análisis de los parámetros orgánicos de las aguas residuales en la planta de tratamiento biológico en el sector de Azaya*

Muestra	Afluente			Efluente
	DQO _{Total} [mg/L]	DBO _{último} [mg/L]	DQO _{Floc + filt} [mg/L]	DQO _{efluente} [mg/L]
1	735,6	441,4	338,4	271,1
2	694,0	416,4	289,2	262,0
3	894,0	518,5	424,2	324,9
4	662,0	397,2	297,4	249,2
5	752,0	436,2	339,0	278,9
6	836,0	484,9	428,9	313,1
7	793,0	459,9	356,8	302,9
8	692,0	415,2	312,1	268,3
9	694,0	416,4	289,4	264,0
10	752,0	436,2	339,2	279,0
11	775,6	449,8	370,2	285,5
12	735,4	441,2	334,6	279,9
13	680,0	408,0	305,7	263,7
14	740,2	444,1	332,7	285,2
15	695,2	417,1	312,6	267,9
16	896,0	515,4	428,8	325,6
17	748,6	449,2	368,6	270,4
18	698,4	419,0	314,1	268,7
19	782,4	453,8	375,2	285,6
20	752,6	436,5	339,4	280,1
21	694,2	416,5	289,6	264,2
22	890,0	516,8	427,8	325,7
23	735,2	441,1	334,2	271,6
24	798,6	463,2	380,4	290,5
25	660,0	396,0	296,5	253,4
26	740,6	444,4	332,5	285,1
27	893,1	517,5	427,8	326,2
28	742,2	445,3	333,6	287,1
29	780,5	452,7	374,8	284,8
30	694,1	416,5	289,5	262,1
31	780,1	452,5	374,8	284,9
32	885,6	510,6	426,8	324,2
33	720,8	432,5	359,6	260,4

Anexo 2

Reporte fotográfico



Fotografía 1 Prueba de estanqueidad de los reactores con agua limpia



Fotografía 2 Primer día de operación de los reactores con agua sintética



Fotografía 3 Reactor R1 sin aeración en el día 60



Fotografía 4 Reactor R2 con aeración en el día 60



Fotografía 5 Colocación muestra diluida en alcohol absoluto relación 1:1 en el portaobjeto Nitri-VIT



Fotografía 6 Secado del portaobjeto Nitri-VIT en posición horizontal durante 15 a 30 minutos a 46°C



Fotografía 7 Colocación de la solución C1 en el tanque, 25 gotas dispersas



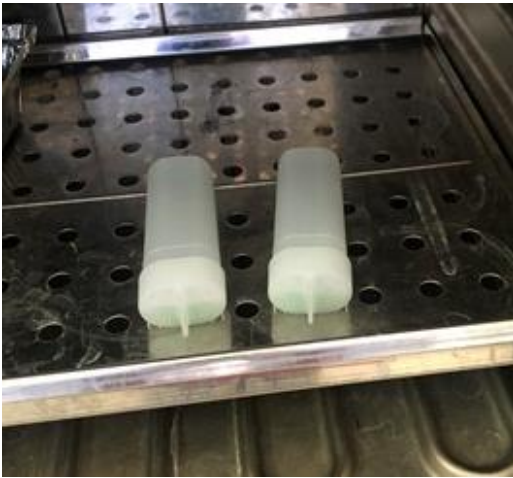
Fotografía 8 Aplicación de 1 gota de control Nitri-VIT “+”



Fotografía 9 Aplicación de 1 gota de control Nitri-VIT



Fotografía 10 Aplicación de 1 gota de control Nitri-VIT “-“



Fotografía 11 Fijación del objeto durante 90 minutos a 46°C



Fotografía 12 Secado del portaobjeto a 46°C durante 20 minutos



Fotografía 13 Portaobjeto listo para la observación en el microscopio de fluorescencia



Fotografía 14 Microscopio invertido de fluorescencia, objetivo 100x y condensador 40



Fotografía 15 Objetivo 100x y condensador 40 para la microscopia con fluorescencia