



**Universidad
Católica
de Manizales**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL
SISTEMA MICRO ALGA-BACTERIA PARA LA
REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA,
NUTRIENTES EN DIFERENTES
FOTOPERIODOS LUZ: OSCURIDAD**

DANIEL MAURICIO RICO BARRETO

**Universidad Católica de Manizales
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Ingeniería Ambiental
Manizales, Colombia**

2021

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA MICRO ALGA-BACTERIA PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, NUTRIENTES EN DIFERENTES FOTOPERIODOS DE LUZ: OSCURIDAD

DANIEL MAURICIO RICO BARRETO

Trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniera Ambiental

Directora:

MARIA FERNANDA ORTIZ REVELO

Ingeniera Química
Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental
Directora del Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Católica de Manizales

Tutor:

JUAN SEBASTIAN ARCILA HENAO

Ingeniero Químico, PhD Ingeniería Ambiental
Docente-Investigador Universidad Católica de Manizales

Línea de Investigación:

Asistencia de Investigación

Grupo de Investigación:

TECNOLOGÍAS AVANZADAS EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

**Universidad Católica de Manizales
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Ingeniería Ambiental
Manizales, Colombia
2021**

Agradecimientos

Terminando una fase de estudio más y en vista de un pregrado, es bastante lo que se agradece tanto a las directivas como al personal docente en este semestre y al restante por educar en materias básicas y desarrollo personal y profesional. También en el desarrollo del proyecto de investigación a la compañera Laura Victoria, y Sebastián Arcila por el conocimiento e instrucciones en el desarrollo de tecnologías avanzadas en el medio ambiente.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	10
1. INTRODUCCIÓN	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3. OBJETIVOS.....	14
3.1. OBJETIVO GENERAL	14
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. MARCO TEÓRICO	16
6. METODOLOGÍA.....	29
6.1. ETAPA I: Acondicionamiento en factores ambientales y nutrientes de Micro algas Bacteria para el inoculo de bio reactores	29
6.2 ETAPA II: Diseño experimental	31
6.3. ETAPA III: Caracterización Físico Química.....	32
6.4. ETAPA IV: Identificación Micro biológico.....	33
6.5. ETAPA V: Análisis estadístico método T Student	33
7. RESULTADOS	34
7.1. Resultados diarios y discusión en crecimiento micro algas.....	34
7.1.1. Condiciones muestreo experimental	34
7.1.1.1. p H (Potencial de Hidrogeno).....	34
7.1.1.2 SSV (Solidos Suspendidos Volátiles)	35
7.1.1.3. OD (Oxígeno Disuelto)	36
7.1.2. Condiciones de muestreo control en reactores con aireación.	37
7.1.2.1. p H (Potencial de Hidrogeno).....	37
7.1.2.2 SSV (Solidos Suspendidos Volátiles)	37
7.1.2.3. OD (Oxígeno Disuelto)	38
7.2. Resultados y discusión de remociones nutrientes y materia orgánica	39
7.2.1 Condiciones muestreo experimental	39
7.2.2. Condiciones de muestreo control en reactores con aireación.....	41
7.2.2 T Student muestras relacionadas	42
7.2.3 T Student variables relacionadas.....	43
7.2.4 T Student variables independientes	43

7.3 Identificación Micro biológica	44
8. CONCLUSIONES	45
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	47

TABLA DE FIGURAS

Ilustración 1. Tratamiento Aguas Residuales en ALC	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 2. Cultivo micro algas	30
Ilustración 3. Arranque inoculación reactores	32
Ilustración 4. P H bio reactores experimentales	34
Ilustración 5. SSV bio reactores experimentales.....	35
Ilustración 6. OD bio reactores experimentales.....	36
Ilustración 7. P H en reactores de control	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 8. SSV en reactores de control	¡Error! Marcador no definido.8
Ilustración 9. OD en reactores de control	¡Error! Marcador no definido.8
Ilustración 10. Porcentaje remoción en bio reactores experimentales ..	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 11. Porcentaje remoción reactores de control	¡Error! Marcador no definido.1
Ilustración 12. Micro alga Chlorella Sp.....	44

TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Calidad aguas de riego	18
Tabla 2. Resolución 0631	19
Tabla 3. Resolución 0631, DBO5 > 625kg/día	20
Tabla 4. Macro y micronutrientes sintéticos >90% Agua residual doméstica	30
Tabla 5. Diseño experimental 2k.	¡Error! Marcador no definido.1
Tabla 6. T student muestras control.	42
Tabla 7. T student experimentales	43
Tabla 8. T student experimentales y control	44
Tabla 9. T student variables independientes	44

RESUMEN

En desarrollo de la investigación con tratamientos secundarios biológicos, mediante un diseño experimental 2k acerca de la reducción de nutrientes o materia orgánica, que llega a tener el agua residual por tratamiento de aglomerados micro alga bacteria, se inocularon metódicamente según los SSV, lagunas de poca profundidad con distintas concentraciones y fotoperiodos de luz. Luego se determinaron los porcentajes de remoción una vez registrado diariamente en los tiempos de retención hidráulica (5 días) parámetros como p H, SSV, y OD, comparando en porcentajes de reducción de nutrientes (Nitrógeno Amoniacal, y Fosfatos) ante muestras de control en las que no hubo inoculación y si se proporcionó aireación, obviando los altos valores que este último llega a tener en DQO. Concluyendo que los valores altos en p H, que llegan a tener las algas en esta operación unitaria, precipita nutrientes ayudando a una remoción en el agua a tratar, y que el efecto de llevar un inóculo de menor concentración puede ser incidido a mejores porcentajes de reducción de nutrientes según la distribución lumínica en los fotoperiodos.

ABSTRACT

In development of the research with biological secondary treatments, through an experimental design 2k about the reduction of nutrients or organic matter, which the wastewater reaches by treating micro algae bacteria agglomerates, these were methodically inoculated according to the SSV, lagoons of little depth with different concentrations and photoperiods of light. Then the removal percentages were determined once recorded daily in the hydraulic retention times (5 days) parameters such as p H, SSV, and DO, comparing in percentages of reduction of nutrients (Ammoniacal Nitrogen, and Phosphates) in relation with control samples in which there was aeration provided and not inoculation, ignoring the high values gotten in COD. Concluding that the high values in p H, which the algae have in this unit operation, precipitate nutrients helping to remove them in the water to be treated, and that the effect of carrying an inoculum of lower concentration can be influenced by better percentages of reduction of nutrients according to the light distribution in the photoperiods.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del contexto de cambio climático, se generan temporadas de altas precipitaciones así como de sequía, haciendo vulnerables los recursos naturales (atmosféricos, hídricos, y suelo), que escasean por la calidad presentada y requieren, para cumplir con ellos en sus aplicaciones futuras de manera óptima, tratamientos que incidan desde el uso de energía como de insumos materiales, además del planteamiento ingenieril para operar según los factores ambientales y económicos.

En la producción y uso de recursos de forma indiscriminada, sin la utilización o aprovechamiento de residuos, está el enfoque y esfuerzo de sistemas ingenieriles ambientales, cuales plantean alternativas viables de manera económica como de sanidad, y cumpliendo requisitos sociales. Estos últimos hacen necesario mejoras con tratamientos innovadores para cumplir con rangos permisibles parámetros que en el recurso hídrico, como del suelo, primordialmente se ha de cumplir, trayendo consigo retribuciones o excepciones económicas favorables, al fomentar un desarrollo sustentable.

Es así como en el agua dulce, y en la plataforma continental, antes de captar agua de pozos y de redirigir las fuentes fluviales de bajo caudal, se pretende reutilizar el agua utilizada o residual, que luego de tratamientos y operaciones unitarias específicos, aplicarían a otros entornos de sectores económicos y sociales que necesitan este recurso como insumo y prospera producción.

El presente proyecto afronta y propone ante dichas circunstancias, mejoras en la calidad del recurso hídrico (con tratamientos secundarios) para su re utilización, por remociones en materia orgánica (DQO), nitrógeno amoniacal (NH_3^+), y fosfatos (PO_4^{-3}), suplidas tanto por variaciones en fotoperiodos, como de concentraciones de MABAS (Aglomerados de Micro algas y Bacterias), mitigando el avance del calentamiento global y postulando así una alternativa de tratamiento con mecanismos y operaciones biológicas que reducirían costos y amplían posible operaciones energéticas por biogás procedentes de su biomasa o como fertilizante en cultivos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Puesto que el uso de fuentes hídricas es reducido una vez que no se aprovecha o trata en cantidad las aguas salinas, el agua dulce es una mínima fracción de la anterior que disminuye en su disponibilidad dado que la población como el desarrollo comercial aumenta alterando su calidad, y al contrario generan de estas, aguas residuales cuales en su mayoría diluyen las aguas lluvias, de cuales se desconocen las concentraciones en parámetros tanto físico químicos, como microbiológicos, o de materia orgánica.

Los últimos parámetros mencionados llegan a condicionar este mismo recurso, a reutilización, como el de suelos para cultivos de no consumo, consumo y procesamiento comercial, o consumo directo, por lo que se llega a alterar o afectar sus componentes que incluso al verse mejoras en usos productivos, llegarían a presentar problemáticas posteriores al haber incidido en el recurso con cantidades y concentraciones tanto orgánicas, como inorgánicas, produciendo después una desertificación tras la inestabilidad promovida por cantidades iónicas, (Silva, Torres & Madera, 2008) .

Consecuentemente la FAO, según Silva et al. (2008) plantea una restricción en el reusó de agua para afluentes de cultivos según valores medibles de estos en conductividad eléctrica, Solidos Suspendidos Totales, o RAS (Relación de adsorción de Sodio); Además, en cultivos sensibles tras la potencial toxicidad en concentraciones de otros iones (Cl, o B), o nítricos, y carbónicos que incidan en valores ácidos o alcalinos de pH. También la proliferación no controlada de micro organismos ajenos a la producción, llegarían a provocar otros nutrientes que no son necesarios en la producción disminuyendo el óptimo uso del recurso tanto hídrico como del suelo.

De dichas circunstancias una vez desarrollado con operaciones unitarias de aglomerados Micro alga bacterias, se puede compensar y reducir las afectaciones o toxicidad del recurso al verse nutrientes o elementos precipitados anteriormente por el p H, o alojados por sustancias extra poliméricas de los organismos, dejando el recurso además con valores mayores de oxígeno disuelto y p H levemente alcalino o neutro.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de los fotoperiodos de luz y oscuridad sobre la remoción de materia orgánica, y nutrientes.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el crecimiento microalgal bajo diferentes concentraciones iniciales de inóculo.
- Analizar las remociones de DQO, nitrógeno, fósforo bajo diferentes condiciones de fotoperiodos.

4. JUSTIFICACIÓN

En regiones del país estas MABAS (Micro Algae Bacteria Agglomerates), son significativamente beneficiosas como proceso natural o de bioremediación, por lo que su ubicación geográfica (y aunque se presenten inversiones térmicas), las elevadas radiaciones solares y temperatura durante el año, permiten desarrollar mejor sus estructuras y transferencia de energía, con lo que utilizarían más nutrientes y materia orgánica en su composición al adsorber o absorber material, y que terminarían removiéndolo del afluente hídrico a tratar (Su, Mennerich & Urban, 2014).

Permitiendo con esto proporcionar y propiciar una alternativa más viable a la de aireación mecánica (de mejoras en DQO y OD) que en los cursos del agua con caída libre se da, o por choque con sólidos según sea su caudal, pero que por estos mismos puede aumentar su turbidez según sea la superficie de contacto en la que transcurra. También buscando una asertividad económica al momento de remover estos aglomerados junto a nutrientes y materia orgánica pudiendo utilizar bacterias para una bio sedimentación en las que por sustancias extra poliméricas de los micro organismos se lleguen a flocular estos mismos, (Arcila & Buitron, 2016). Siendo una alternativa a compuestos químicos (Catiónicos) en los que se llega a la floculación procedente de una coagulación por cationes y dejando residuos iónicos intermedios en los efluentes; También evitando otros gastos en material físico al final al dejar pasar por gravedad o sedimentación el efluente y sin hacer operar debidamente filtraciones o centrifugaciones .

Lo anterior en busca de preservar el recurso hídrico, y componentes bióticos, fomentando posibles mediaciones con el agro y la industria al evaluar mejoras en su producción tras las transformaciones de nitrogenados y fosfatados con diversidad de micro organismos, potenciando biomasa, a favor de cultivos o procesos a los que se llegue a utilizar afluentes hídricos o reutilizar el recurso, puesto que una vez dada su intervención en medio hídrico también serviría de insumo al momento de utilizar sus componentes lipídicos u otros componentes en su biomasa, para aplicación en producción de metano (energías alternativas), o fertilizante de suelos (Cuervo & Díaz, 2019) (Yong, Chew, Khoo, Show & Chang, 2020).

5. MARCO TEÓRICO

1. Agua

Elemento inorgánico de la esfera terrestre en el que se compone e interactúa de partes físico químicas y biológicas, con las que en su ciclo hidrológico cumple con la actividad y desarrollo tanto del territorio como de las funciones humanas, lo que lo caracteriza como compuesto insustituible para la sociedad y la vida. En la que se presenta en los 3 estados de la materia hasta el momento aprovechable en las capas superiores de la tierra, atmosfera, litosfera, y biosfera (SIAC, 2021).

Dicho compuesto circula continentalmente en escorrentía (Regida por las cuencas o áreas hidrográficas, sus laderas, depresiones, y drenajes), a donde se llega inicialmente tras radiación y gravedad; además de diferenciales de altura, presión, y temperatura, en forma de sublimación, y precipitación con lo que luego se puede captar para el territorio en forma superficial, sub superficial, y subterránea. Así, mostrando en las anteriores unidades hidrográficas alteraciones en el régimen, calidad, distribución, y cantidad del agua (SIAC, 2021).

1.1 Área hidrográfica Magdalena-Cauca

Área de mayor concentración de población y sectores económicos, es también cual usa la cantidad volumétrica más alta en el país con 20 247 millones m³, mostrando los valores más altos y críticos de presión sobre el recurso hídrico, dada la alta demanda y baja oferta de este, pues se presentan valores de calidad del agua con el que no se aplica a uso o re uso en otros sectores productivos. En esta, la sub zona hidrográfica Chinchina se establece entre las más presionadas con DQO de 22 121 toneladas/año, y 1 524 t NT/año y 441 t PT/año. En la corriente Chinchina del municipio de Palestina sobresale con categoría de “malo”, en las que además de evaluar el nitrógeno amoniacal, en relación nitrógeno fosforo a favor de la biota, se le estableció sobre este último un nivel anómalo o de alarma en 1,91 (mg), para el municipio de Villa María en la corriente de la quebrada San Antonio esta en 5, y los municipios de Neira, Aguadas y Marmato en las corrientes Cauca, Arma, y Marmato respectivamente en 36,56, 2,99, y 0,99 (mg) (ENA, 2014).

1.2 ICA (Índice de Calidad del Agua)

Según el ENA (2014), En aguas superficiales se evalúan principalmente 6 parámetros físico químicos en el ICA tales como p H, Conductividad Eléctrica (uS/cm), Oxígeno Disuelto (Saturación,%) , y en mg/L SST (SSED, SSD), nitrógeno (NT), fosforo (PT) y últimamente la relación de estos dos últimos, con de 0,17 a excepción del p H con 0,15. Además de metales pesados, elementos, y compuestos químicos que se puedan llegar a necesitar de su análisis y reporte para el uso del recurso hídrico en otros sectores, mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA).

El nitrógeno amoniacal tras vertidos recientes provoca un consumo alto de oxígeno disuelto, indicando en el agua sin tratar la degradación parcial de materia orgánica y aumento de la DQO. También en la relación de N/P se desfavorece los organismos vivos en rangos menores de 7 y mayores a 20, con lo que el ideal de esta relación esta entre 14 y 20/1, para favorecer las prácticas agrícolas (ENA, 2014).

Según la FAO, en Silva et al. (2008), para aguas tratadas en el reúso agrícola además de necesitar un p H entre 6,5 y 8,4, y una desinfección, depende de la categoría de los cultivos; Los que no se procesan comercialmente o no se consumen deberían tener SS, y DBO menores a 30mg/L. Mientras en los que se consumen y no se procesan comercialmente serian máximo de 9mg/L en DBO, y 1 UNT.

Dadas las características fisicoquímicas del agua para riego, según la FAO se tienen las siguientes restricciones para afrontar los problemas potenciales, se basan en además de incluir el NH_4^+ , y N orgánico, al NO_3^- (nitrógeno elemental), la conductividad y el RAS

(Relación adsorción de sodio), (Silva et al., 2008) :

TABLA 4. Directrices para interpretar la calidad de las aguas de riego.

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

Fuente: Ayers y Wescot, 1987

*NO₃-N es el nitrógeno en forma de nitrato, expresado en términos de nitrógeno elemental (en el caso de aguas residuales, incluir el N-NH₄ y el N orgánico)

Tabla 1. Calidad aguas de riego
Nota. Según problema potencial y restricción de uso

2. Normativa Agua Residual

Por vertimiento contaminados dadas las actividades productivas, de los distintos sectores económicos del país, se permite el control de sustancias contaminantes, se hace de obligatorio cumplimiento a la nueva realidad urbana, industrial, y ambiental del país, los conteos de parámetros fijos según la actividad productiva, midiendo las concentraciones de sustancias descargadas al cuerpo de agua en mg/L. En lo que las autoridades ambientales son responsables del seguimiento y control, sobre las aguas superficiales o alcantarillado público (MADS., 2015).

2.1 Normativa Agua Residual Domestica

Resolución 0631:

Permite el control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua por vertimientos, en los que el agua residual doméstica es referente a descargas en el alcantarillado de sistemas de aseo personal, áreas de cocina y cocineta, pocetas de lavado no industrial de elementos de aseo, paredes, pisos y ropa, además de las descargas de retretes y servicios sanitarios, de las que no aplica a vertimientos puntuales en aguas marinas o suelo (MADS., 2015).

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD - ARnD) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 Kg/día DBO ₅
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO) ⁵	mg/L O ₂	200,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DB ₅) ⁶	mg/L O ₂		90,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	90,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	20,00
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L		Análisis y Reporte
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L		Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L		Análisis y Reporte

Tabla 2. Resolución 0631

Nota. Fosforo y Nitrogeno Total a análisis y reporte, categorías según carga DBO5

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – ARD,	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – ARD,
		Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARnD DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 625,00 Kg/día Y MENOR O IGUAL A 3.000,00 Kg/día DBO ₅	Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARnD DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 3.000,00 Kg/día DBO ₅
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	180,00	150,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	90,00	70,00
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	90,00	70,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	10,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L		Análisis y Reporte
Fenoles Totales	mg/L		Análisis y Reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L		Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Iones			

Tabla 3. Resolución 0631, DBO₅ > 625Kg/día.

Nota. Se analiza y reporta, iones, metales y metaloides, y otros (Acidez y alcalinidad Total, dureza cálcica y total, y color real)

2.2 Norma de reúso

Con análisis técnico, socio económico, y de normas de calidad del agua, se estableció el reúso obligatorio por cumplimiento a la Ley 373 de 1997, en aguas de origen superficial, subterráneo o lluvias. La cual tras el decreto 1076 de 2015 y 3930 de 2010, se promueve el Reuso de aguas residuales mediante planes de conversión a tecnologías limpias en gestión de vertimiento (PCTLGV), incluido en gradualidad por normas de vertimiento por el ministerio de desarrollo y ambiente sostenible (MADS., 2015).

3. Agua Residual Domestica

De acuerdo al ENA (2014) el sector doméstico a nivel nacional (año 2012) representa el 16,1% en huella hídrica (uso del agua de la población y que no retorna a la fuente hídrica) de la demanda en el sector dicho, siendo al mismo tiempo el cuarto mayor sector demandante con 2 963 millones de m³. Esta categoría remueve mediante sistemas o plantas de tratamiento (según el IDEAM) contaminantes como DQO, DBO5, SST, NT, y PT con porcentajes del 15, 14, 21, 2, y 2 % . Aportando igualmente al recurso hídrico del país, luego de tratamientos en el recurso hídrico, el 69% carga orgánica biodegradable (DBO5), 61% en DQO, y 91% Solidos Suspendidos Totales.

Este sector presentó (año 2012) cargas netas (vertidos tratados) contaminantes del área hidrográfica Magdalena-Cauca en toneladas/año de 445 785 (DBO5), 869 426 (DQO), 871 767(SST), 91 822(NT), y 25 666 (PT). Donde la ciudad de Manizales aporta 12 178 toneladas al año de DQO del presente sector y 6 595 en DBO5, también 14 041 t/año en SST, 1 180 t NT/año, y 329 t PT/año luego de tratamientos (ENA., 2014).

3.1 Tecnologías tratamiento de aguas residuales domesticas

Estas son utilizadas para obtener rangos permisibles a reuso de aguas en otros sectores que demandan el recurso para su desarrollo, obteniendo remociones distintas según la tecnología o tratamiento de las aguas, disminuyendo concentraciones en N, P, SS, DBO, Y Coli formes. Los tratamiento suelen ser de manera secuencial y por niveles; pre eliminar, primario, secundario, o terciario. Donde los mecanismos hasta el primario son físicos reduciendo principalmente sólidos, y DBO o DQO, sin cumplir aun con la calidad del recurso para verter o reutilizar, a diferencia de los secundarios o terciarios en cuales amplían las tecnologías y operan biológica o químicamente para cumplir con remociones, disminuyendo mayoritariamente materia orgánica, solidos suspendidos, además de nutrientes y coli formes; mejorando la calidad en el recurso y haciéndola apta para re utilizar en otros sectores productivos (Silva, et al., 2008).

3.2 Tratamientos secundarios aguas residuales

En aguas residuales además de las de métodos avanzados, físico o electroquímicos (ultrafiltración (membranas), o electro oxidación), están las de operación biológica puedan

ser aerobias o anaerobias. Según Noyola (2015), el porcentaje (%) de tratamientos aplicados en aguas residuales en Brazil, Chile, Colombia, Guatemala, R. Dominicana, y México (países de ALC) fueron:

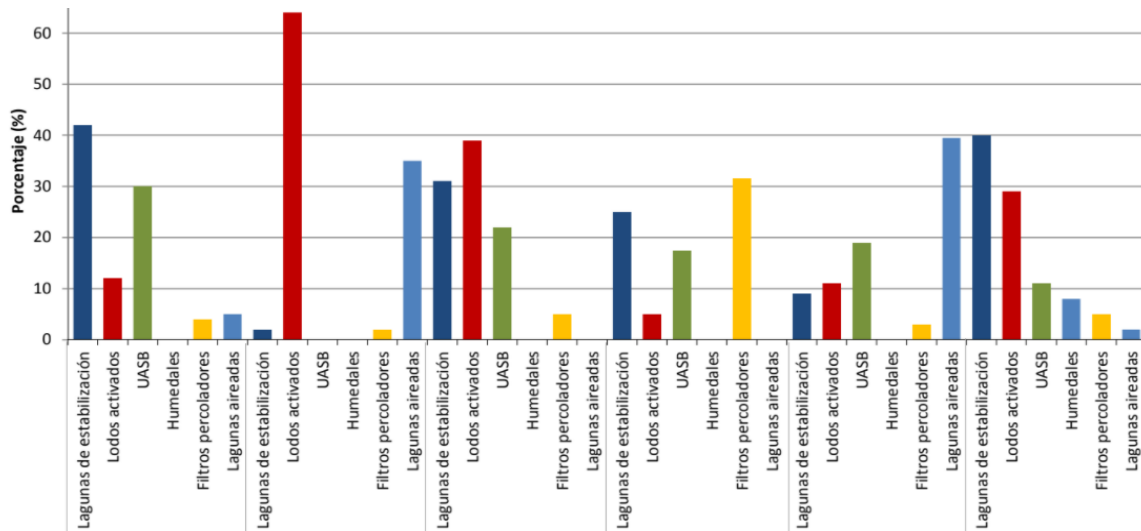


Ilustración 1. Tratamientos AR aplicados en ALC

3.3 Tratamientos Biológicos

Es donde se condicionan las unidades operativas acorde a organismos vivos y sus requerimientos tanto ambientales, de medio de cultivo o nutricionales. Las categorías más trabajadas son según el Oxígeno Disuelto (aeróbicos, anaeróbicos, y facultativos) donde dichos organismos crecerían posiblemente en suspensión, medio adherido, combinado, o en lagunas, entre los más aplicados están los anaerobios (UASB, lagunas anaerobias, entre otros) y aerobios (Lodos activados, lagunas aireadas, y demás similares), ambos con pretratamiento o sedimentación primaria (Arcila, 2020). Comparando a grandes rasgos los anaerobios se trabaja a mayor carga orgánica (20-35 kg DQO/m³ d), produciendo más Sólidos Suspendidos Volátiles y con estos biogás, gran remoción de DQO, y menor Tiempo de Retención de Sólidos (con recirculación, y estabilización o purga de lodos); con menores costos en espacio de instalación, dilución, aireación y remoción de nutrientes, que los aerobios. Las MABAS (Micro Alga Bacteria Aglomerados) se establecen en un punto intermedio de estas amplias categorías con características facultativas en cuanto a nutrientes y OD, al trabajar con dos organismos vivos principales, donde las algas le facilitan mejor Oxígeno, pH, y carga orgánica o de nutrientes para la operación de las bacterias, y posterior sedimentación (Arcila, 2020).

3.3.1 Sistemas Microalga-bacteria.

Afirma Arcila & Buitrón (2017) que los cultivos de algas y bacterias son sistemas ingenieriles en el que se ve beneficiados las regiones con elevadas radiaciones solares y temperatura durante el año. La presencia de ambos microorganismos en el tratamiento de aguas residuales genera una disminución en costos de aireación de hasta un 60% respecto a los procesos convencionales como los lodos activados, por flujos mayores de oxígeno por foto autótrofos que los de CO₂ por heterótrofos (Su et al., 2011).

Los sistemas microalga-bacteria son aglomerados de organismos foto autótrofos y heterótrofos donde se circula desde los primeros, en presencia solar o lumínica, O₂ hacia las bacterias heterótrofas, beneficiadas también tras periodos de oscuridad, para la reducción o mineralización de nutrientes, las cuales también aportan carbono inorgánico a las algas, así considerándose una ventaja en la intervención de efluentes de aguas residuales municipales según la alta o baja carga orgánica y de nutrientes, donde se han estudiado en bio reactores con diferentes profundidades en las que intervienen factores ambientales, operativas, de medio de cultivo, y microbiano (Arcila & Buitrón, 2016).

En concordancia a Olguín E (2012) estos sistemas al actuar como cultivo mixo trófico, al adherir a la especie algar predominante, bacterias o cianobacterias en los que sin contar el oxígeno, también se encuentran remociones de materia orgánica por ácidos orgánicos o acetato de aguas anaeróbicas, como fuentes de carbono. Este consorcio, de acuerdo con Ashock, Shrivastav, Bose & Gupta (2019) en su metabolismo utiliza los nitratos presentes de las aguas para proteínas y en algas para clorofila, además de aminoácidos y fosfatos para transferencia de energía (ATP), síntesis de ADN y ARN y fotosíntesis. También en ellos Delgadillo, Lopes, Taidi, & Pareau (2016) afirma que aunque el amoníaco es la fuente de nitrógeno con mayor eficiencia energética (por su menor requerimiento de energía en absorción), el amonio es la fuente preferida a asimilar entre urea, nitrato, o nitritos. Luego, en lo experimentado por Sayara, Khayat, Saleh & Van Der Steen P (2020), las algas que captaron el nitrógeno amoniacal inhiben el proceso con el nitrato, suponiendo la tendencia a usar nitrito antes del anterior inhibido.

Aunque según, Su (2021) el orden de consumo en micro algas es NH₄⁺>NO₃⁻>NO₂⁻>Urea, y en Fosfatos inorgánicos más bio asequible según sea de menor carga (PO₄³⁻, HPO₄²⁻, H₂PO₄⁻). El N acarreado por relaciones de hidrogeniones o con cationes de Na, Li, y K, al mismo tiempo, el P mayoritariamente por Na⁺; En lo correspondiente a Chlorella,

el NH_4^+ puede causar toxicidad si pasa los 664 mg/L de tolerancia, y se destaca por ser 4 veces menos removido en cultivos mixto tróficos, que por autótrofos o heterótrofos; con reportándose también de él (NH_4^+) producido tras metabolización por captación de Urea. Mientras el exceso de P se puede dar por alta concentración en biomasa (para reutilizar por requerimientos de micro alga) o como el caracterizado de absorción de fosforo lujo cuando sobre abunda en el ambiente, aunque no se pueda dar de manera simultánea.

Por otro lado, Su (2021) afirma que el metabolismo de fuente carbón en los foto autótrofos es preferiblemente del anión HCO_3^- , aunque también generen mecanismo, por la utilización de productos del ciclo de Calvin a través de las reacciones lumínicas (ATP y NADPH), para la captación de CO_2 difuso en el agua; Dejando a un lado ion CO_3^{2-} , cual no es captado para sus rutas metabólicas. Dicho ciclo de Calvin, desenvuelve actividades de carbonización y oxigenación, en la que relaciones altas de CO_2/O_2 , promueve la carbonización, mientras bajas relaciones CO_2/O_2 favorece la oxigenación. También por fuentes de carbono orgánicos, se sintetizan rutas mediante proteínas y fosfatos según oscuridad o luz (PPP, EMP), para metabolizar en base a glucosa, alcoholes, y ácidos, pero que son de más contribución por heterótrofos que foto autótrofos (Su, 2021).

En los metabolismos anteriores, con micro algas autóctonas se remueven ligeramente más N y P, además de DQO, al estar irradiados por LED, en vez de luz fluorescente. Además la intensidad de luz para *Chlorella Sp*, *Vulgaris*, y *Scenedesmus* que les favorece es la azul (450nm), pero que mezclada 5:5 con rojo (650nm) promueve más altos crecimientos y rangos de remoción, incluso en co cultivos de micro algas con hongos, y lodos activados.

De la misma manera, cambios en el oxígeno disuelto (OD) y pH, son factores que promueven un tipo de metabolismo de consumo de fuente de carbono. Acorde a Su et al. (2011) a comienzo de prueba de lotes el OD se hallaba tal cual el agua pre tratada, no obstante después de una caída a cero debido al consumo inicial del sistema en las aguas residuales, como consecuencia de procesos de oxidación de carbono vía heterotrófica se presenta un aumento luego del tercer día, llegando a tener niveles de oxígeno estables, mayores a 0,5 mg O_2/L (Buitron, Sanchez & Carrera., 2019). Este aumento del OD está asociado directamente al incremento de pH, evidenciando un aumento en los niveles de nitrificación (liberación de H^+) durante los primeros cinco días, siendo el sistema dominado por la presencia de CO_2 , ocasionando condiciones de consumo de carbono autotrófico por parte de las micro algas. No obstante, los sistemas micro algales pueden trabajar incluso bajo metabolismo mixto trófico (Su, et al., 2016).

Menciona, Su et al. (2016) que una de las principales limitaciones de los sistemas microalgales está asociado a sus características de suspensión. Lo anterior limita en su expansión e implementación a escala industrial de una forma rentable. Aunque sistemas para recolección de la biomasa como la filtración o centrifugación han sido ampliamente utilizados, su costo de inversión y operación restringe su implementación como un sistema de tratamiento de agua. Por otra parte, alternativas como la inmovilización o la adición de iones de carga positiva evidencian riesgos de contaminación de la biomasa, limitando su valorización en procesos posteriores a su recolección (Su, et al., 2016). En este sentido, la sedimentación por gravedad parece ser la alternativa mas viable. La operación por lotes secuenciales (alterna de mezcla y no mezcla) en el periodo de cultivo fomenta la selección de algas y bacterias sedimentables, siendo una manera eficaz de recolectar esta biomasa, debido al cambio en las propiedades superficiales de las células algales y la formación de sustancias poliméricas extracelulares, y el contenido de cationes (Su, et al., 2016).

De acuerdo a Lee et al. (2014) el considerado tratamiento de aguas residuales de algas implementado desde la década de los cincuenta en estanques abiertos a residuales domesticas tiene a la vez el potencial económico y medio ambiental para generar biomasa útil reduciendo los nutrientes orgánicos y fuentes de contaminación en aguas residuales. Se propone para esto una tasa de retención hidráulica mayor a dos días puesto que la tasa de crecimiento de algas es más lento que el de bacterias que le acompañan, mostrando las variaciones de oxígeno acorde a la producción de microorganismo. También se han implementado micro algas eucariotas (*Scenedesmus*, *Chlorella* o *Botryococcus*) y cianobacterias (*Espirulina*, entre otras) en reactores HRAP (Reactores poca profundidad y alta eficiencia en remoción), especialmente a estudio, donde se incide de manera lumínica optimizando energía y fuente de luz, esperando índices menores en contaminación del medio al funcionar con nutrientes como C, N y P (Su,et al.,2016)

De la misma forma Olguín E (2012) afirma que este tipo de tratamiento de aguas residuales puede considerarse un complejo junto a la producción de biodiesel siendo la razón de que las micro algas oleaginosas tienen un rendimiento mayor al de las plantas oleaginosas además convirtiéndose en energía renovable pues por 100 ton biomasa producida fija 183 ton de CO₂. Estos cultivos de micro algas han mostrado una ingesta de fertilizantes nitrogenados hasta 9 veces mayores a las de las palmas de aceite (0,048kg/kg aceite). Siendo también verificado por análisis ciclo de vida que las aguas residuales compensan la mayoría de cargas ambientales como la demanda de CO₂ y elementos de fertilizantes

pudiéndose llevar o reducir al 90% el aguadulce del que el restante se dispondría por aguas residuales (Olguín E., 2012).

Otro complejo de producción con los consorcios alga-bacterias, son entre las aguas residuales agroindustriales al limitar el fósforo, pudiéndose saturar de Ácidos Grasos Volátiles, para la combinación anaerobia de la producción de biomasa, cultivos viables a utilizar para la generación de energía o combustión del metano (Hernández, Riaño, Coca & García., 2012).

3.3.2 Microalga-bacteria capacidad de remoción de DQO y nutrientes.

Inicialmente, dicha capacidad depende del inóculo mejorando según las especies destacadas por alto crecimiento, tolerancia ambiental y acumulación de lípidos y almidones. Así para el tratamiento en aguas con Nitrógeno, fósforo, y DQO, a remoción se emplea junto a cianobacterias micro algas preferiblemente *Chlorella* sp. Diferenciándose la elección a micro alga *Scenedesmus* encontrada en otras fuentes a tratar más salinas y con mayor DQO (A. Residuales de porcinos). En dichos tratamientos por asimilación en biomasa habría eliminación entre 61 y 93% de Nitrógeno, idealmente 15% algar y 85% restante en ruta nitrificación o des nitrificación por flujo en el co cultivo (Wang et al., 2016).

También, según Su et al (2011), en estos tratamientos la capacidad de remoción máxima depende de concentraciones nutricionales, con relación óptima de N/P de 30/1; O en *Chlorella* Sp. 24 N/ 1 P, incrementando el ritmo de crecimiento y mayores remociones de dichos nutrientes en relación, aunque hayan reportes para estos tratamientos de C/N/P de 100/0.6/0.6, 100/193/12 (Su, 2021) . Además del mecanismo anterior, se puede mejorar el porcentaje de remoción en fosfatos y nitrógeno amoniacal con altos en el p H (>8,5) y su transcurso en los Tiempos de Retención Hidráulica; Precipitando de esta forma el orto fosfato, y haciendo extraíble dicho nitrógeno con absorción de algas (Su et al., 2011), (Olguín, 2012).

Acorde a lo anterior, Wang et al. (2016) adiciona; Altas concentraciones de DQO y nutrientes, en aguas residuales agrícolas o industriales inhiben el crecimiento algar, reduciendo la capacidad de remoción en el tratamiento si no se antepone un tratamiento anaerobio o se diluye según la materia orgánica del afluente. Así al hallarse el tratamiento

con fuentes eutrofizadas, también se soportó lo fundamental que era la luz (fotoperiodos), complementariamente permitiendo o no, las rutas de nitrificación o des nitrificación según también la cantidad de nutrientes en el medio. También, Wang et al. (2016) afirma que el buen crecimiento con asimilación de nutrientes o compuestos en biomasa generada entre la simbiosis de algas y bacterias, modificaría su capacidad en remoción de nutrientes si se condiciona temperaturas fuera de los 25 – 35 °C, a formación de auto coagulación por bacterias en el que se circularía CO₂ entre micro organismos, sin requerir oxígeno exterior.

También los restantes factores que alteran la capacidad del sistema, de acuerdo con Arcilla (2016) son los operativos que alteran la capacidad de remoción de nutrientes, en cuanto al proceso de crecimiento de microorganismos, cual mejora con TRH menores a los de TRS, en los que también la hidrodinámica (burbujeo o agitación) ayuda a la distribución de nutrientes a remover y la no sedimentación de microorganismos. Los mismos factores que ayudan a flocular y sedimentar con las algas la biomasa en los bio reactores, tras el aumento de sustancias poliméricas extracelulares entre ellos donde se aglomeran y adhieren esperando que por gravedad se termine el proceso resolviendo de una buena manera la separación de estas MABAS con sedimentación en el medio y sin llegar a acudir a procesos de coagulación floculación química, o implicando otros procesos físicos en los que se necesiten centrifugación, filtración o mayores costos para dichas operaciones.

En ese sentido, Lee et al. (2014) afirma que obtuvo remociones con *Chlorella* relacionadas directamente a los periodos de oscuridad en materia orgánica (12:60 Luz-Oscuridad), e inversa a estos en nitrógeno y fosforo (12:12); Los resultados presentaron los siguientes rangos de remoción luego de 11 días en aguas residuales municipales: 80; 59% DQO, 35;88% N, y 43; 89% P, que a diferencia con tratamientos en Colombia para aguas residuales domésticas, se han dado las siguientes remociones:

Asimismo, en lo referente al proyecto-patente Polo & Vargas, (2019), al utilizar dicho sistema mixo trófico con *Chlorella* en aguas residuales domesticas de la EDAR “El pueblo” Barranquilla, se permitió evaluar las remociones de nitrógeno y fosfato, tras 3 días, en flujos ascendentes de aireación regulados por una piedra porosa, y con 3 tratamientos según la concentración de dicha agua (al 100, 75, y 50%), obteniendo los siguientes porcentajes en N, y P respectivamente; 70,7,y 40,3; 95,7,y 65,6; tercero de 56,3 y 50,0.

Paralelamente en la línea de investigación de Recursos Hídricos y Saneamiento ambiental Cepeda (2018) analiza la capacidad de remoción en aguas residuales domesticas acerca

de N, y P de micro algas como Chlorella (64,92 y 90,59%), Hematococos 63,01 y 94,12%, y otras endémicas (55,13 y 80%), condicionadas en luminosidad, agitación y temperatura, optimizadas en dicho grupo de investigación en sistemas cerrados a escala de laboratorio.

De igual forma con micro algas Chlorella, Viveros (2014) evaluó las remociones en materia orgánica y nitrato, en agua residual doméstica, tras medio de cultivo con BBM, en bioreactores con iluminación, y aireación constante, a 25°C, cuales obtuvieron su máxima remoción al tercer día, con 66 %N y 15,38 %DQO,

6. METODOLOGÍA

Luego del crecimiento de las micro algas en reactores de poca profundidad y con factores modelados de medio de cultivo, y ambientales. Se desarrolló con ellas un inóculo en reactores experimentales (más pequeños y 3 réplicas por variable) para un desarrollo experimental 2k, con diferentes concentraciones iniciales y fotoperiodos (8 o 16h luz) que tras un tiempo de retención hidráulica de 5 días y agitación mecánica, se sometieron a valoración diaria de parámetros (pH, OD, y SSV) para supervisar su desarrollo en función, así como la eficiencia del tratamiento biológico a través de la remoción de nutrientes y materia orgánica analizados al inicio (tiempo 0) y final (tiempo 5). Adicionalmente, se empleó un control sin inóculo de microalgas con aireación continua y agitación mecánica bajo todas las condiciones experimental explicadas anteriormente. El análisis de la información se llevo a cabo a través del estadístico T Student.

6.1. ETAPA I: Acondicionamiento en factores ambientales y nutrientes de microalga- bacteria para el inóculo de bioreactores

El inóculo fue aclimatado en 3 reactores piloto tipo lote, con jarras de acrílico en un periodo de 15 días y capacidad de 2L, fue acondicionado bajo las siguientes condiciones operativas agitación mecánica con paletas, fotoperiodos 24 horas luz y intensidad de 47 W/m^2 y un tiempo de 15 días. El inóculo microalgal fue obtenido del Embalse Cameduadua, Chinchiná, Caldas ($4^{\circ}59'49,6''\text{N}$ $75^{\circ}37'00,2''\text{W}$) y crecido en aguas residuales sintéticas (Syntho) como se muestran en el Anexo 1. Pasado dicho periodo se determinó las concentraciones finales. Esta información fue empleada para inocular los bioreactores, en referencia a la metodología estándar (APHA, 1992) en donde se midió primordialmente los Solidos Suspendidos Volátiles (SSV); cuales fueron de 270 y 190 mg/L (máxima e intermedia), y sin concentración algal, para validar la remoción de nutriente y DQO, junto patógenos de las aguas residuales domésticas y obtener lo efectivo del tratamiento en afluentes por bio remediación.

Micronutriente	Cantidad g/ L
Pb(NO ₃) ₂ - Nitrato de plomo	0,001
MnSO ₄ .H ₂ O - Sulfato de Manganeso	0,00108
ZnCl ₂ - Cloruro de Zinc	0,00208
Ni(SO ₄).6H ₂ O - Sulfato de Niquel	0,00336
CuSO ₄ - Sulfato de cobre	0,0057
Cr	1 ml
Macronutriente	Cantidad g/ L
Almidón	0,122
Leche en polvo	0,116
Urea	0,0917
Acetato de sodio - C ₂ H ₃ NaO ₂	0,07937
Levadura	0,05224
Aceite de oliva	0,02902
NaH ₂ PO ₄ - Bifosfato de sodio	0,02372
KH ₂ PO ₄ - Fosfato monopotásico	0,0234
Peptona	0,0174
MgCl - Cloruro de magnesio	0,014
NH ₄ Cl - Cloruro de amonio	0,01275
FeSO ₄ .7H ₂ O - Sulfato de hierro	0,0058

Tabla 4. Macro y micronutrientes sintéticos 90% Agua residual doméstica.
Nota. Preparados con agua destilada, se agregaron 5ml de micronutrientes a mezcla de macronutrientes.

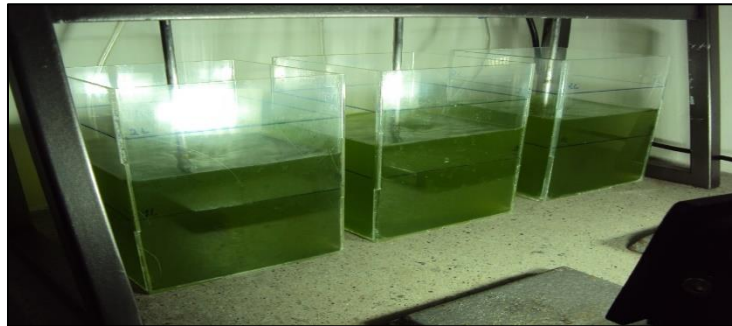


Figura 2. Sistemas de aclimatación de microalgas

6.2 ETAPA II: Diseño experimental

En el desarrollo de la investigación se empleo el diseño factorial 2k. Los fotoperiodos (luz: oscuridad) y sus concentraciones de inóculo algal (porfavor cambiar esto) de agua residual fueron los factores de alternancia en los bio reactores. En lo que durante 5 días el sistema micro alga bacteria en reactores tipo batch de 120 mL y volumen útil de 80 mL (frascos serológicos), se sometieron a intensidad lumínica de 56,3 W/m² con lámparas LED blancas, e hidrodinámica mediante planchas de agitación marca Lab. Rotator modelo BSR 2100V a 180 rpm por periodos de trabajo continuo de 120 y 30 minutos de descanso. También se establecieron reactores (sin presencia de micro algas) como sistemas de control en el que actuarían como factores la aireación o no aireación, además de los fotoperiodos, con los que se analiza la remoción de nutrientes y DQO (FIGURA 2).

A	B	Distribución de experimentos		
190 mg/L	8:16h (L:O)	1	2	3
270 mg/L	8:16h (L:O)	4	5	6
190 mg/L	16:8h (L:O)	7	8	9
270 mg/L	16:8h (L:O)	10	11	12
Control A	8:16h (L:O)	-	14	15
Control A	16:8h (L:O)	-	17	18

Tabla 5. Diseño experimental 2 k.

Nota. Condiciones del experimento, A) concentraciones de inóculo de micro alga-bacteria (-) 190 y (+) 277 mg/L. (A): Aireación; B) fotoperiodos luz: oscuridad (-) 8h: 16h y (+) 16h: 8h.

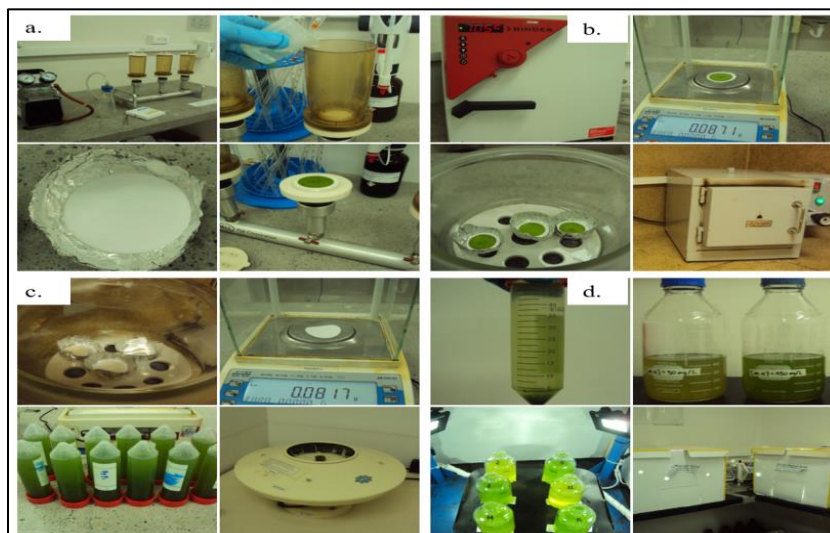


Figura 1. Arranque reactores tras inoculación alga (190, 270 y 0 mg/L)

6.3. ETAPA III: Caracterización Físico Química

A diario se midieron variables fisicoquímicas en los reactores tales como p H, y oxígeno disuelto. Por espectrofotometría (espectrofotómetro Merck modelo Spectroquant Pharo 300) se obtuvieron valores de densidades óptica con 750nm en longitud de onda, con los que se determinó el crecimiento de bio masa a partir del muestreo con una fracción de los 80 ml por reactor. Las cantidades de oxígeno disuelto y temperatura de los reactores se registraron con el oxímetro marca Hanna modelo HI98193. También el p H se dató con un pH-metro marca Black Stone modelo BL 931700. Registros anteriores en el ANEXO 3.

Las remociones de nitrógeno amoniacal, fosfato y DQO, se analizaron en unidades porcentuales en base al momento 0, y 5to día de los reactores mediante métodos químicos específicos. Para ello se llevaron a centrifugar, durante 20 minutos y 3500 rpm, 20 mL de muestra en el equipo marca Dr. N Gerber. Por lo que se utilizó secuencialmente el sobrenadante restante, cual pasó tanto por filtros de fibra de vidrio y de nitrocelulosa (0,45um), en análisis de parámetros solubles de agua residual. Finalmente con los kits de HACH se realizaron las pruebas de remoción: nitrógeno amoniacal (AmVer™ amoníaco Rango 0-50 mg/L N, Cat. 2606945-LM), fosfato (Cat. 2767245-LM basado en la prueba de molibdovanadato), y DQO (COD 20-1500 mg/L). Datos anteriores en TABLA 5.

6.4. ETAPA IV: Identificación Micro biológico

Con ayuda de la clave taxonómica *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators* (Bellinger & Sigeo, 2010), junto a la toma de fotografías de identificación morfológica micro algar (cámara marca AmScope modelo MD500 a 40X en microscopio), se procesó e identificó morfológicamente los anteriores organismos eucariotas (ANEXO 5 Y 6).

6.5. ETAPA V: Análisis estadístico método T Student

Este análisis estadístico se evalúa según el T Student, entre muestras independientes como fueron los reactores experimentales y de control, en remoción de nutrientes y materia orgánica, acorde a los fotoperiodos (8h o 16 horas Luz). También entre las relacionadas, donde según el inóculo varió el fotoperiodo; Así se aceptó o no, tras obtener el valor crítico relacionadas a los elementos muestreados y establecer una probabilidad del 95% si existía diferencia por las variables de incidencia lumínica a remociones entre ellos.

7. RESULTADOS

7.1. Resultados diarios y discusión en crecimiento micro algas

7.1.1. Condiciones muestreo experimental

7.1.1.1. p H (Potencial de Hidrógeno)

Tras iniciar los bioreactores en intervalos neutros todas las modalidades (con diferentes concentraciones y fotoperiodos) los únicos que mostraron mantener esta categoría desde el 3 tercer y hasta el 5 quinto día fueron los reactores con concentraciones mayores de 270 mg/L, mientras los restantes (de 199 mg/L) tras subir a carácter básico al 2 segundo día, bajaron a neutros al tercero virando de nuevo a la clasificación de su estado máximo hasta el 5to, mostrando la capacidad fotoautótrofa del sistema y el dominio en la promoción de oxígeno sobre la puesta de carbono inorgánico por parte de los organismos heterótrofos en el sistema.

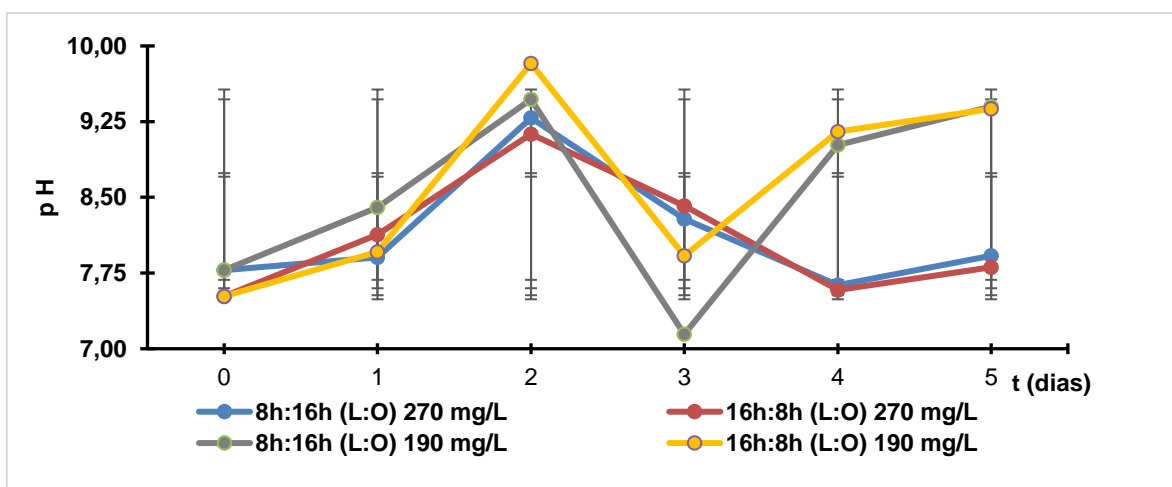


Figura 4. pH en reactores experimentales

En base a lo anterior, se presentó en el bio reactor con más de 270 mg/L y mayor incidencia lumínica un ascenso hacia el estado básico durante el primer día mejor que el similar con 190 mg/L, pudiéndose decir que se benefició en ese tiempo las algas pero que llegado el

segundo día tuvieron una diferencia mayor a 0,5 en p H lo que conduciría hasta el 4 día en el de primer concentración dicha una baja en la basicidad pudiendo ser por la función de las bacterias heterótrofas del reactor, cuales en el de 190 mg/L incidieron hasta el 3 día, ambos terminando representando mayor función algar hacia el 5to día pero en cual el de menor concentración se diferenció por 1,43 en p H más básico sobre el 7,81 de 270 mg/L, ambos con mayor fotoperiodo (16h luz) .

También, los bio reactores con menor iluminación (8h luz), pasado el 4to día la producción algal mostraría índices hacia la basicidad, pero que al iniciar el experimento los anteriores micro organismos en el reactor de 270 mg/L no subió tanto a carácter básico como su homólogo de fotoperiodos y 190 mg/L, teniendo una mayor regularidad en las variaciones de p H (aumentado 0,2) tras los 5 días. Del reactor con 8h luz y 190 mg/L, se podría decir que duró 1 día menos, que el semejante en incidencia lumínica y mayor concentración, en tener una variación por funciones de los micro organismos heterótrofos a fototrofos, pero que según sus condiciones mostraría el punto más bajo en el p H (3er día) e igual tras de este terminaría como uno de los bio reactores de lo experimentado en 5 dias con más tendencia a carácter básico (9,4 p H).

7.1.1.2 SSV (Solidos Suspendidos Volátiles)

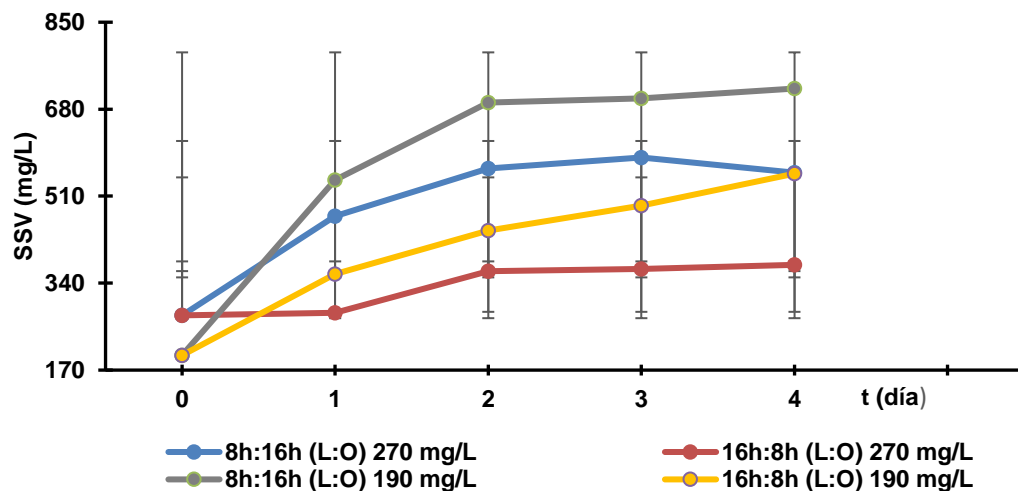


Figura 5. SSV en Reactores experimentales.

Con las condiciones iniciales de menor incidencia lumínica y concentración (8h luz y 199 mg/L) se logró los más amplios desempeños desde pasadas las 24 horas. Por lo tanto el

de menor fotoperiodo y de 270 mg/L, fue el único que redujo la reproducción algal finalizando el periodo de muestra.

El hecho de tener los mayores tiempos de irradiación los reactores con 270 y 190 mg/ L evidencian un crecimiento más lineal, aunque sin obtener los índices más grandes por crecimiento algal, así entre estos está el que termino con mayor alza en crecimiento algal al 4to día, reactor de 16h luz y 190mg/L. Los valores fueron obtenidos de la formula $(479,95 \cdot DO750 + 64,69)$.

7.1.1.3. OD (Oxígeno Disuelto)

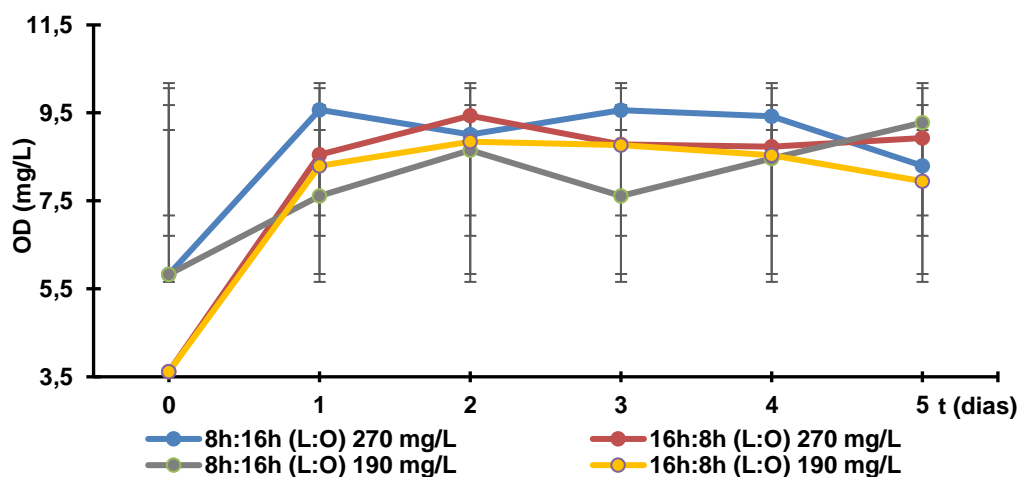


Figura 6. OD en reactores experimentales

Este parámetro muestra consecuentemente que tras la puesta en marcha del experimento y muestreo, no se obtuvo valores menores al inicial, con lo que los microorganismos foto tróficos serían los actores que al transcurrir del tiempo mantuvieron mayor recurso oxidante (OD). También los reactores con mayor incidencia lumínica (16h luz) dieron un valor mayor a 2 veces al de su estado inicial en un día. El bio reactor de menor iluminación y concentración inicial fue el que más aumentó su biomasa y desde el 3er día produjo más OD y terminó así mismo como el de mayor ascenso en este parámetro. Similar a este en periodo de 8h luz, pero con mayor concentración inicial 270 mg/L, terminó disminuyendo tanto su biomasa como el OD desde el 3er día; El bio reactor con más incidencia lumínica y concentración inicial desde el 3er día mantuvo su biomasa y OD, a diferencia del reactor

alterno que tras menor concentración inicial (190 mg/L, 16h luz) bajó de desde el segundo día su secuencia de aumento en biomasa y desde ese mismo día redujo hasta el 5to el OD.

7.1.2. Condiciones de muestreo control en reactores con aireación.

7.1.2.1. p H (Potencial de Hidrogeno)

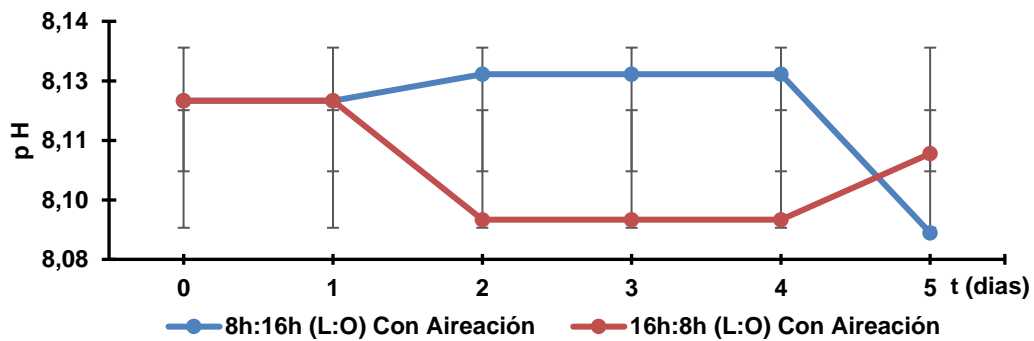


Figura 7. pH en Reactores de control

Contando únicamente con cambios tras la incidencia foto periódica, en los reactores aireados cambió el p H levemente luego de 24 horas y después del cuarto día, caso contrario a los bio reactores de muestreo experimental. Donde luego del 1er día el de mayor incidencia lumínica con aireación acidificó un poco hasta el 4to día, terminando hacia carácter básico pero aún cercano a 8,1 unidades de p H, de manera opuesta al bio reactor con 8h luz y aireación cual se mantuvo sobre los 8,1 hasta el cuarto día bajando con mayor pendiente hacia la acidificación pero incluso terminando cerca de los 8,1 y en carácter neutro.

7.1.2.2 SSV (Solidos Suspendidos Volátiles)

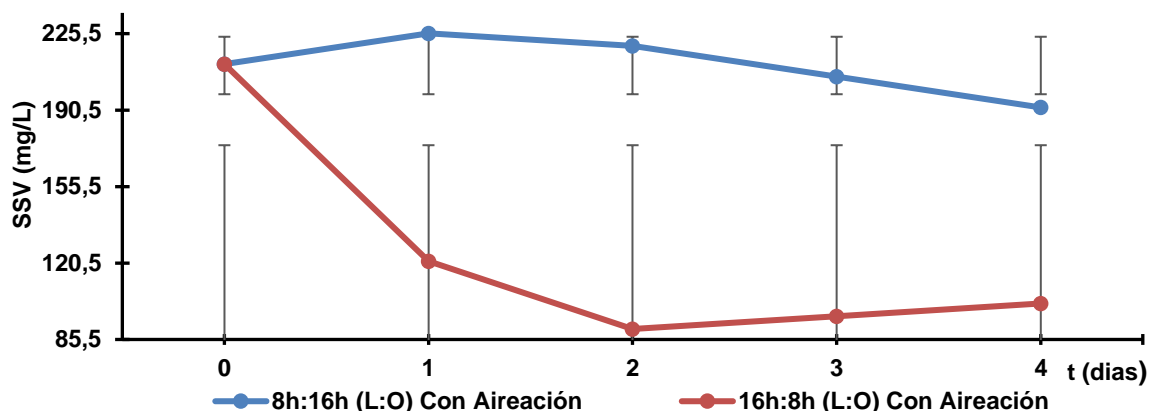


Figura 8. SSV en Reactores de control

El reactor con menor fotoperiodo (8h luz) tiene una tendencia leve a bajar casi durante los 4 días, una vez subió las primeras 24 horas, lo que se representaría una leve acidificación al terminar los registros de p H. Contrario a este, muestra que con mayor periodo de luz, aún dándose una tendencia fuerte a disminuir la concentración de SSV tras 2 días, durante las 48 últimas horas aumenta poco su valor, lo cual sirvió para terminar en ascenso hacia basicidad en el p H tras haber mantenido una leve acidificación los 2 primeros días. Los valores fueron obtenidos de la fórmula $479,95 \cdot DO750 + 64,69$.

7.1.2.3. OD (Oxígeno Disuelto)

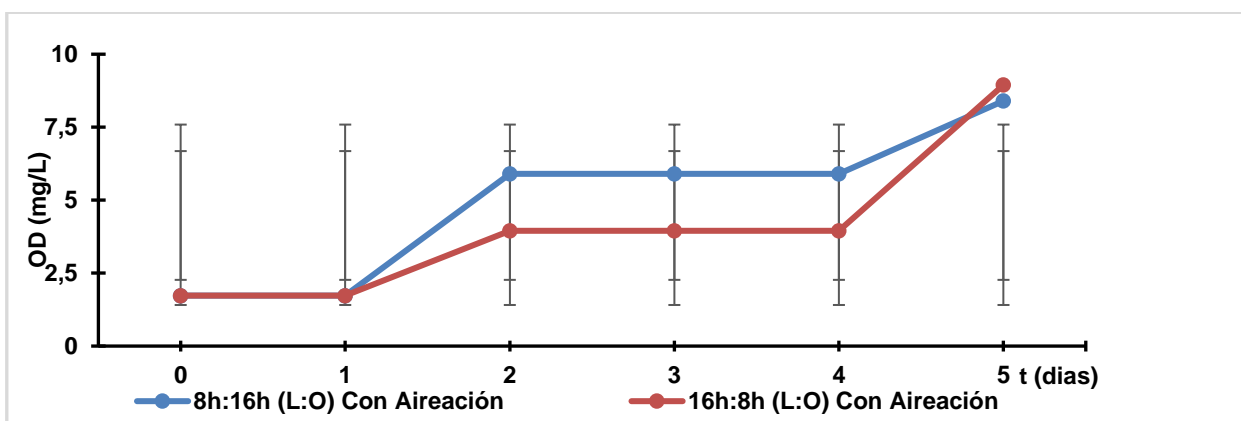


Ilustración 9. OD en Reactores de control

Luego de mantener el OD inicial (tras 24 horas) en los reactores, desde el 2do día se mantuvo un nivel más alto de este parámetro en los dos, obteniendo mayores valores el de fotoperiodos de 8h luz. Pasado el 4to día, aunque en ambos bio reactores se aumente de nuevo las concentraciones es el bio reactor de aireación con 16h luz, cual muestra el mayor cambio en este parámetro, incluso comparando con los reactores de muestra experimental en sus días de mayor variación.

La aireación en los reactores a diferencia de los otros muestreados mantiene y no reduce la concentración de OD en ellos, generándose los mayores cambios en 24h al pasar el cuarto día y no las primeras 24h, compensando la disminución de biomasa.

7.2. Resultados y discusión de remociones nutrientes y materia orgánica

7.2.1 Condiciones muestreo experimental (Necesito que emplees solo dos decimales)

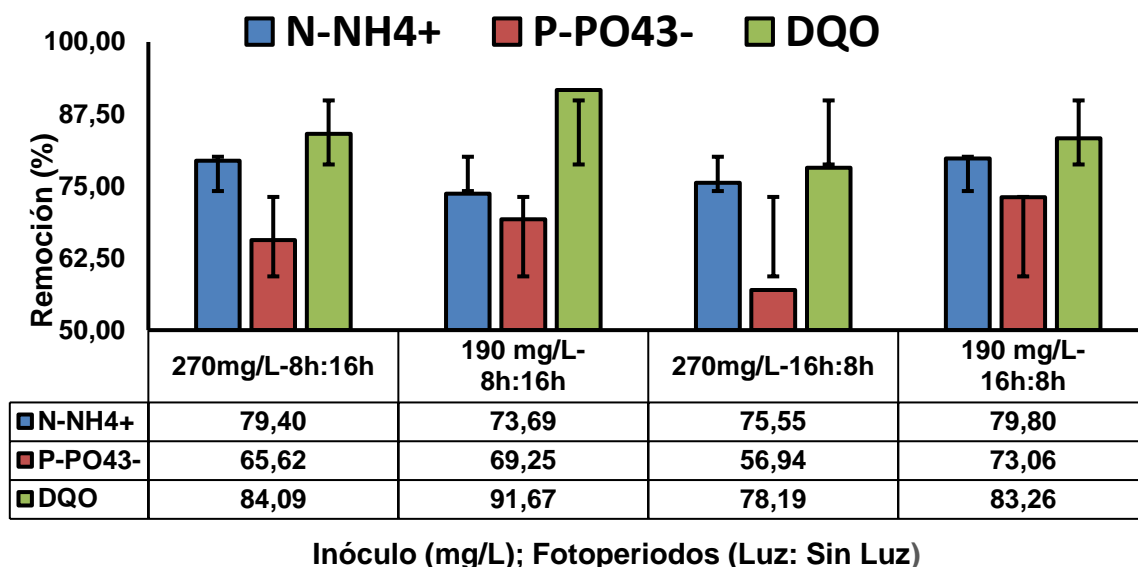


Ilustración 10. Porcentaje remoción en bio reactores experimentales

Relación másica N/P inicial: 1,3 primer bio reactor, 1,5 segundo, 1,3 tercero, y 1,5 cuarto.
Relación másica N/P final: 0,76 primer bio reactor, 1,4 segundo, 0,73 tercero, y 1,14 cuarto.

Relación másica N/P óptima (Rangos promediados): 22/1 u 11 de acuerdo con Su (2021), y 1.4 (C/N/P 14 a 44 /1.4/1) según Arcila (2013).

Limitación de nitrógeno en el medio y la baja remoción en fósforo: Frente a la relación másica N/P (inicial) se obtuvo remociones mayores al 55 % en fósforo, donde los reactores de menor concentración algal inicial (8 y 16 h luz, respectivamente), obtuvieron las remociones más altas 69,25 y 73,1% respectivamente, reduciendo finalmente la relación N/P en 0,1 y 0,36. Por otro lado, las remociones con menor resultado fueron obtenidos bajo alta concentración algal inicial y condiciones de fotoperiodos de (8 y 16 h luz) alcanzando remociones de 65,6 y 57 %, bajando la relación N/P en 0,27 y 0,3. Evidenciados los picos contrarios en remoción % de los reactores 3 y 4 (16h Luz en fotoperiodos), es el último de estos cual remueve mayor cantidad de N y fosforo, una vez empezada la operación con menor concentración algal del inóculo.

De acuerdo a la gráfica anterior, ilustración 10, y al iniciar con bajas concentraciones de inóculo (190 mg/L) es posible remover cantidades mayores a 83% en DQO, observando en reactores de mayor incidencia lumínica (16h:8h), los mejores niveles de remoción de nitrógeno y fósforo, (79,8; 73%). Por el contrario, el reactor con menor fotoperiodo (8h luz) y de mayor concentración (270 mg/L) algal inicial, sería la segunda mejor opción para remover nitrógeno y DQO (79,4 y 84%).

Cabe resaltar que en situación contraria, se evidencia que el reactor de mayor concentración e incidencia lumínica, muestra las remociones más bajas para fosfato y DQO, 57 y 78 % respectivamente, con valor de remoción de nitrógeno de 75,6%. Destacando que el reactor de menor fotoperiodo de luz y concentración inicial el cual dio la mejor remoción entre los demás de DQO 91,7%, la segunda mejor remoción de fosforo (69,3%), y nitrógeno última entre ellos con (73,7%).

7.2.2. Condiciones de muestreo control en reactores con aireación.

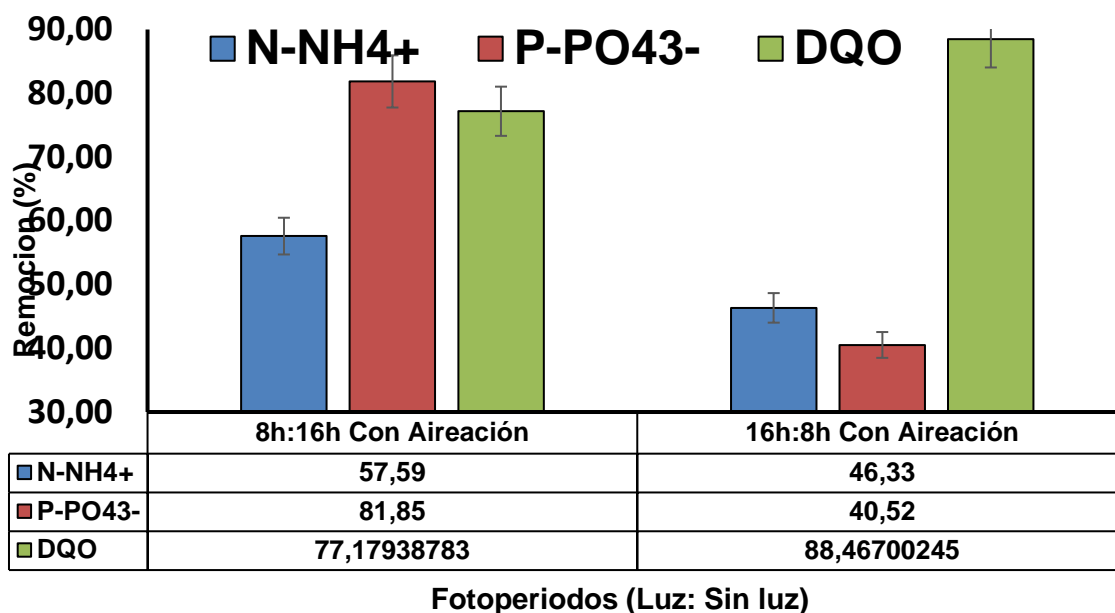


Ilustración 11. Porcentaje remoción reactores control

Relación másica N/P inicial: 1,63 Relación másica N/P final: 4,12 primero, 4,32 segundo.

Relación másica N/P óptima (Rangos promediados): 22 u 11 según Su (2021) y 1.4 (C/N/P 14 a 44/ 1.4/1) según Arcila (2013).

Limitación de nitrógeno en el medio y la baja remoción en fósforo:

El primero de la gráfica tras los 5 días obtuvo relación N/P final menor que el de 16h luz (4,32) por 0,2 unidades, sus remociones de iones de fosforo fue casi el doble que el segundo reactor (81,85%, y 40,52%), y en nitrógeno 11,3 unidades porcentuales de diferencia a favor (57,59% y 46,33%); Frente a los bio reactores de muestreo experimental en remoción de fosforo, el primer reactor de aireación y 8h luz, obtuvo la mejor posición con diferencia de 8,79 unidades porcentuales más que el 73,06% del bio reactor con periodo de luz de 16h y 190 mg/L (1,63,y 1,5 N/P inicial, y final 4,12 y 1,14, respectivamente). Pero que entre estos 2 últimos descritos, en remoción de nitrógeno y DQO el de aireación queda por debajo en 23,21 y 6,08 unidades porcentuales respectivamente, ante los 79,80% (N) y 83,26% (DQO) del bio reactor de muestreo experimental; Acercándose dicho primer reactor de aireación y 8h luz, al último de los bio reactores en muestreo experimental (270 mg/L, 16h luz, y 1,3 N/P inicial y 0,73 N/P final) en cuanto a N y DQO, (57,59,y 77,18 frente a 56,94%, y 78,19% del experimental).

De igual manera el segundo bio reactor con aireación y 16h luz, obtuvo remociones más altas en DQO que el primero con 11,29 unidades porcentuales de más (88,47%, y 77,18%). Y ante los bio reactores de muestreo experimental solo quedó detrás del 91,67% alcanzado por el de 190 mg/L pero con fotoperiodo de 8h luz y relación N/P inicial de 1,5 y final 1,4 (vs 1,63 N/P inicial y 4,32 final). También entre estos bio reactores, el de aireación y 16 h luz no solo fue superado en remoción de P y N al de muestreo experimental anteriormente dicho (69,25%, y 73,69%) sino ante los demás, pues con los 40,52 y 46,33%, no alcanzó los 56,94 y 73,69% mínimos obtenidos por reactores distintos en muestreo experimental.

7.2.2 T Student muestras relacionadas

Evaluadas las muestras para afirmar las hipótesis de diferencia a favor de las remociones según sus variables, se registró sus valores y desviación estándar, donde se dieron los siguientes valores:

Diferencia % (DQO,N,P)	16h L > 8h L	8h L>16 h L	8h L> 16h L
Media muestra	11,29	11,23	41,33
Desv. Estándar	10,38	52,69	66,14
t evaluación	1,54	0,30	0,88
t critica	6,31	6,31	6,31
alfa	0,05	0,05	0,05
p valor	0,18	0,41	0,27

Tabla 6. T Student muestras control.

Nota: Al tener 1 grado de libertad, se presentaron t críticas iguales, cuales para las t evaluadas fueron altas.

Así experimentalmente se puede aceptar las diferencias a favor por incidencias lumínicas, que no se aseguran estadísticamente en otros desarrollos similares de operación, puesto que no se obtuvieron mayores elementos por muestra que disminuyeran las desviaciones estándar y aseguraran un alfa de 0.5.

7.2.3 T Student variables relacionadas

Evaluadas las muestras para afirmar las hipótesis de diferencia a favor de las remociones según sus variables, se registró sus valores y desviación estándar, donde se dieron los siguientes valores, tras los 3 elementos por reactor experimentado:

Diferencia % (DQO, <u>N</u> ,P)	8>16hL (190 mg/L)	8>16hL (270 mg/L)	<u>8>16hL</u> (270 mg/L)	<u>16 > 8h L</u> (190 mg/L)	8 >16h L (270 mg/L)	16>8h L (190 mg/L)
Media muestra	8,407	5,896	3,846	0,726	8,68	3,19
Desv. Estándar	7,53	2,53	7,74	8,15	1,96	11,645
t evaluación	1,93	4,04	0,86	0,13	7,67	0,388
t critica	2,92	2,92	2,92	6,31	2,92	6,31
alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
p valor	0,096	0,028	0,24	0,46	0,01	0,38

Tabla 7. T Student muestras experimentales.

Nota. El último y ante penúltimo evaluado tuvo 1 grado de libertad menos.

No se llegó a acertar con 95% de probabilidad las diferencias a favor, sino en la última variable de DQO, y primera de P.

7.2.4 T Student variables independientes

Evaluadas las muestras para afirmar las hipótesis de igualdad de variables, entre fotoperiodos iguales con diferentes inóculos, se registró sus valores y desviación estándar, donde se dieron los siguientes valores rechazando la igualdad:

Diferencia % (DQO, <u>P</u>)	8L = 8hL (190vsAir)	16L =16 hL (270 vsAir)	<u>16 L= 16hL</u> (270 vsAir)
Media muestra	91,67=77,18	78,2=88,5	57=82
Var. Muestra	10,7=46,4	5,76=12,45	2,66=25
Var. Común	10,7	7,99	10,36

t evaluación	3,34	-3,98	-8,48
t critica	3,18	3,18	3,18
alfa	0,05	0,05	0,05
p valor	0,044	0,028	0,0034

Tabla 8. *T Student muestras experimentales y control.*
Nota. Únicas igualdades rechazadas.

No se aceptaron con 95% de probabilidad las igualdades entre variables independientes (inoculadas vs aireadas). Por el contrario se aceptaron:

8L = 8h L (DQO)	16L = 16h L	8L = 8h L (N)	8L=8h L	16L=16 h L	16L=16h L	8L = 8h L (P)	8 L= 8h L	16L=16 h L
(270 vs Air)	(190 vs Air)	(190 vs Air)	(270 vs Air)	(190 vs Air)	(270 vs Air)	(190 vs Air)	(270 vs Air)	(190 vs Air)

Tabla 9. *Variables independientes aceptadas (T Student).*

7.3 Identificación Micro biológica

En los cuerpos de aguas residuales a tratar, se encontró al género *Chlorella* sp como especie dominante, en ayuda del microscopio con lente 40x. Identificándose posteriormente con la clave taxonómica Freshwater Algae Identification and use as Bioindicator de Bellinger & Sigeo (2010).

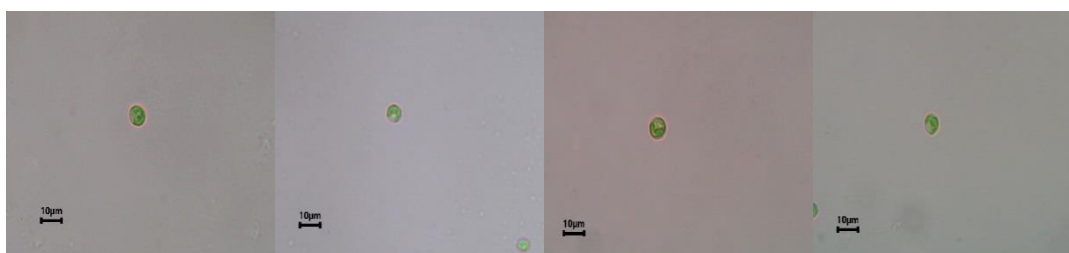


Ilustración 12. *Microalga Chlorella Sp.*

8.CONCLUSIONES

- La producción de biomasa alga se ve afectada por las relaciones N/P. En la investigación entre las de 1,3 y 1,5, fueron los reactores con la última relación dicha cuales removieron más DQO y P.
- Los fotoperiodos llegan a suplir la incidencia de la concentración o inóculo alga, puesto que en las concentraciones con mayor incidencia lumínica mejoro solo la remoción en los de menor concentración alga (190 mg/L), mientras en los de mayor concentración alga se removió más cantidad con menor incidencia lumínica (8h luz: 16 oscuridad)
- La actividad fotosintética de las algas aumenta tanto las concentraciones de Oxígeno disuelto, como el carácter básico del medio, disminuyendo la DQO, y facilitando el trabajo de los organismos heterótrofos del sistema.
- El aumentar el p H sobre 8,5 en los reactores remueve del medio fosfato, teóricamente por precipitación.
- La aireación en los reactores además de subir el oxígeno disuelto y disminuir la DQO, mantiene sobre TRH menor a 5 días cambios en el p H del medio.
- Las pocas replicas o muestras por variables en los experimentos no permite aceptar hipótesis por el aumento de la desviación estándar y el corto grado de libertad que se evalúa en la T student para obtener resultados con confianza mayor al 95%.
- En la evaluación de bio reactores de control, aunque haya diferencia a favor en media de muestra por reactores con 8h Luz: 16 oscuridad en porcentaje de remoción N y P, la amplia desviación estándar entre ellos y pocas réplicas de muestra, evaluadas con la T student, no permite cumplir con un $p < 0,05$.
- Aunque la evaluación en porcentaje remoción de DQO fue mayor en los bio reactores de control de 16h Luz: 8 oscuridad sobre los de 8h Luz:16 oscuridad . No se acepta hipótesis a favor de estos puesto que tampoco tuvo una confianza del 95% debido a su pocas replicas o muestras, que no mostraron una desviación estándar a favor.

- A diferencia de los reactores de control, y solo los experimentales con inoculo inicial de 270 mg/L y 16h Luz: 8 oscuridad, dieron una confianza mayor al 95% al remover DQO que su contra parte de 8h Luz: 16 oscuridad.
- En las diferencias de N y P, los reactores experimentales de 270 mg/L, con fotoperiodos de 16h L: 8 oscuridad sobre los de 8h L: 16 oscuridad, se pudo aceptar con el 99% confianza solo en remoción de fosforo, sus otras variables salen del $p < 0,05$.
- Analizado los resultados de T student por variables independientes, entre los reactores de control y experimentales, únicamente mostraron diferencia de resultados en porcentaje de remoción de nutrientes y materia orgánica, con margen de confianza mayor a 95% fueron; los de 16h Luz; 8h oscuridad en DQO y P entre los reactores de 270 mg/L, y el de control, mientras solo el de 190 mg/L se diferenció con el de control al momento de remover DQO con fotoperiodos de 8h Luz: 16 oscuridad.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Arcila, J.S., 2013. Generación de granulos y aglomerados microalga-bacteria para el tratamiento de aguas residuales municipales y producción de metano. Universidad Autónoma de México
2. Arcila, J.S., 2020. Tratamientos Avanzados en Aguas Residuales. Universidad Católica de Manizales.
3. Arcila, J.S., Buitrón, G., 2016. Microalgae – bacteria aggregates: effect of the hydraulic retention time on the municipal wastewater treatment , biomass settleability and methane potential. *J. Chem Technol Biotechnol* 91, 2862–2870. doi:10.1002/jctb.4901
4. Arcila, J.S., Buitrón, G., 2017. Influence of solar irradiance levels on the formation of microalgae-bacteria aggregates for municipal wastewater treatment. *Algal Res.* 27, 190-197. doi:10.1016/j.algal.2017.09.011. Ashok, B., Shriwastav, A., Bose, P., & Gupta, S. (2019). Phycoremediation of waste water using algal-bacterial photobioreactor: Effect of nutrient load and light intensity. *Bioresource technology reports.* 7, 1-10.
5. Buitron, G., Sanchez, C., Carrera, J. (2019) Manual técnico sobre tecnologías biológicas aerobias aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales. Triton. S.C recuperado de: <http://triton-cyted.com/wp-content/uploads/2019/04/Tratamiento-aerobio-de-aguas-residuales.pdf>
6. Cepeda, M., 2018. Microalgas: Una alternativa verde para el tratamiento de aguas residuales. Universidad de Ibagué. S.C recuperado de: <https://arboldetinta.unibague.edu.co/k2/microalgas-una-alternativa-verde-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales>
7. Cuervo, A., Diaz, P., 2019. Evaluación del potencial bioquímico de la co digestión alga-bacteria con sustratos de residuos cítricos. Universidad Católica de Manizales.
8. Delgadillo, L., Lopes, F., Taidi, B., & Pareau, D. (2016). Nitrogen and phosphate removal from wastewater with a mixed microalgae and bacteria culture. *Biotechnology reports,* 11, 18-26.

9. ENA., 2014. Estudio Nacional del Agua. Sistema de Información Ambiental de Colombia, S.C recuperado de: <http://www.siac.gov.co/web/siac/infonalagua>
10. Hernández, D., Riaño, B., Coca, M., & García, M. (2012). Treatment of agroindustrial wastewater using microalgae-bacteria consortium combined with anaerobic digestion of the produced biomass. *Bioresource technology*, 135, 598-603.
11. Lee, Ch., Lee, S., Ko, So., Oh, Hee., & Ahn, Ch. (2014). Effects of photoperiod on nutrient removal, biomass production, and algal-bacteria population dynamics in lab-scale photobioreactors treating municipal wastewater. *Water research*, 68, 680-691.
12. MADS., 2015. Normativa Agua Residual, S.C recuperado de: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf
13. Noyola, A., 2015. Estado actual y perspectivas de la digestión anaeróbica en México y en Latinoamérica. Tratamiento anaerobio de aguas residuales con reactores UASB. Instituto de Ingeniería UNAM.
14. Olgún, E., (2012). Dual purpose microalgae-bacteria based systems that treat wastewater and produce biodiesel and chemical products within a Biorefinery. *Biotechnology advances*, 30, 1031-1046.
15. Polo, A., Vargas, I., 2019. Eliminación de nutrientes utilizando *Chlorella* sp. Corporación Universitaria de la Costa. S.C recuperado de: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/5297/Eliminaci%C3%B3n%20de%20fosfatos%20y%20nitratos%20de%20agua%20residual%20municipal%20mediante%20un%20in%20culo%20optimizado%20de%20Chlorella%20sp.%20en%20un%20sistema%20de%20fotobiorreactores%20verticales%20con%20columna%20de%20burbujeo%20a%20escala%20piloto.pdf?sequence=1>
16. Sayara, T., Khayat, S., Saleh, J., Van Der Steen P. (2020). Evaluation of the effect of reaction time on nutrient removal from secondary effluent of wastewater: Field demonstrations using algal-bacterial photobioreactors. *Saudi journal of biological science*, 28, 504-511.
17. SIAC., 2021. Agua. Sistema de Información Ambiental de Colombia, S.C recuperado de: <http://www.siac.gov.co/aguaques>
18. Silva, J., Torres, P., Madera, C., 2008. Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura. *Agronomía Colombiana*, S.C recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652008000200020

19. Su, Y. (2021). Revisiting carbon, nitrogen, and phosphorus metabolisms in microalgae for wastewater treatment. *Science Total Environment*.762, 1444590, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144590>
20. Su, Y., Mennerich, A., & Urban, B. (2011). Municipal wastewater treatment and biomass accumulation with a wastewater-born and settleable algal-bacteria culture. *Water research*, 45, 3351- 3358.
21. Viveros, J. (2014). Evaluación de las aguas residuales domesticas de la Universidad Autónoma de Occidente como medio de cultivo natural para la micro alga nativa *Chlorella SP*. Y simultáneamente su capacidad para remover nitrato y DQO dichas aguas. Universidad Autónoma de Occidente. S.C recuperado de: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/7736/T05784.pdf?sequence=1>
22. Wang, Y., Ho, S., Cheng, Ch., Guo, W., Nagarajan, D., Ren, N., Lee, D.,& Chang, J. (2016). Perspectives on the feasibility of using microalgae for industrial wastewater treatment. *Bioresource technology*, 222, 485-497.
23. Yong, J., Chew, K., Khoo, K., Show, P., & Chang, J. (2020) Prospects and developments of algal-bacterial biotechnology in environmental managment and protection. *Biotechnology advances*, 47, 1-17.