 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vigilada por el Ministerio de Educación	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión A
FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO		F-AC-DBL-007	10-04-2012	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		Dependencia	Aprobado	Pág.
		SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(1)

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	CARLOS MARIO NARVAEZ CUETO JOSÉ FERNANDO SILVA GARCÍA		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA AMBIENTAL		
DIRECTOR	Msc. LUIS CARLOS FONSECA HERREÑO		
TÍTULO DE LA TESIS	EFECTO DE UN CONSORCIO MICROALGAL AUTÓCTONO DE LA REGIÓN EN LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN EL PROYECTO DE PORCINOS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
SE EVALUÓ UNA ALTERNATIVA VIABLE DE REMEDIACIÓN IMPLEMENTANDO UN CONSORCIO MICROALGAL AUTÓCTONO DE LA REGIÓN EN VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES GENERADOS EN EL PROYECTO DE PORCINOS DE LA UFPSO, EMPLEANDO LA METODOLOGÍA DE CINCO FASES; SELECCIÓN DEL CULTIVO, SEGUIMIENTO DE LOS CULTIVO, EL ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES Y DETERMINACIÓN DE CONDICIONES, IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN OBTENIENDO RESULTADOS DE REDUCCIONES SIGNIFICATIVAS EN PARÁMETROS DE DQO EN UN 40-50%, DBO5 EN UN 60-80%, NO2 – EN UN 70-80% Y NO3 – HASTA DEL 60 %.			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 125	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 56	CD-ROM: 1



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
 info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

EFFECTO DE UN CONSORCIO MICROALGAL AUTÓCTONO DE LA REGIÓN EN
LA REDUCCION DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS
EN EL PROYECTO DE PORCINOS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE
PAULA SANTANDER OCAÑA

AUTORES:

CARLOS MARIO NARVAEZ CUETO

JOSÉ FERNANDO SILVA GARCÍA

Proyecto de grado para Optar el Título de Ingeniero Ambiental

Director:

Msc LUIS CARLOS FONSECA HERREÑO

Asesora:

Msc. DIANA MILENA VALDÉS SOLANO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

INGENIERIA AMBIENTAL

Agradecimientos

Primeramente, a Dios por permitirnos el desarrollo de este trabajo, aunque no fue fácil el proceso, pero se logró con esfuerzo y constancia los objetivos planteados.

A la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por brindarnos los conocimientos, los espacios y el tiempo para formarnos como profesionales íntegros al servicio de la sociedad; de igual manera al semillero de investigación GI@DS y grupo de investigación SIASB.

A la Msc. Diana Milena Valdés Solano y el Msc Luis Carlos Fonseca Herreño por su acompañamiento, dedicación, empeño, constancia, paciencia, entrega y apoyo en todo el proceso de investigación.

Dedicatoria

Mi dedicatoria parte gracias a que se dio la voluntad de Dios por permitir el desarrollo de este proyecto de investigación, el cual culminó con gran éxito y satisfacción en pro del conocimiento hacia el interés de encontrar soluciones a los problemas actuales que nosotros por ser parte de la naturaleza provocamos.

La compañía y apoyo de mis padres Jorge Enrique Narvaez Medina y Melid Cueto Santana fue muy importante para lograr esto, ya que siempre han estado presente en cada uno de mis pasos para darme los empujones que he necesitado y de esta manera alcanzar todos mis triunfos, son ellos mi inspiración para seguir adelante y nunca dejar de crecer.

Mis hermanos Jorge David Narvaez Cueto y Luis Fernando Narvaez Cueto les agradezco siempre su apoyo y acompañamiento, por creer en mí, por estar orgullosos de lo que hago y a toda mi familia solo tengo que decir gracias por todo.

Agradezco a la Msc. Diana Milena Valdés Solano y el Msc Luis Carlos Fonseca Herreño por depositar su confianza en mí, fue de gran ayuda su apoyo incondicional en el acompañamiento en este proceso del trabajo de grado para lograr culminar mis estudios en la universidad.

Carlos Mario Narvaez Cueto

Agradezco en primer lugar al Todopoderoso, a Dios que me ha permitido realizar poco a poco mis objetivos y metas, que de su mano siempre he permanecido y salido adelante.

Mis padres Aliria Rosa y Luis José los cuáles son el motor de mi vida, la razón de luchar por mis sueños, los que me han dado las bases para ser lo que hoy soy, los que sol a sol me han dado la vida.

Agradezco a mis hermanos por ser también una gran base para superarme y siempre me han acompañado

Agradezco mucho a la profesora Diana Milena Valdés la cual ha sido mi mentora, guía, escudera, consejera en este camino de formación profesional, agradezco por esa semillita que sembró en mí y poco a poco ha venido floreciendo.

José Fernando Silva García

Indice

Introducción.....	xv
Capítulo 1. Efecto de un Consorcio Microalgal Autóctono de la Región en la Reducción de Contaminantes de Aguas Residuales Generadas en el Proyecto de Porcinos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Formulación del Problema	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 General.	3
1.3.2 Específicos.	4
1.4 Justificación.....	4
1.5 Delimitaciones.....	6
1.5.1 Delimitación geográfica.	6
1.5.2 Delimitación tiempo.....	6
1.5.3 Delimitación conceptual.....	6
1.5.4 Delimitación operativa.	6
Capítulo 2. Marco Referencial	7
2.1 Marco de Antecedentes	7
2.2 Marco Histórico.....	11
2.3 Marco Contextual-Regional	14
2.3.1 Breve descripción del Municipio de Ocaña Norte de Santander.	14
2.3.1 Aspecto geográfico.....	15
2.4 Marco Conceptual	18
2.5 Marco Teórico	20
2.5.1 Factores y condiciones de crecimiento en microalgas.	22
2.6 Marco Legal	27
Capítulo 3. Diseño Metodológico	30
3.1 Tipo de Investigación	30
3.1.1 Explicativos.....	30
3.1.2 Experimentales.....	30
3.1.3 Experimento puro.....	31
3.2 Población y Muestra.....	31
3.3 Técnicas e Instrumentos de recolección de información	31
3.3.1 Material biológico.	31
3.3.2 Material de vidrio.....	31
3.3.3 Reactivos	32

3.4 Metodología	32
3.4.1 Parte de cinco fases principales.....	32
Capítulo 4. Administración del Proyecto	36
4.1 Recursos Humanos	36
4.2 Recursos Institucionales	36
4.3 Recursos Financieros.....	37
Capítulo 5. Resultados	40
5.1 Selección de condiciones de cultivo.....	40
5.2 Seguimiento de los cultivos.....	42
5.2.1 Datos recolectados del crecimiento microalgal de las muestras.	42
5.2.2 Representación gráfica del crecimiento del consorcio microalgal.....	43
5.3 Análisis de aguas residuales y determinación de condiciones	44
5.3.1 Análisis previos del agua residual del proyecto porcino de la UFPSO.....	44
5.3.2 Determinación de condiciones y selección de factores para el diseño experimental.	46
5.4 Análisis Estadístico del Diseño Experimental.	51
5.4.1 Análisis de interpretación de datos.	53
5.5 Análisis de resultados.....	72
5.5.1 valores deseables para la implementación del diseño experimental	82
Capítulo 6. Conclusiones	83
Capítulo 7. Recomendaciones	85
Referencias.....	86
Apéndice.....	97
Apéndice A. Tabla Anova del Diseño Experimental	98
Apéndice B. Tablas de Datos Arrojados en los Tratamientos del Diseño Experimental...	109
Apéndice C. Crecimiento Microalgal en Agua Residual del Diseño Experimental	112
Apéndice D. Registro Fotográfico del Montaje Experimental.....	114
Apéndice E. Participación en Representación del Semillero de Investigación Ambiental y Sanearamiento Básico SIASB de la Universidad Francisco de Paula Santander UFPSO.....	116

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.	16
Figura 2. Ubicación del proyecto de la Granja Experimental de la UFPS Ocaña.	17
Figura 3. Longitud de onda por absorbancia de clorofila (Díaz Uribe, Vallejo Lozada, Cantillo Guzmán, Alvis Padilla, & Fajardo Rangel, 2018).	24
Figura 4. Estanque de almacenamiento del jardín botánico Jorge Enrique Quintero Arenas del campus de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña con coordenadas Lat. 8,238396 y Long. -73,319188.	40
Figura 5. <i>Scenedesmus quadricauda</i>	41
Figura 6. <i>Chlorella</i>	41
Figura 7. Montaje piloto para producción del cultivo microalgal y tratamiento de aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO.	41
Figura 8. Tendencia ajustada de crecimiento del consorcio microalgal.	43
Figura 9. Correlación entre peso seco (concentración de biomasa g/L) y crecimiento microalgal medido con densidad óptica a 750 nm.	44
Figura 10. A (<i>Aerobio mesófilos</i>), B (<i>Salmonela</i> , <i>Shigella</i>), C (<i>Pseudomona</i>) y D (<i>Escherichia coli</i> , coliformes totales).	46
Figura 11. Prueba de crecimiento de microalgas en agua residual del proyecto de porcinos de la UFPSO sin diluir al 100% y concentración de inóculo microalgal del 0,2 g/L (muestra con microalgas) acompañada con un testigo de prueba (muestra sin microalgas).	47
Figura 12. Crecimiento microalgal en muestra esterilizada al 50% con inóculo de microalgas al 0,3 g/L replicadas con microalgas (C.M) acompañadas con un testigo de muestra blanco esterilizada sin microalgas (S.M) versus crecimiento microalgal en muestra no esterilizada 50% con inóculo de microalgas al 0,3 g/L replicadas con microalgas (C.M) acompañadas con un testigo muestra blanco no esterilizada sin microalgas (S.M).	48
Figura 13. Crecimiento microalgal en muestra esterilizada al 30% con inóculo de microalgas al 0,3 g/L replicadas con microalgas (C.M) acompañadas con un testigo de muestra blanco esterilizada sin microalgas (S.M) versus crecimiento microalgal en muestra no esterilizada 30% con inóculo de microalgas al 0,3 g/L replicadas con microalgas (C.M) acompañadas con un testigo muestra blanco no esterilizada sin microalgas (S.M).	49
Figura 14. Crecimiento microalgal en muestra esterilizada al 10% con inóculo de microalgas al 0,3 g/L replicadas con microalgas (C.M) acompañadas con un testigo de muestra blanco esterilizada sin microalgas (S.M) versus crecimiento microalgal en muestra no esterilizada 10% con inóculo de microalgas al 0,3 g/L replicadas con microalgas (C.M) acompañadas con un testigo muestra blanco no esterilizada sin microalgas (S.M).	49
Figura 15. VD: DQO interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.	53
Figura 16. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV DQO.	54
Figura 17. VD: DBO ₅ interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.	55
Figura 18. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV DBO ₅	56
Figura 19. OD: interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.	57
Figura 20. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV OD.	57
Figura 21. VD: NO ₃ ⁻ interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.	59
Figura 22. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: NO ₃ ⁻	60
Figura 23. VD: NO ₂ ⁻ interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.	60
Figura 24. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: NO ₂ ⁻	61

Figura 25. VD: NH ₃ -N interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.....	62
Figura 26. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: NH ₃ -N.....	62
Figura 27. VD: PO ₄ ⁻ interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.	64
Figura 28. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: PO ₄ ⁻	65
Figura 29. VD: COLOR interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.	66
Figura 30. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: COLOR.	67
Figura 31. VD: SST interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.....	68
Figura 32. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: SST.....	69
Figura 33. VD: SDT interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.....	69
Figura 34. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: SST.....	70
Figura 35. VD: pH interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.....	71
Figura 36. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV pH.....	72
Figura 37. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de remoción de DQO en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.....	74
Figura 38. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de remoción de DBO ₅ en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.....	75
Figura 39. Resultados del efecto microalgal en porcentaje del aumento del OD en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.....	75
Figura 40. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del NO ₃ ⁻ en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.....	76
Figura 41. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del NO ₂ ⁻ en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.....	77
Figura 42. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del NH ₃ -N en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.....	78
Figura 43. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del PO ₄ ⁻ en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.....	78
Figura 44. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del COLOR en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.....	79
Figura 45. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del SST en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.....	79
Figura 46. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del SDT en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.....	80
Figura 47. Resultados del efecto microalgal en porcentaje del aumento del pH en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y concentración AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.....	81

Figura 48. Perfiles para valores predichos y deseabilidad. La línea descontinua de color rojo indica los valores de optimización.	82
Figura 49. Seguimiento de crecimiento del consorcio microalgal en el agua residual A.R diluida al 10%.	112
Figura 50. Seguimiento de crecimiento del consorcio microalgal en el agua residual A.R diluida al 30%.	112
Figura 51. Seguimiento de crecimiento del consorcio microalgal en el agua residual A.R diluida al 50%.	113
Figura 52. Montaje experimental ubicado en el laboratorio de aguas de la UFPSO.	114
Figura 53. Registros de proceso de centrifugación de las microalgas para inóculos en agua residual.	114
Figura 54. Registro de pruebas fisicoquímicos en el laboratorio de aguas de la UFPSO.	115
Figura 55. Congreso de la 5 ^{ta} international week of science technology & innovation [5 ^{ta} semana internacional de ciencia, tecnología e innovación] noviembre 20-23 de 2018 con relación del presente trabajo de grado.	116
Figura 56. Participación en el XXII encuentro nacional y XVI internacional de semilleros de investigación en la ciudad de Valledupar, 8-12 de octubre de 2019.	117

Lista de tablas

Tabla 1 Medio desarrollado para cultivar <i>Chlorella</i>	23
Tabla 2 Valoración de longitudes con mejor resultados a 680 y 750 nm	25
Tabla 3 Porcentaje de error en absorbancia en 650nm y 750nm en el ciclo de vida de la <i>C. vulgaris</i>	26
Tabla 4 Métodos normativos de análisis físicos químicos.....	34
Tabla 5 Presupuesto general del proyecto.....	37
Tabla 6 Actividades para la ejecución de proyecto.....	39
Tabla 7 Seguimiento y control del crecimiento del consorcio microalgal.....	42
Tabla 8 Parámetros fisicoquímicos previos del agua residual	45
Tabla 9 Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (ARnD) a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería.	73
Tabla 10 Anova DV: DBO5.....	98
Tabla 11 Anova DV: DQO.	99
Tabla 12 Anova DV: OD.	100
Tabla 13 Anova DV: NO ₃ -.....	101
Tabla 14 Anova DV: NO ₂ -.....	102
Tabla 15 Anova DV: NH ₃ -N.....	103
Tabla 16 Anova DV: PO ₄ -.....	104
Tabla 17 Anova DV: COLOR.	105
Tabla 18 Anova DV: SST.	106
Tabla 19 Anova DV: SDT.	107
Tabla 20 Anova DV: pH.	108
Tabla 21 Tratamiento al 10% de agua residual inoculada con el consorcio microalgal.....	109
Tabla 22 Tratamiento al 30% de agua residual inoculada con el consorcio microalgal.....	110
Tabla 23 Tratamiento al 50% de agua residual inoculada con el consorcio microalgal.....	111

Lista de abreviaturas

Anova: Análisis de la varianza

AR: Agua residual

BBM: Medio Basal Bold

C.M: Con microalgas

CM: Cuadrado medio

CORPONOR: Corporación autónoma regional del departamento de Norte de Santander

DBO: Demanda química de oxígeno

DBO₅: Demanda biológica de oxígeno, medida a los cinco (5) días

DO: Densidad óptica

EDTA: Ácido etilendiaminotetraacético

F: Estadístico de prueba

Gl: Grado de libertad

LM: Lumen

mL: Mililitro

Mpa: Mega pascal

OD: Oxígeno disuelto

ONU: Organización de las Naciones Unidas

pH: Potencial de Hidrógeno

PSMV: Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimiento

S.M: Sin microalgas

SDT: Solidos disueltos totales

SM: Suma de cuadrados

SST: Solidos suspendidos totales

UFC: Unidad formadoras de colonias

UFPSO: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

UNICEF: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

UV-VIS: Ultravioleta Visible

VD: Variable dependiente

Introducción

En la actividad porcina es complejo el manejo de las aguas residuales, la utilización del recurso hídrico es de gran importancia y de alta demanda en este sector productivo para su funcionamiento ideal; motivo por el cual es necesario tener control y regulación de ello.

La Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña cuenta con el proyecto porcícola para la cría de la mejor calidad genética en cerdos, por lo que se tiene una infraestructura que puede manejar todo el proceso de inseminación y mantenimiento de los cerdos hasta el punto de ser comercializados, todo este proceso representa demanda de recurso hídrico y generación de vertimientos; donde la principal problemática que se tiene en la UFPSO en el sector porcícola es la deficiente manipulación de los vertimientos generados, los cuales son dispuestos al suelo sin ningún tratamiento, llegando por infiltración a un afluyente cercano.

El vertimiento arroja gran carga contaminante como es la alta demanda de DBO_5 , DQO , NO_2 , NO_3 , P , $\text{NH}_3\text{-N}$ entre otros; por esta razón el motivo de la investigación va dirigido a implementar de manera alternativa el manejo de estos vertimientos con un consorcio microalgal autóctona de la región previamente estabilizadas para su implementación, evaluando los efectos que tienen a favor del tratamiento de estos efluentes que se generan por la producción porcícola teniendo como objetivo principal analizar e interpretar el efecto del consorcio microalgal sobre los contaminantes de la muestra obtenida del vertimiento generado.

Capítulo 1. Efecto de un Consorcio Microalgal Autóctono de la Región en la Reducción de Contaminantes de Aguas Residuales Generadas en el Proyecto de Porcinos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

1.1 Planteamiento del Problema

El planeta tierra está constituido en gran parte de su superficie en agua, la mayoría de este recurso no es potable y la poca que garantiza la supervivencia al ser humano se ha venido contaminado con el pasar del tiempo (Vera, Camilloni, & Argentina Ministerio de Educación, 2007). La expansión de la población y el desarrollo de grandes ciudades son los principales responsables de que se deteriore la calidad del agua dulce de todo el mundo, ya que debido a esto se generan la acumulación de residuos y la disposición de vertimientos a las aguas receptoras. Dando origen a las aguas residuales, que es el tipo de agua que ha sido afectada negativamente por la influencia antropogénica. (Chalivendra, 2014).

El principal problema en la mayoría de las aguas residuales son las altas concentraciones de nitrógeno, fosforo, metales tóxicos que requieren de tratamientos químicos costosos para dicha eliminación (Pittman, Dean, & Osundeko, 2011). Y en la actualidad muchas de las fuentes de vertimiento contienen estos contaminantes que deterioran el ambiente provocando un desequilibrio ecológico que se vuelve difícil de remediar.

Se dice que Colombia es uno de los países más ricos en el recurso hídrico con extensas cuencas que se encuentran en todo el territorio. El Instituto de hidrología, meteorología, y estudios ambientales (IDEAM) realiza el monitoreo de la calidad de las fuentes hídricas por estimación de las cargas contaminantes puntuales vertidas por los sectores industriales,

domésticos y agrícolas entre otros. En el estudio nacional de agua 2014 (IDEAM, 2015) se asegura que cuando las concentraciones de contaminantes son elevadas, los vertimientos afectan la fauna y flora, lo cual ocurre en la mayoría de las ciudades y municipios del país.

La corporación autónoma regional del departamento de Norte de Santander (CORPONOR), es la encargada de vigilar y sancionar los problemas ambientales ocasionadas por los municipios o por particulares (CORPONOR, 2012), pero, aunque las leyes y los entes de vigilancias estén presentes en el territorio, es inevitable que se generen aguas residuales, ya que por la creciente expansión y desarrollo se ha visto en la necesidad de utilizar las fuentes hídricas para la evacuación de vertimientos.

En el sector rural las actividades económicas están sustentadas a la agricultura y a la actividad pecuaria (Alcaldía Municipal de Ocaña en Norte de Santander, 2016). la cual no es rigurosamente vigilada y controlada por las autoridades ambientales donde los trabajadores del campo muy pocas veces saben disponer o tratar sus residuos contaminantes que en su mayoría afecta las fuentes hídricas, suelo, fauna y flora. Una de las actividades pecuarias de las cuales se puede dar como ejemplo es la cría extensiva de cerdos ya que esta actividad requiere una demanda elevada de recurso hídrico para el mantenimiento de los criaderos generando residuos que contienen contaminantes del excremento de los animales que al verterlos indebidamente podría causar una afectación ambiental.

En la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña se realizan varios proyectos pecuarios tales como bovina, caprina, cunícola, porcina y aves de corral. (Univercidad Francisco de Paula Santander Ocaña, s.f.). Donde estas actividades de producción por su dinámica generan vertimientos que en su mayoría no son tratados y dispuestos de manera correcta, como es el caso

del proyecto de porcinos en el que se evidencia un mal manejo ya que el vertimiento del lixiviado se hace directamente al suelo que por infiltración o escorrentía llega al cauce del río Algodonal que pasa a pocos metros del proyecto.

En la actualidad la investigación y los experimentos relacionados a la capacidad que tiene las microalgas para la eliminación de nutrientes contaminantes mediante su crecimiento en aguas contaminadas resulta muy innovador para la implementación de una alternativa de tratamiento de aguas residuales (Ramos & Pizarro, 2018).

Por las razones expuesta anteriormente se piensa innovar en los sistemas de tratamiento de aguas residuales con proyección a desarrollo sostenible implementando un método de biorremediación con consorcio de microalgas nativas de la región para la reducción de contaminantes en el proyecto de porcinos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

1.2 Formulación del Problema

¿Con la implementación de un consorcio microalgal autóctono, será posible la remediación de aguas residuales generadas en el proyecto de porcinos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña?

1.3 Objetivos

1.3.1 General.

Evaluar el efecto de un consorcio microalgal autóctono de la región en la reducción de contaminantes de aguas residuales generadas en el proyecto de porcinos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

1.3.2 Específicos.

Adaptar y estabilizar un consorcio microalgal autóctono a un medio controlado, identificando el punto de mayor actividad metabólica para su implementación en agua residual.

Analizar e interpretar el efecto del consorcio microalgal sobre los contaminantes del agua residual, estableciendo la necesidad de implementar procesos adicionales.

Determinar la efectividad de remediación del tratamiento en agua residual basado en el cumplimiento de la resolución 0631 de 2015.

1.4 Justificación

La degradación de la calidad del agua está determinando la escasez del recurso, donde los vertimientos por diferentes medios y actividades humanas afecta directamente o indirectamente los cuerpos de agua existentes en cualquier región del planeta, que a su vez las dinámicas de afectación varían tanto en magnitud como el volumen de composición de las aguas residuales generadas por el estilo de vida de desarrollo industrial en las ciudades o comunidades rurales. (Abdel-Raouf, Al-Homaidan, & I.B.M. Ibraheem, 2012). El tratamiento de aguas residuales es una prioridad importante para garantizar la descontaminación y la salud pública (Castillo, 2011).

Los procesos de tratamiento biológico se consideran más ecológicos y de menos costo de implementación para tratamiento de aguas residuales (Castillo, 2011). Por este motivo se están innovando otros sistemas de tratamiento alternativos como es la biorremediación microalgal de las cuales se han hecho estudios e investigaciones para su respectivo uso e implementación en aguas residuales.

En la actualidad se ha dado uso a las microalgas en el agua residual como ventaja

combinando en su tratamiento y, simultáneamente, la producción de biomasa, que además pueden ser explotadas para complementos de proteínas, aditivos alimentarios, la energía, productos farmacéuticos, cosméticos y otros productos químicos valiosos. (Mallick, 2002). La implementación de microalgas y estudios realizados por diferentes tipos de publicaciones científicas nos permite evidenciar la potencialidad que tienen las microalgas en aguas residuales donde se puede abarcar campos de investigación para la implementación de este tipo de microorganismo fotosintético que ayude a la biorremediación de estas aguas.

Una de las innovaciones que trae la implementación de microalgas en el tratamiento de aguas residuales es la potencialidad de remoción de nutrientes contaminantes y por otro lado producción de energía renovable a través de la biomasa. (Kumar Prajapati, Kaushik, Malik, & Kumar Vijay, 2013). Es importante la aplicación de cultivos de microalgas como alternativa en tratamiento de aguas residuales para bajar o eliminar altas concentraciones de nutrientes, en particular N y P, que de lo contrario pueden conducir riesgos de eutrofización si estos nutrientes se acumulan en ríos y lagos. (Pittman, Dean, & Osundeko, 2011). Por esta razón el estudio e investigación de las microalgas como método de biorremediación en aguas residuales tiene gran relevancia ya que gracia a búsquedas de estrategias de alternativas se han llegado a tener soluciones a corto y largo plazo sobre la problemática que se tiene en estos tiempos por la generación de aguas residuales derivadas de actividades humanas.

En comparación con los procesos químicos y físico, los procesos de tratamiento biológicos logran la eliminación de nutrientes de una manera menos costosa y más ecológica teniendo beneficios añadidos y procesos de recuperación o reciclaje (Christenson, 2011). Por lo anterior mencionado se busca implementar como alternativa en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña un cultivo de microalgas nativo de la región para disminuir nutrientes

contaminantes en el agua residual que se genera en del desagüe de lixiviado del biodigestor. Buscando la reducción de contaminantes y el mejoramiento de las aguas residuales para llegar a tener un sistema de desarrollo sostenible con el ambiente y por ende minimizar el impacto.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación geográfica. La investigación se desarrollará en el proyecto de porcinos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

1.5.2 Delimitación tiempo. Este proyecto se pretende desarrollar en su totalidad, en los meses correspondientes al primer semestre de 2019 y segundo semestre del año 2019, con un total de 8 meses.

1.5.3 Delimitación conceptual. Para la realización del presente proyecto se tendrá en cuenta los siguientes términos: microalgas, aguas residuales, lixiviados, tratamientos alternativos, biorremediación, nutrientes.

1.5.4 Delimitación operativa. Para la realización de esta investigación, en la reducción de contaminantes de aguas residuales generadas en el proyecto de porcinos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña se cuenta con personal capacitado y con recursos tecnológicos de laboratorio proporcionados por parte de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. El desarrollo del proyecto será ejecutado por parte de los estudiantes a cargo teniendo en cuenta la asesoría del director del trabajo de grado y de profesionales que se requiera.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco de Antecedentes

De investigaciones hechas en diferentes ramas de la ciencia tenemos: libros, artículos y tesis que han sido publicadas, donde para interés del presente proyecto de investigación, se escogieron aquellos que abordan temas o estudios de biorremediación de aguas residuales utilizando microalgas.

Entre los libros tenidos en cuenta para el presente proyecto tenemos los que son publicados por los autores: Amos Richmond y Qiang Hu con su libro “Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology”, Robert A. Andersen con su libro “Algal Culturing Techniques” y Se-Kwon Kim con su libro “Handbook of Marine Microalgae: Biotechnology Advances”.

Frente a los autores Amos Richmond y Qiang Hu. (2013). en su libro “Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology”, se compilan estudios en el tema de producción microalgal y diferentes aplicaciones en la biotecnología, que nos permitió obtener conocimiento sobre la importancia de las microalgas y la implementación de estos microorganismos como alternativa de biorremediación en aguas residuales.

Frente al autor. Robert A. Andersen (2005) con el libro “Algal Culturing Techniques” el cual hizo investigación microalgal y en algunos de sus apartados trata de técnicas de producción de microalgas, donde se encontró como principal interés para el presente proyecto temas como la implementación de cultivos de microalgas en medios controlados para estudios e investigaciones

científicas y además de ello pudimos extraer una receta para medios de cultivo controlados de microalgas y poder implementarla en nuestra investigación.

Frente al autor. Se-Kwon Kim (2015) y su libro “Handbook of Marine Microalgae: Biotechnology Advances”, en el que su investigación fue para la producción masiva, producción de productos biofarmacéuticos, biorremediación hacia la producción sostenible biorremediación de metales pesados y otras investigaciones con la implementación de microalgas y otros avances biológicos donde la energía, la vida y el futuro sostenible están inmerso en la investigación con microalgas.

Los artículos para tener en cuenta con información pertinente al presente proyecto tenemos que:

Del artículo “Effects of harvesting cell density, medium depth and environmental factors on biomass and lipid productivities of *Chlorella vulgaris* grown in swine wastewater” publicado por los autores. Hossein Amini, Lijun Wang, y Abolghasem Shahbazi (2016) se hace una experimentación con la especie de microalga *Chlorella vulgaris* en aguas residuales de porcinos donde evalúan la producción de biomasa en diferentes profundidades en sistemas abiertos observando variables ambientales y determinando porcentaje de reducción de nutrientes contaminantes como el fosforo, nitrógeno.

En el artículo “Cultivation of *Chlorella* sp. GD using piggery wastewater for biomass and lipid production” publicado por. Kuo, Chiu-Mei, et al (2015) la investigación se basa en la utilización de la microalga *Chlorella* sp. en aguas residuales producto de la cría de cerdos, dándole provecho en la producción de biomasa, lípidos y evaluando diferentes diluciones de implementación en el agua residual.

Del artículo “Responses of microalgae *Coelastrella* sp. to stress of cupric ions in treatment of anaerobically digested swine wastewater” publicado por Li, Xiang, et al. (2018) Realizaron la investigación en donde pone como hipótesis que las microalgas *Coelastrella* sp. podría eliminar los contaminantes de agua residual porcina digerida anaeróticamente en sistemas terciarios implementando cepas de microalgas y dilución del agua residual del 10%.

Del artículo “Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts” publicado por los autores Logan Christenson y Ronald Sims. (2011) Investigaron sobre la producción de biocombustibles y bioproductos aprovechando el tratamiento con microalgas en aguas residuales para poder elaborar subproductos con la biomasa microalgal.

Del artículo “Microalgae and wastewater treatment” publicado por los autores N. Abdel-Raouf, A.A. Al-Homaidan, I.B.M. Ibraheem. (2012) Exponen que las microalgas puedan ofrecer un paso interesante, debido a que proporcionan un biotratamiento terciarios junto con la producción de biomasa potencialmente valioso para varios propósitos científicos, ya sean farmacéuticos, energéticos entre otros.

Del artículo Microalgas: “Aspectos Ecológicos y Biotecnológicos” por la autora Liliana M Gómez Luna. (2007) se da la descripción de la ecología de las microalgas de agua dulce, así como las de ambientes costeros y marinos para tener una conceptualización de su comportamiento biológico e importancia ecosistemita.

Las tesis publicadas que se han referido a nuestro proyecto de investigación tenemos:

Del trabajo de tesis: “Estudio del cosechado de cultivos de microalgas en agua residual mediante técnicas de centrifugado” realizado por la autora. Lorena Elizabeth Bermeo Castillo (2011) en la que su investigación se centra como objetivo principal en “Estudiar el cosechado de

cultivos de microalgas en agua residual de la ciudad de Chiclana de la Frontera mediante técnicas de centrifugado” y teniendo como uno de sus objetivos específicos determinar el porcentaje de eliminación de nutrientes (N, nitratos, nitritos, P) en el agua residual con diferentes especies de microalgas” (Bermeo Castillo , 2011). Realizado en Europa nos aporta gran información para el desarrollo de nuestra investigación para la implementación de un consorcio microalgal en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO.

De la tesis titulada como: “Planta demostración de depuración de aguas residuales con microalgas” realizada por la autora. Paula Soriano Molina (2015) en la Estación Depuradora de Aguas Residuales El Toyo, en el área municipal de Almería en España. Realizo investigación con el principal objetivo de mejorar la calidad del agua residual utilizándola como medio de cultivo de microalgas, con el consiguiente aprovechamiento de la biomasa para el abastecimiento energético de la planta de tratamiento de aguas residuales.

De la tesis titulada: “Evaluación del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de aguas residuales industriales (vinazas)” hecha en Colombia presentada por los autores. Edward Andrés Olarte Gómez y Mónica Judith Valencia Giraldo (2016) tiene como uno de sus objetivos determinar el tiempo específico del cultivo en donde se obtiene el mayor consumo de nutrientes del cual es de gran información para el presente proyecto.

De la tesis titulada: “Evaluación de la capacidad de remoción de nitratos y fosfatos de la microalga, *Desmodesmus asymmetricus*, en aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Taboada Callao.” Presentada por la autora. Andrea Macedo Riva (2018) donde hizo su investigación en Perú sobre la caracterización del crecimiento de las microalgas y su porcentaje de remoción que puede alcanzar esta especie en aguas residuales.

Dentro de los recursos y trabajos de grado que contiene la Universidad Francisco de Paula Santander sede Ocaña (UFPSO) se pudo tomar la siguiente información pertinente al proyecto:

El trabajo de grado titulado “Diseño y evaluación de un sistema piloto para la descontaminación de aguas residuales generadas en la UFPSO, empleando las especies *Costus picatas* y *Heliconia psittacorum*” con el objetivo de diseñar y evaluar un sistema piloto para la descontaminación de aguas residuales generadas en la UFPSO, empleando las especies *Costus spicatus* y *Heliconia psittacorum* es de gran importancia ya que su relación con el proceso de biorremediación es similar al que se desea implementar con las microalgas y es el único estudio encontrado que se hace similar al de nuestro proyecto aunque sin implementar microorganismos y en aguas residuales de origen diferente (Sánchez Gil & Vélez, 2016).

2.2 Marco Histórico

Desde el año 1900 hasta la década de los 70 el objetivo de tratamiento de aguas residuales era la reducción de material coloidal, suspendido y flotante; en la década de los 80 se centraba en criterios estéticos y ambientales, los criterios posteriores se hicieron más exigentes y empezó a considerarse la eliminación de nutrientes. En los años 90 con los avances tecnológicos, los tratamientos de aguas residuales fueron enfocados a dar solución a problemas de salud pública y desarrollar prácticas que permitieran solucionar el problema en la fuente. Últimamente se habla de tratamiento destinado a reusó, el cual consiste en aprovechar los nutrientes y parte de la materia orgánica, concentrándose básicamente en la reducción de patógenos (Gaviria Arias & Castaño Moreno, 2017).

Es inevitable la existencia del cambio climático a nivel global, el rápido desarrollo industrial pone en riesgo la disponibilidad y calidad de las aguas, debido a la cantidad de productos

contaminantes generados y concentraciones altas de nutrientes (Hernandez-Perez & I. Labbé, 2014). En los últimos 50 años se han desarrollado investigaciones sobre microalgas y la forma de utilización en variedad de procesos y obtención de importantes productos; Mata en el 2010 indica que el primer cultivo de microalgas a gran escala se realizó en Japón en la década de los sesenta con intereses para uso y aprovechamiento de las microalgas como energía renovable (Bermeo Castillo, 2011).

Una de los primeros trabajos de empleo de algas en tratamiento de aguas residuales se remonta a 1957 y se debe a Oswald, quien describe un sistema de tratamiento mediante lagunaje, desde entonces este tipo de tratamiento ha llamado la atención y potencialidad en remoción de nutrientes de aguas residuales urbanas industriales y agrícolas (Ruiz Martinez, 2011), la implementación de esta clase de sistemas algales tuvo escenarios como Israel, Tailandia en los años setenta y posteriormente retomada en los Estados Unidos de Norteamérica, el papel de las algas en aguas residuales se empezó a investigar en Texas y California después de la segunda Guerra Mundial como implantación piloto en pequeñas comunidades rurales (Cerón Hernández, Madera Parra, & Peña Varon , 2015). Investigaciones realizadas por Chinnasamy (2010) demostraron que un grupo de 15 algas nativas mostraron una eliminación de nutrientes contaminantes en aguas residuales de un 96% (Bermeo Castillo, 2011). Desde mediados del siglo XX se ha encontrado que las microalgas son eficientes en la remoción de compuestos de nitrógeno y fosforo en aguas residuales (Hernandez-Perez & I. Labbé, 2014). Los desechos de animales en su forma líquida tienen una larga historia como fuente de fosforo, nitrógeno y carbono para crecimiento de microalgas y particular interés en desechos de la avicultura y porcicultura por los grandes volúmenes de producción (Ortiz Moreno, Cortés-Castillo, Sanchez-Villaraga, Padilla, & Otero-Paternina, 2012).

Se ha probado que cultivos de varias especies de microalgas en aguas residuales artificiales y reales han concluido que son aptas para la eliminación de contaminantes y la eficacia del proceso es prometedor, estudios han alcanzado un 100% de porcentaje de eliminación, aunque depende o está en función de las condiciones de operación, especies empleadas y características del agua residual, otros estudios también permiten concluir depuración mediante microalgas en aguas con elevada carga orgánica ya sea ganadería o agricultura (Ruiz Martinez, 2011). Valderrama et al.,(2002) trabajó 2 cultivos continuos de microalgas *C. vulgaris* y *Lemma minuscule* en efluentes de destilerías con tratamiento previo y los dos cultivos combinados reportaban hasta un 52% de depuración, (Travieso, Benitez, & Dupeyrón, 1999) se empleó cultivo de *C. vulgaris* para el tratamiento de vinazas luego de un pretratamiento anaeróbico presentando buenos resultados en la remoción de nitrógeno y fósforo ($> 85\%$) así como reducción de sólidos totales mayor al 90% (Olarte Gomez & Valencia Giraldo , 2016).

Según Mera Alegria et al. (2016). Publican que el señor Banki-moon, Secretario General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el 70% del agua es utilizada por el sector agropecuario en diferentes actividades lo que presume una mayor contaminación en sus vertimientos y la consecuente afectación de la calidad de vida vegetal, animal y humana.

En Colombia el tratamiento a las aguas residuales ha sido una de las más grandes problemáticas ambientales, cada vez más crítica y creciente; las descargas del sector agrícola es el más contaminante, seguido por las descargas de las grandes ciudades como Bogotá, Cali, Medellín, Cartagena y Barranquilla; la construcción de sistemas de tratamientos de aguas en Colombia es una práctica relativamente nueva, Colombia trata el 10% de las aguas residuales a pesar de contar con una capacidad instalada que alcanzaría el 20%. Según estudios de UNICEF, menos de la cuarta parte de los municipios de 21 departamentos analizados cuentan con una

planta de tratamiento de aguas residuales (Twenergy, 2014).

El territorio colombiano se caracteriza por ser rico en recursos hídricos, pero se manejan de manera inadecuada; de los municipios del país, menos del 5% tratan las aguas residuales y esto lleva a que diariamente se descargan al entorno natural cerca de cuatro y medio de millones de metros cúbicos de aguas residuales. El desarrollo urbano no tiene control efectivo. No existen programas eficientes de control y prevención de la contaminación (Sanchez Perez, 2002). Desde hace más de tres décadas la actividad porcícola en Colombia ha sido de gran importancia en la generación de empleo y su comercialización, pero ha generado impactos en lo relacionado con el manejo y tratamiento de sus aguas residuales (Arias Martinez, Betancur Toro, Gomez Rojas, Salazar Giraldo , & Hernandez Angel , 2010).

2.3 Marco Contextual-Regional

2.3.1 Breve descripción del Municipio de Ocaña Norte de Santander. Este proyecto está localizado en Ocaña Norte de Santander, municipio fundado el 14 de diciembre de 1950, por el capitán Francisco Fernández de Contreras (Alcaldía Municipal de Ocaña, 2018). Ubicada en la zona occidental sobre la cordillera oriental de Colombia a 8° 14' 15" Latitud Norte y 73° 2' 26" Longitud Oeste, 1 202 msnm (metros sobre el nivel del mar) con temperatura promedio de 22 °C. El municipio cubre una superficie de 460 km², los cuales representan el 2.2% del departamento. La Provincia de Ocaña tiene un área de 8 602 km². Esta tiene una altura máxima de 2 065 msnm y una mínima de 761 msnm. La distancia de referencia se encuentra a 203 km de la ciudad de Cúcuta, y a 299 km de la ciudad de Bucaramanga – Santander, estas distancias son por vías terrestres (Pacheco Carrascala & Vergel Quinterob, 2016). El departamento se delimita de la siguiente manera: por el norte limita con el municipio de Gonzáles (Departamento del Cesar),

por el occidente limita con el municipio de Río de Oro (Departamento del Cesar), por el sur limita con el municipio de San Martín (Departamento del Cesar) y el municipio de Ocaña se delimita de la siguiente manera: límites municipales, por el oriente limita con los municipios de San Calixto, La Playa y Abrego, por el Norte limita con los municipios de Teorama, Convención y El Carmen y por el sur limita con el municipio de Ábrego (Alcaldía Municipal de Ocaña, 2018).

Los aspectos ambientales, económicos y sociales del territorio son pilares fundamentales y de vital importancia para el uso de los recursos naturales, ocupación y aprovechamiento por lo que es necesario entender sus delimitaciones para establecer un marco de referencia para lograr desempeñar un trabajo acorde a las necesidades del territorio. Donde el proyecto en el que se realizara el trabajo de investigación en busca de una alternativa de biorremediación para la reducción de contaminantes en el agua residual implementando cultivos de un consorcio microalgal autóctono de la región, está ubicada en el proyecto de porcinos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

2.3.1 Aspecto geográfico. Se trabajará en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, como se demuestra en la salida grafica 1 y posteriormente se muestra a nivel más detallado el sector del proyecto porcino de la Granja Experimental de la UFPS Ocaña donde se tomarán las muestras de agua residual, en la salida grafica 2.

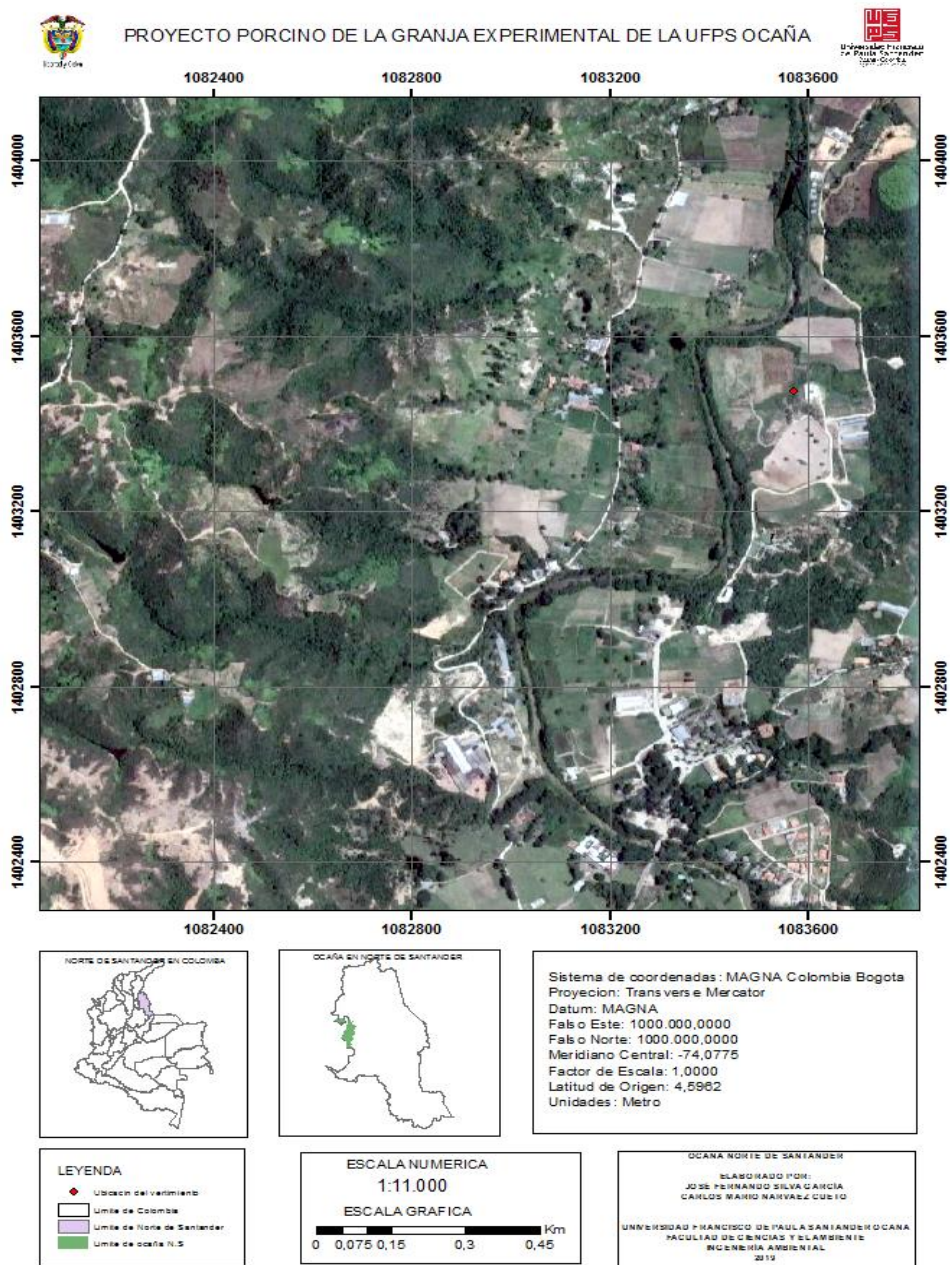


Figura 1. Ubicación de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Fuente: autores

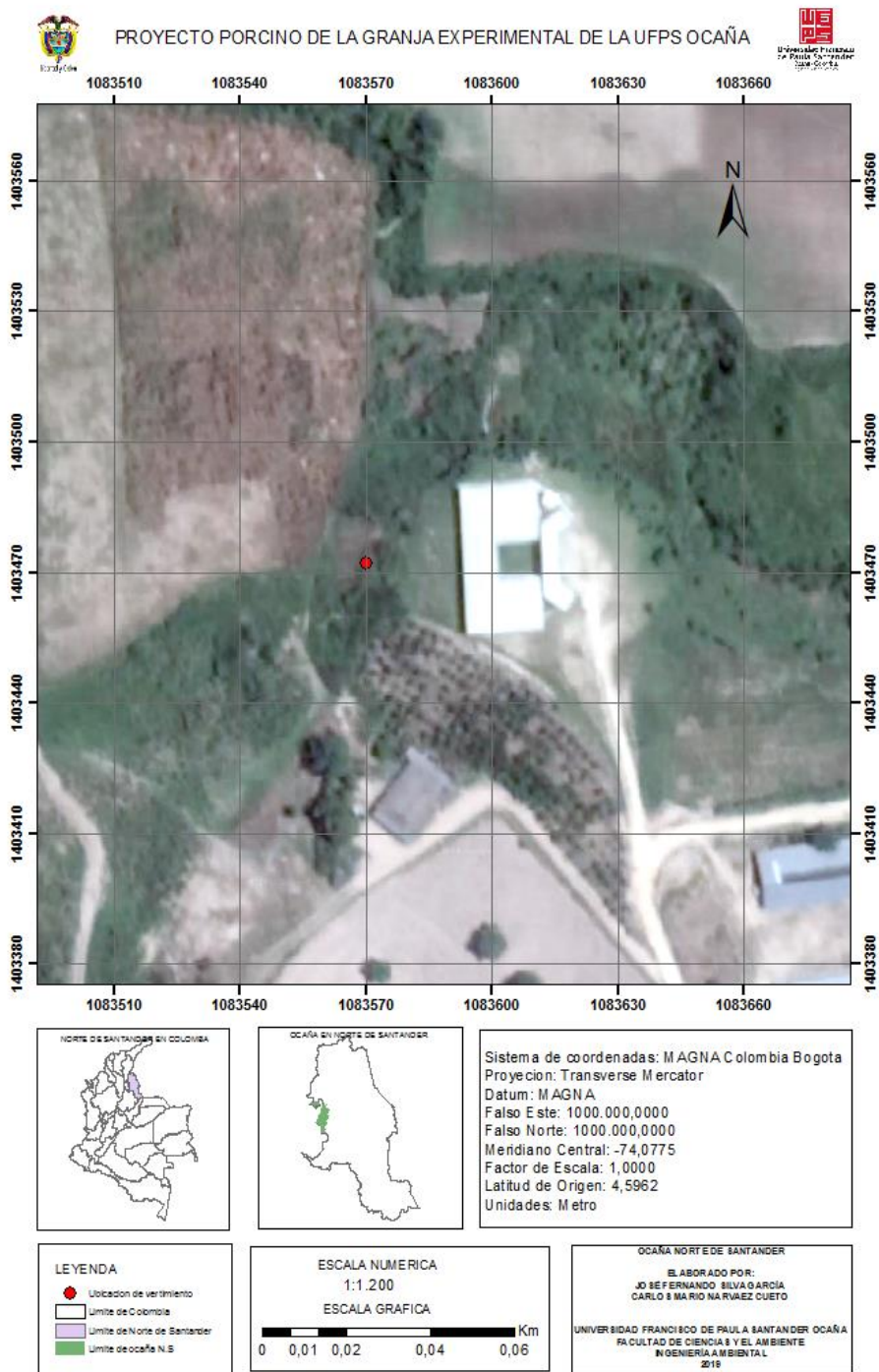


Figura 2. Ubicación del proyecto de la Granja Experimental de la UFPS Ocaña.

Fuente: autores.

2.4 Marco Conceptual

Calidad del agua. Las fuentes de agua superficial son el eje de desarrollo de los seres humanos, sin embargo, estas aguas han sido sometidas a contaminación afectando su calidad, la cual está definida por unos valores fisicoquímicos estándares; los índices de calidad del agua surgen como una herramienta de evaluación del recurso hídrico (Torres, Patiño, & Cruz, 2009).

Biorremediación. Se define como el empleo de organismos vivos para eliminar o neutralizar contaminantes del suelo o del agua, generalmente se emplean mezclas de microorganismos, pero poco a poco se están desarrollando microorganismo, algas y plantas genéticamente modificadas para implementación en biorremediación (Consejo Argentino para la información y el Desarrollo de la Biotecnología, 2007).

Agua Residual. Puede definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de una población después de haber sido modificadas por diversas actividades, es la combinación de residuos líquidos y residuos sólidos transportados por el agua provenientes de residencias, comercio e instituciones, industrias, actividades agrícolas (Lizarazo Becerra & Orjuela Gutierrez, 2013).

Microalgas. Son microorganismos unicelulares eucariotas y fotosintéticos, son esenciales en la producción primaria de la cadena trófica, por lo general tienen un aspecto verde similar a las plantas ya que poseen clorofila-a. Posen un tamaño promedio de entre 5 y 50 μm (Candela Orduz, 2016).

Densidad óptica. Se utiliza normalmente como una medición rápida y no destructiva de la concentración de biomasa en cultivos de bacterias y otros microorganismos unicelulares (Griffiths, Garcin, van Hille, & Harrison, 2011).

Fosfato. El fósforo se considera un elemento esencial para el crecimiento de las plantas y animales, actualmente es considerado un elemento que controla el crecimiento de las algas, el fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales mayormente como fosfatos los cuales se clasifican en orto fosfatos, fosfatos condensados y fosfatos orgánicos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2004). Los compuestos de fosfato que se encuentran en las aguas residuales normalmente provienen de fertilizantes aplicados a los suelos, excreciones humanas y animales, detergentes y productos de limpieza; los fosfatos existen en forma coloidal, disuelta sólida (Putz, 2008).

Demanda bioquímica de oxígeno. Expresa la cantidad de oxígeno requerida para biodegradar la materia orgánica (degradación por microorganismos), este indicador es muy importante para el control en estaciones depuradoras y evaluar el estado de degradación de los vertidos que tengan carga contaminante, el ensayo de DBO que normalmente se hace para determinar concentración de materia orgánica se conoce como DBO_5 el cual tiene un periodo de incubación de 5 días a 20 °C (Santín Torres & Bermeo Castillo, 2010).

Demanda química de oxígeno. Es la estimación de la materia oxidable presente en el agua, se entiende como el volumen requerido de oxígeno para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato (Santín Torres & Bermeo Castillo, 2010)

Sólidos suspendidos. Son principalmente de naturaleza orgánica, producto de desechos humanos, desperdicios de alimentos que forman una masa, se determinan como la cantidad de material retenido después de filtrar un volumen de muestra por un medio filtrante (Argandoña Zambrano & Macías García, 2013).

Sólidos disueltos. Abarca las sales inorgánicas (principalmente calcio, magnesio, potasio y

sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua (Argandoña Zambrano & Macias Garcia, 2013).

Oxígeno Disuelto. Es la cantidad de oxígeno disuelta en el agua, es un indicador de contaminación en un cuerpo de agua; generalmente niveles altos indica mejor calidad del agua y si los niveles de oxígeno disuelto son bajos las formas de vida como peces y otros microorganismos no sobreviven. La cantidad de oxígeno depende de la temperatura; en aguas frías hay mayor cantidad de oxígeno disuelto que en aquellas calientes (Peña Pulla, 2007).

Color. En el agua, el color dependerá tanto de las sustancias que se encuentran disueltas como de las partículas en suspensión, se clasifica como “color verdadero” que depende solo del agua y sustancias disueltas; y “color aparente” que incluye las partículas en suspensión (Goyenola, 2007).

Biomasa. Es la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontaneo o provocado que es utilizado como una fuente de energía; se puede considerar biomasa a la materia orgánica de procesos agrícolas o forestales, también se considera a la materia orgánica de las aguas residuales y lodos de depuradora y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (Asociacion de Empresas de Energias Renovables, 2018).

Espectrofotometría. Método utilizado para medir cuanta luz absorbe una sustancia, midiendo la intensidad de luz, el principio básico es que cada compuesto absorbe o transmite luz sobre cierto rango de longitud de onda (El Espectrofotómetro, 2019).

2.5 Marco Teórico

Biorremediación es un término que se le otorga a cualquier proceso que limpia un ambiente

degradado por contaminantes con el uso de microorganismos u otros organismos similares. El proceso se ha utilizado para muchos propósitos a lo largo de los siglos como la desalinización de tierras agrícolas. Actualmente se le conoce a George M. Robinson como la primera persona en utilizar la biorremediación para resolver un problema ambiental importante. En 1968, aplicó con éxito su mezcla microbiana en un derrame de petróleo comercial, lo que se considera el primer uso a gran escala de la biorremediación (Thackery & Harris, 2018). Igualmente se estipula que; como rama de la biotecnología, la biorremediación utiliza organismos vivos o procesos ecológicos para tratar algún problema ambiental. La aplicación más común de la biorremediación se ve en el rompimiento celular por actividad metabólica o la absorción de elementos químicos tóxicos antes o después de que hayan sido descargados al medio ambiente. La ingeniería se aplica en el hecho que algunos organismos requieren o utilizan químicos tóxicos como sustratos metabólicos, convirtiéndolos en compuestos más simples y menos tóxicos. La biorremediación es una tecnología que tiene un horizonte amplio por explorar ya que es relativamente nueva y en desarrollo activo.

El desarrollo de nuevas tecnologías al cuidado medioambiental, reutilización de residuos y generación de energías limpias, los cultivos de microalgas han adquirido un papel importante al ser considerados eco-amigables, ya que reciclan eficientemente contaminantes desde medios líquidos y gaseosos incorporándolos a su metabolismo para producción de biomasa (Hernandez-Perez & I. Labbé, 2014).

Las microalgas en un cultivo para biorremediación deben cumplir tres condiciones: alta tasa de crecimiento, alta tolerancia a las variaciones estacionales si es sistema abierto y buena capacidad de formar agregados; los géneros *Chlorella*, *Ankistrodesmus*, *Scenedesmus*, *Golenkinia*, *Phormidium*, *Botryococcus*, *Spirulina*, *Nitzschia*, *Navicula* y *Stigeoclonium* tienen

registros de aplicación en aguas residuales (Hernandez-Perez & I. Labbé, 2014).

2.5.1 Factores y condiciones de crecimiento en microalgas.

2.5.1.1 Medio de cultivo. “El medio de cultivo es una disolución acuosa que transporta los nutrientes inorgánicos que necesitan las microalgas para su crecimiento” (Fernandez Sevilla, 2014). El medio de agua dulce que se utiliza para cultivar microalgas *Chlorella* es el Bold’s Basal Medium (BBM) [Medio Basal Bold], cuya receta emplea un volumen de 936 ml de H₂O destilada sobre el cual se agregan 10 ml de las primeras seis soluciones de macronutrientes y 1 ml de cada una de las soluciones de micro nutrientes (solución de EDTA alcalino, hierro acidificado, boro y metales traza) como se puede observar en la Tabla 1. Una vez preparado, se lleva a la autoclave; el pH final deberá ser de 6.6 (Andersen, 2005).

Tabla 1*Medio desarrollado para cultivar Chlorella*

Componente	Solución stock (g/L)	Cantidad usada (mL)	Concentración final
Macronutrientes			
NaNO ₃	25	10	2,94x10 ⁻³
CaCl ₂ ·2H ₂ O	2,5	10	1,70x10 ⁻⁴
MgSO ₄ ·7H ₂ O	7,5	10	3,04x10 ⁻⁴
K ₂ HPO ₄	7,5	10	4,31x10 ⁻⁴
KH ₂ PO ₄	17,5	10	1,29x10 ⁻³
NaCl	2,5	10	4,20x10 ⁻⁴
Solución EDTA alcalina		1	
EDTA	50		1,71x10 ⁻⁴
KOH	31		5,53x10 ⁻⁴
Solución de hierro acidificada		1	
FeSO ₄ ·7H ₂ O	4,98		1,79x10 ⁻⁵
H ₂ SO ₄		1	
Solución de boro		1	
H ₃ BO ₃	11,42		1,85x10 ⁻⁴
Solución de metales traza		1	
ZnSO ₄ ·4H ₂ O	8,82		3,07x10 ⁻⁵
MnCl ₂ ·4H ₂ O	1,44		7,28x10 ⁻⁶
MoO ₃	0,71		4,93x10 ⁻⁶
CuSO ₄ ·5H ₂ O	1,57		6,29x10 ⁻⁶
Co(NO ₃) ₂ ·6 H ₂ O	0,49		1,68x10 ⁻⁶

Nota: tomado de Andersen (2005).

2.5.1.2 Medición del crecimiento microalgal. La densidad óptica (DO), también conocida como absorbancia o turbidez, se utiliza frecuentemente como una medición rápida y no destructiva de la biomasa en cultivos de bacterias y otros microorganismos. La cantidad de luz absorbida por una suspensión de células puede estar relacionada directamente a la masa celular o número de células (Griffiths, Garcin, van Hille, & Harrison, 2011). Se determina el crecimiento por espectrometría escogiendo la longitud de onda que permite el menor rango de error a la hora de tomar el dato de la muestra.

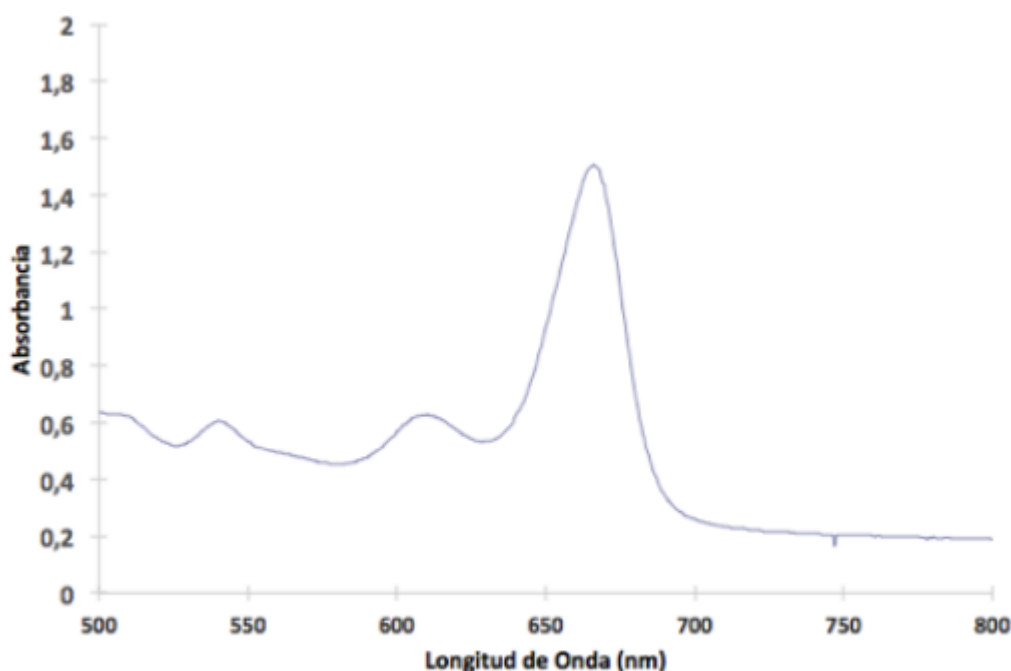


Figura 3. Longitud de onda por absorbancia de clorofila (Diaz Uribe, Vallejo Lozada, Cantillo Guzman, Alvis Padilla, & Fajardo Rangel, 2018).

La absorbancia a 680 y 750 nm las cuales son normalmente empleadas para medir masa microalgal y de menos incidencia de la pigmentación de las microalgas, son evaluadas en el estudio echo por Griffiths, Garcin, van Hille & Harrison en 2011 para determinar cuál de las

dos longitudes onda tiene un menor error. Se llega a la conclusión de que la afectación por el contenido de pigmento es menor en la longitud de 750 nm que la de 680nm según la tabla de resultado ilustrada a continuación: (Griffiths, Garcin, van Hille, & Harrison, 2011).

Tabla 2

Valoración de longitudes con mejor resultados a 680 y 750 nm

Utilizando la curva estándar generada	<i>Scenedesmus</i> Cra. Error 680 nm (%)		<i>Spirulina</i> Cra. Error 750 nm (%)		<i>Spirulina</i> Cra. Error 750 nm (%)	
	680 nm	750 nm	680 nm	750 nm	680 nm	750 nm
Día 3	15	5	13	14	19	7
Día 7	14	7	16	16	10	5
Día 10	11	7	13	7	10	8
Día 14	15	8	13	8	10	7
Bajo pigmento 14	48	22	38	21	24	8
Con el ciclo de crecimiento	11	5	14	8	10	5

Nota: Tomada de Griffiths M. J, Garcin, van Hille & Harrison (2011).

En la tabla 3 se observa menor porcentaje de error (6%) en absorbancia de 750 nm, mientras tanto en la absorbancia 650 nm que el porcentaje de error es mayor (9%) entre los días 7 aproximadamente.

Tabla 3

Porcentaje de error en absorbancia en 650nm y 750nm en el ciclo de vida de la C. vulgaris

Utilizando la curva estándar generada	Cra. Error 680 nm (%)	Max. Error 680 nm (%)	Cra. Error 750 nm (%)	Max. Error 750 nm (%)
Día 3	11	21 (día 13)	6	10 (día 12)
Día 7	9	19 (día 13)	5	7 (día 12)
Día 10	9	18 (día 3)	6	9 (día 3)
Día 14	18	34 (día 3)	13	21 (día 8)
CVL día 14	52	74 (día 3)	25	31 (día 3)
Con el ciclo de crecimiento	8	15 (día 3)	4	6 (día 12)

Nota: Tomada de Griffiths M. J, Garcin, van Hille & Harrison (2011).

2.5.1.3 Luz. Uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta, los organismos fotosintéticos solo emplean la fracción del espectro de luz solar entre los 350 y 700 nm, esta fracción es activa y supone un 40% de la radiación solar total; las algas se adaptan a los cambios de luz variando el contenido de clorofila de sus células, de modo que las algas adaptadas a bajas intensidades lumínicas tienen más clorofila (Ruiz Martinez, 2011).

2.5.1.4 Nutrientes. Las microalgas emplean como fuente de carbono el CO₂ presente en la atmosfera, así como iones de bicarbonato (HCO₃⁻) con la ayuda de una enzima llamada anhidrasa carbónica (Ruiz Martinez, 2011). El nitrógeno es el nutriente más importante para las microalgas (después del carbono) y es incorporado como nitrato (NO₃⁻) o como amonio (NH₄⁺), el fosforo también es fundamental para muchos procesos celulares como la formación de ácidos nucleicos y transferencia de energía, aunque el contenido de fosforo de las microalgas es menor al 1% (Hernandez-Perez & I. Labbé, 2014).

2.5.1.5 Temperatura. La producción algal es proporcional al aumento de la temperatura,

hasta llegar a la temperatura óptima de cada especie; temperaturas inferiores a 16°C ralentizan el crecimiento, mientras que superior a 35°C es letal para algunas especies; a una temperatura promedio de 28°C se han observado crecimientos óptimos (Mera Proaño, 2015).

2.5.1.6 pH. Está influenciado por factores como la productividad, la respiración, la alcalinidad, actividad microbiana autótrofa y heterótrofa y la adición de CO₂, cada especie necesita un rango optimo siendo el más indicado pH 8, por debajo de este, se presenta un descenso de la productividad y la capacidad de remover nitrógeno en sistemas de tratamiento de aguas (Hernandez-Perez & I. Labbé, 2014).

2.5.1.7 Oxígeno. En altas concentraciones puede inhibir la fijación de carbono, muchas microalgas no tienen la capacidad de desarrollarse en medios sobresaturados de oxígeno (Ruiz Martinez, 2011).

2.6 Marco Legal

Existen muchas normas en la legislación colombiana e internacional que se pueden aplicar al proyecto, pero solo se presentara unas de las más relevantes o mayor soporte a proyecto como son:

Constitución Política de la República de Colombia de (1991). Según el artículo 79 por el cual se dicta que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.

Como máximo documento de prioridad atención donde sus órdenes deben ser acatadas y respetadas se tiene como principal documento para el desarrollo de la actual investigación.

Ley 99 de (1993). Artículo 49: La Secretaría Mayor de la Alcaldía de Bogotá, 1993, estable

para la ejecución de obras, el establecimiento de industrias o el desarrollo de cualquier actividad que pueda producir deterioro a los recursos naturales es obligatorio poseer licencia ambiental. Artículos 79, 89 y 958. Establece que es la obligación del Estado de proteger la diversidad del ambiente, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental. Establece que es derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano, el deber de los ciudadanos de proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación del ambiente.

Este marco legal soporta la problemática presentada en el proyecto abarcando tratamiento de aguas residuales, procedimientos a seguir en el uso del recurso hídrico, parámetros a seguir para reportar y mantener bajo ciertos estándares la contaminación generado.

Decreto 1541 de (1978). Mediante este decreto se prohíbe a toda persona natural o jurídica verter sin tratamiento residuos sólidos, líquidos o gaseosas en cantidades que puedan contaminar los efluentes naturales afectando la fauna, flora y represente un peligro para la población humana.

Por lo anterior este proyecto abarca temas de tratamiento y disposición final de aguas residuales por tal motivo el decreto es de absoluta importancia.

Resolución 0631 de (2015). Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Esta resolución es de base fundamental para determinar los valores que son permisibles al ambiente y que se tienen que tener en cuenta en el desarrollo del proyecto.

Resolución 1433 de (2004). Artículo 1: Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos,

PSMV). Es el conjunto de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos, incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial, los cuales deberán estar articulados.

Esto se llevará a cabo con los objetivos y las metas de calidad y uso que defina la autoridad ambiental competente para la corriente tramo o cuerpo de agua. El PSMV será aprobado por la autoridad ambiental competente ya que son las encargadas de otorgar estos respectivos permisos.

Guía Ambiental para el Subsector Porcícola (2002): Creada en el marco de la Política Nacional Ambiental con el propósito de crear buenas prácticas ambientales, la sostenibilidad ambiental y la competitividad empresarial, es un instrumento de control para las autoridades ambientales y una guía de manejo para los productores en el subsector, gran importancia en el manejo de los residuos líquidos provenientes de la actividad.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

3.1.1 Explicativos. “Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales” (Hernández Sampieri, 2014). Los estudios explicativos en la ciencia tratan de abordar la dependencia de causa efecto, con el principio de causalidad que hace que los investigadores mejoren las posibles causas que pueden ser considerada contribuyente a esta relación dando a nuestra investigación la mejor opción de abordar el proyecto para su ejecución y puesta en marcha.

3.1.2 Experimentales. Bajo los diseños experimentales existen varios tipos de investigaciones dentro de las cuales están la experimental, y es la que mejor identifica el ensayo presentado. Los estudios experimentales destacan las pruebas estadísticas por su utilidad en el análisis de datos categóricos, la ordenación de datos para conocer preferencias, el análisis factorial confirmativo de los estudios correspondientes. (Ruiz de Maya & López). Estos autores indican de igual manera que tomando como ejemplo un experimento simple, vemos una serie temporal donde una o más mediciones se toman de todos los objetos de estudio antes y después de ser intervenidos. Un ejemplo especial de la serie de tiempo es el diseño de sujeto único, donde se implementa mediciones de forma repetida (por ejemplo, 10 veces) antes y después de una intervención. Comprendiendo que el ensayo trata con variables en torno a la descontaminación de efluentes, se tendrían variables dependientes e independientes a evaluar o establecer. Por esta razón el tipo de investigación tendría que ser experimental. Las microalgas, su concentración

y las condiciones de cultivo son variables para tener en cuenta.

3.1.3 Experimento puro. Dentro de la estructura experimental en tipos de investigación se toma la experimentación pura, a ser aplicada a este ensayo. Un experimento puro es un tipo de diseño experimental y se cree que es el tipo más preciso de investigación experimental. La razón sería porque, por medio de análisis estadísticos, un experimento puro respalda o refuta una hipótesis. También se cree que un experimento puro es el único diseño experimental que puede establecer relaciones de causa y efecto (Ruiz de Maya & López).

La razón por la cual este ensayo requiere de un experimento puro es que tiene variables que necesitan ser controladas y aisladas para obtener un fin. Las microalgas necesitan un medio controlado para que la única variable que cambie sea la contaminación del agua residual. Es de vital importancia para el ensayo poder controlar el ambiente y los organismos para que estos no alteren los resultados.

3.2 Población y Muestra

La población es el agua residual producto del efluente del biodigestor perteneciente al proyecto porcino de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y se tomará muestras para determinar procesos de biorremediación con microalgas.

3.3 Técnicas e Instrumentos de recolección de información

3.3.1 Material biológico. Recolección de cepas de microalgas nativas de la región y muestras de agua residual.

3.3.2 Material de vidrio. Se necesitan botellas de vidrio cilíndricas, aireadores, probeta y vasos precipitados.

3.3.3 Reactivos

3.3.3.1 Reactivos químicos para preparación del medio. Medio de cultivo Bold's Basal Medium (BBM) [Medio Basal Bold] (Andersen, 2005), cuya composición en g/L es: NaNO_3 (25), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (2,5), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (7,5), K_2HPO_4 (7,5), KH_2PO_4 (17,5), NaCl (2,5), solución alcalina de EDTA (50), KOH (31), solución de hierro acidificado $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (4,98), solución de Boro H_3BO_3 (11,42), solución de metales traza $\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (8,82), $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (1,44), MoO_3 (0,71), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (1,57), $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,49).

3.3.3.2 Reactivos para la identificación de parámetros. Reactivos requeridos según el Standard Methods (2005): solución digestora, ácido sulfúrico, hidróxido de sodio, reactivo para nitrato, reactivo para nitrito, reactivo para fosfato, reactivo Nessler, estabilizador mineral, alcohol polivinílico (Eaton, Clescer, Rice, Greenberg, & Franson, 2005).

3.3.3.3 Material plástico. Se utiliza puntas de micropipeta, manguera siliconada, conectores siliconados.

3.3.3.4 Material mecánico. Se utiliza motores aireadores, luz fluorescente, temporizador, regleta y Auto clave.

3.4 Metodología

La metodología utilizada es cuantitativa de interpretación de datos arrojados en el proceso experimental.

3.4.1 Parte de cinco fases principales.

3.4.1.1 Selección de condiciones de cultivo. La extracción del consorcio microalgal se

realizara en el estanque ubicado en jardín botánico Jorge Enrique Quintero Arenas del campus de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña; la extracción de las cepas se ha escogido con el criterio de observación microscópica en el laboratorio, arrojando resultados de presencia de especies microalgales con dominancia de la *Chlorella* y *Scenedesmus*, por esta observación obtenida se elige el medio de cultivo “Bold’s Basal Medium (BBM)” [Medio Basal Bold] (Andersen, 2005), se realizara una adecuación en botellas cilíndricas (volumen máximo de 700 mL) con dimensiones de uso de 11 cm de altura y diámetro de 7,5 cm.

La luz es un factor importante en la producción de microalgas, la calidad, intensidad y duración, la radiación solar es la fuente más eficiente y de mayor disponibilidad (Novoveská, Zapata, Zabolotney, Atwood, & Sundstrom, 2016) debido a esto se adecuara lámparas con generación de luz fotovoltaica y ciclo de luz-oscuridad 12:12 horas para semejar condiciones naturales.

La aplicación de aireación es importante según se ha observado, porque permite mantener un movimiento y agitación uniforme en todo el volumen de reactor, no permite la sedimentación de algas y con ello la ineficiencia de remoción, además facilita la transferencia de oxígeno (O_2) y dióxido de carbono (CO_2) atmosférico a las condiciones de cultivo (Arango Muñoz, Liz, 2015), los reactores se acoplaran a un sistema de aireación permanente por burbujeo para la inyección de aire, sin ningún suministro complementario de CO_2 .

3.4.1.2 Seguimiento de los cultivos. Estabilizado los cultivos, se realizara seguimiento diario de crecimiento poblacional con el equipo espectrofotómetro UV-Visible a una longitud de onda de 750nm debido que en la región de absorción de clorofila alfa, beta y carotenoides se obtienen las mayores intensidades, sin embargo se ha encontrado que estas regiones el error de la

estimación de la densidad celular es también mayor debido a las variaciones en el contenido de pigmentos en la células, por lo que se recomienda para medición de biomasa en microalgas una longitud de onda entre los 680-750 nm (Griffiths, Garcin, van Hille, & Harrison, 2011).

Se debe determinar una correlación entre el peso seco y crecimiento.

3.4.1.3 Análisis de aguas residuales y determinación de condiciones. El agua residual a tratar proviene del proyecto porcino de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, específicamente la muestra de análisis será tomada del lixiviado generado después del paso por un biodigestor.

Los análisis fisicoquímicos del agua residual se realizarán en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña; los métodos empleados de análisis se determinan a partir de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21^a Edition 2005, Asociación Americana de Salud Pública (APHA), Asociación Americana de trabajos por el Agua (AWWA), Foro Económico Mundial (WEF).

Tabla 4

Métodos normativos de análisis físicos químicos

Parámetro	Método Normativo
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	SM 5210-B
Demanda Química de Oxígeno DQO	SM 5220-C
Fosfatos	SM 4500-P-D
Nitratos	SM 4500-NO ₃ -B
Nitritos	SM 4500-NO ₂ -B
Nitrógeno Amoniacal	SM 4500-NH ₃ -A
Oxígeno Disuelto	SM 4500-O-G
Color	SM 2120-C
Solidos Disueltos Totales	SM 2540-D
Solidos Suspendidos Totales	SM 2540-D
pH	SM 4500-H ⁺ -B

Nota: Tomado de Eaton, Clescer, Rice, Greenberg, & Franson (2005).

Se realizarán pruebas preliminares para verificar que el crecimiento microalgal es apto o si las altas concentraciones de nutrientes permiten su crecimiento, se definirá si se hace o no un tratamiento previo como dilución o esterilización.

Se realizarán ensayos y pruebas manejando las siguientes variables: pretratamiento, tiempo, aireación, concentración, luz.

3.4.1.4 Implementación experimental: Se seleccionarán las dos variables de mayor significancia, mediante un análisis de varianza lo que nos permitirá implementar un diseño experimental factorial completo 3^2 con interacciones y tratamientos por duplicado.

3.4.1.5 Análisis de Información. Como paso final se analizan las aguas residuales inoculadas al transcurrir el tiempo de montaje, para su tabulación de datos estadísticos y comparaciones entre resultados obtenidos en otras aplicaciones rigiéndonos a la normatividad legal vigente.

Capítulo 4. Administración del Proyecto

4.1 Recursos Humanos

Carlos Mario Narvaez Cueto (investigador)

José Fernando Silva García (investigador)

Msc. Luis Carlos Fonseca Herreño (Director del proyecto).

Msc. Diana Milena Valdés Solano (Asesora).

4.2 Recursos Institucionales

Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

- Equipos de laboratorio
- Equipos de computo
- Papelería

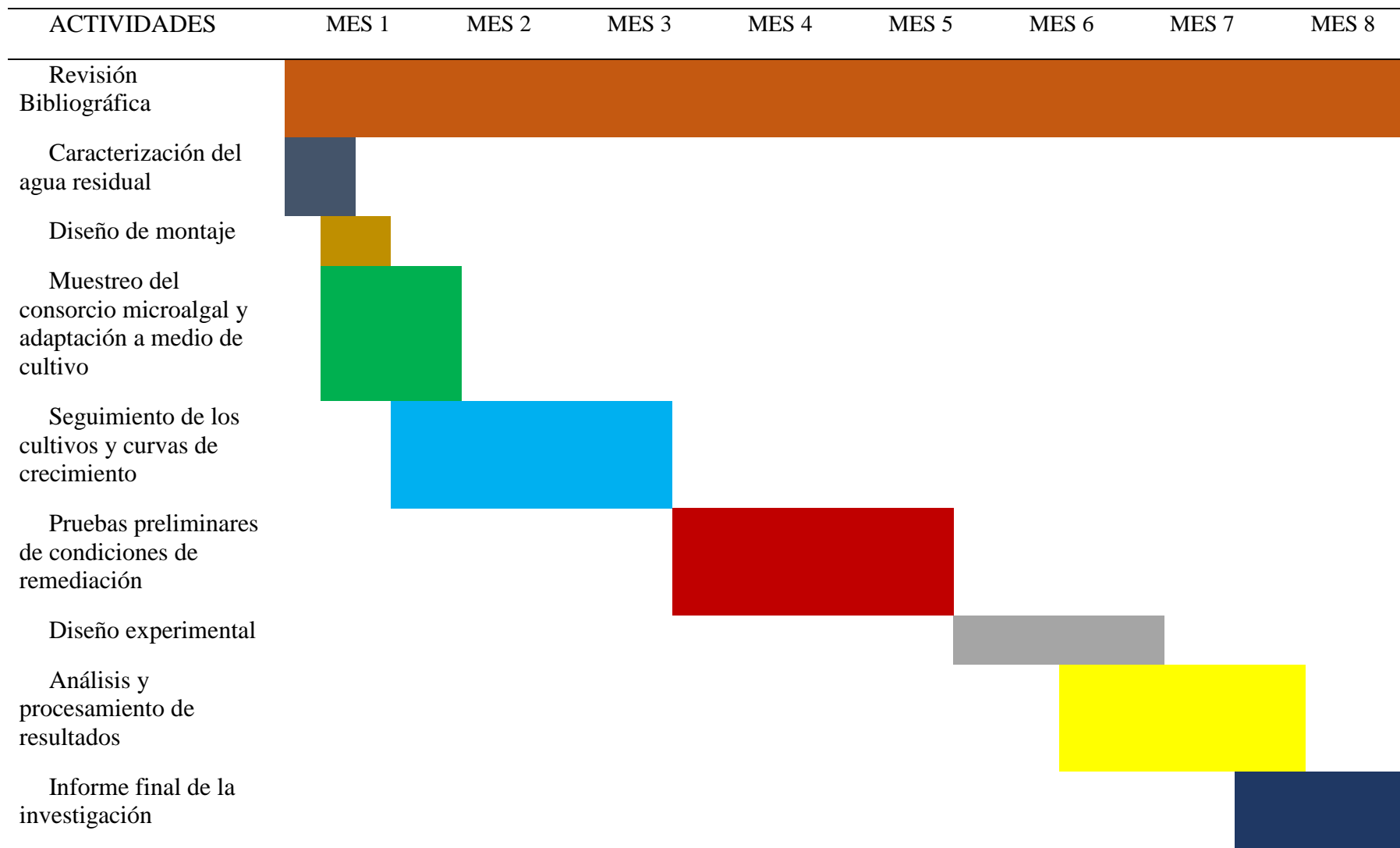
4.3 Recursos Financieros

Tabla 5

Presupuesto general del proyecto

I. Gastos De Inversión	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	Total, Proyecto
1. Gastos de personal				
1.1. Director o coordinador del proyecto	32	Hora	50.000	1'600.000
1.2. Investigadores	8	Mes	3'000.000	24'000.000
Subtotal de gastos de personal				25'600.000
2. Gastos Generales				
2.1. Papelería y útiles de escritorio	-	-	-	200.000
2.2. Tecnológico (computador)	640	Hora	1.200	768.000
2.3. Viáticos y gastos de viaje	160	Viaje	6.000	960.000
Subtotal de Gastos Generales				1'928.000
3. Uso de equipos				
Equipos UFPSO	4	Equipo	-	-
Subtotal de equipos				-
3. Insumos				
3.1. Reactivos	19	Unidad		2'942.000
3.2. Montaje	1	Unidad	-	503.000
Subtotal de insumo				3'445.000
TOTAL				30'973.000

Fuente autor.

Tabla 6*Actividades para la ejecución de proyecto**Fuente: autor.*

Capítulo 5. Resultados

5.1 Selección de condiciones de cultivo

La extracción del consorcio microalgal se realizó en el estanque de riego ubicado en jardín botánico Jorge Enrique Quintero Arenas del campus de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

En la ilustración 4 se evidencia la imagen y ubicación donde se realizó la extracción de las cepas.



Figura 4. Estanque de almacenamiento del jardín botánico Jorge Enrique Quintero Arenas del campus de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña con coordenadas Lat. 8,238396 y Long. -73,319188.

La extracción de las cepas se escogió con el criterio de observación microscópica en el laboratorio, arrojando resultados de presencia de especies microalgales con dominancia de la *Chlorella* y *Scenedesmus*, evidenciadas en las ilustraciones 5 y 6.



Figura 5. Scenedesmus quadricauda.

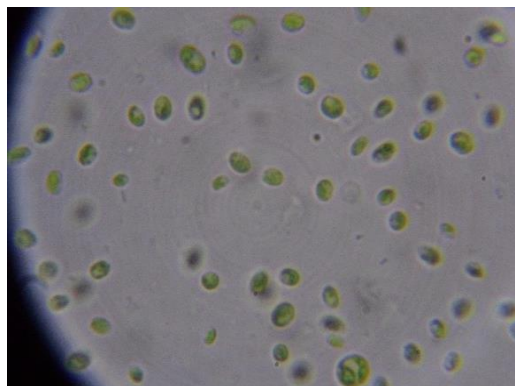


Figura 6. Chlorella.



Figura 7. Montaje piloto para producción del cultivo microalgal y tratamiento de aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO.

El montaje piloto observado en la ilustración 7 consta de: botellas de vidrio cilíndricas para los reactores (volumen máximo 700 ml), luz artificial con lámparas de luz led de eficacia luminosa de 1400 LM, aireación con bombas de aire con una presión mayor a 0,012 Mpa, temperatura registrada con un termo higrómetro digital entre los 22-26 C°.

5.2 Seguimiento de los cultivos

5.2.1 Datos recolectados del crecimiento microalgal de las muestras.

Tabla 7

Seguimiento y control del crecimiento del consorcio microalgal

Cultivo microalgal	Densidad óptica medidas por días									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,036	0,044	0,128	0,308	0,628	1,024	1,268	1,784	2,144	2,28
2	0,02	0,072	0,292	0,544	0,948	1,248	1,556	1,576	1,54	1,508
3	0,036	0,096	0,292	0,544	0,796	1,072	1,308	1,06	1,084	1,036
4	0,024	0,06	0,208	0,468	0,776	1,096	1,48	1,596	1,348	1,264
5	0,036	0,052	0,148	0,516	0,864	1,156	1,42	1,312	1,084	1,008
6	0,04	0,056	0,188	0,456	0,704	1,032	1,284	0,984	0,848	0,512
7	0,016	0,076	0,18	0,464	0,772	1,22	1,448	1,396	1,14	1,364
8	0,016	0,056	0,164	0,516	0,856	1,14	1,308	1,288	1,404	1,18
9	0,024	0,06	0,092	0,28	0,532	0,916	0,908	0,756	0,54	0,312
10	0,02	0,044	0,104	0,364	0,616	0,976	1,36	1,352	1,552	1,956
11	0,024	0,036	0,12	0,36	0,624	1,088	1,252	1,508	1,708	1,568
12	0,02	0,104	0,26	0,52	0,72	1,176	1,44	1,624	2,264	2,056
13	0,024	0,072	0,18	0,48	0,66	0,988	1,244	1,532	1,7	1,8
14	0,04	0,084	0,188	0,372	0,656	1,09	1,208	1,204	1,208	1,14
Promedio	0,027	0,065	0,182	0,442	0,725	1,087	1,32	1,355	1,397	1,356
Error típico	0,002	0,005	0,017	0,024	0,031	0,025	0,042	0,075	0,126	0,15
Desviación estándar	0,009	0,02	0,064	0,089	0,116	0,095	0,157	0,282	0,471	0,56
Varianza de la muestra	8,00E-05	4,00E-04	0,004	0,008	0,013	0,009	0,025	0,079	0,221	0,314
Nivel de confianza (95%)	0,005	0,012	0,037	0,051	0,067	0,055	0,091	0,163	0,272	0,323

Fuente autor.

5.2.2 Representación gráfica del crecimiento del consorcio microalgal.

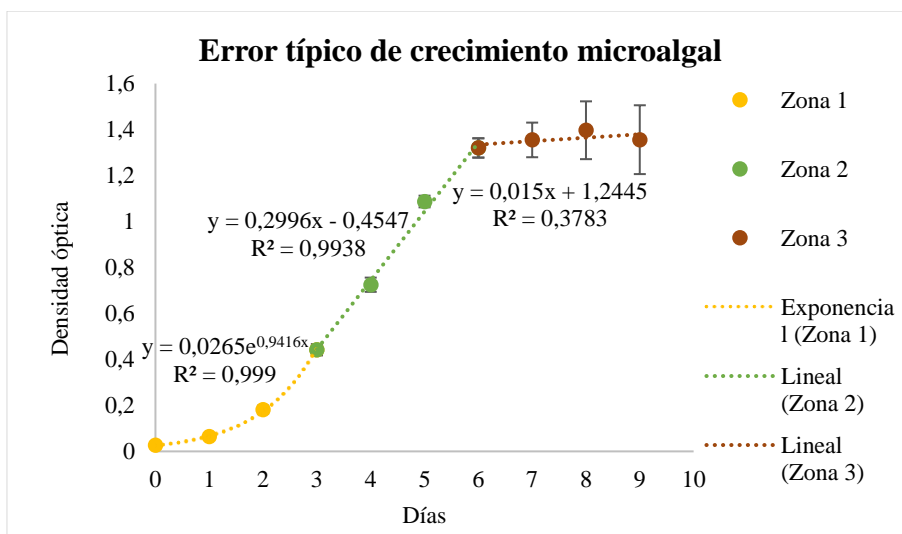


Figura 8. Tendencia ajustada de crecimiento del consorcio microalgal.

La zona demarcada de color, representa la ecuación, el coeficiente de correlación R^2 y las barras de error típico por zonas, donde; el R^2 cuantifica el porcentaje de variación y se desea resultados aproximados a 1 que mejor se ajuste a la tendencia de crecimiento microalgal identificadas por zona 1 (tendencia exponencial con ajuste deseado del R^2 de 0,999), zona 2 (tendencia lineal con ajuste deseado del R^2 de 0,9938) y zona 3 (tendencia lineal con ajuste oscilante por ser zona estacionaria con mucha variación de los datos dando como resultado el R^2 de 0,3783). Diseño alimentado con medio de cultivo Bold's Basal Medium (BBM) [Medio Basal Bold] y con generación de luz fotovoltaica de ciclo de luz-oscuridad 12:12 horas semejando condiciones naturales.

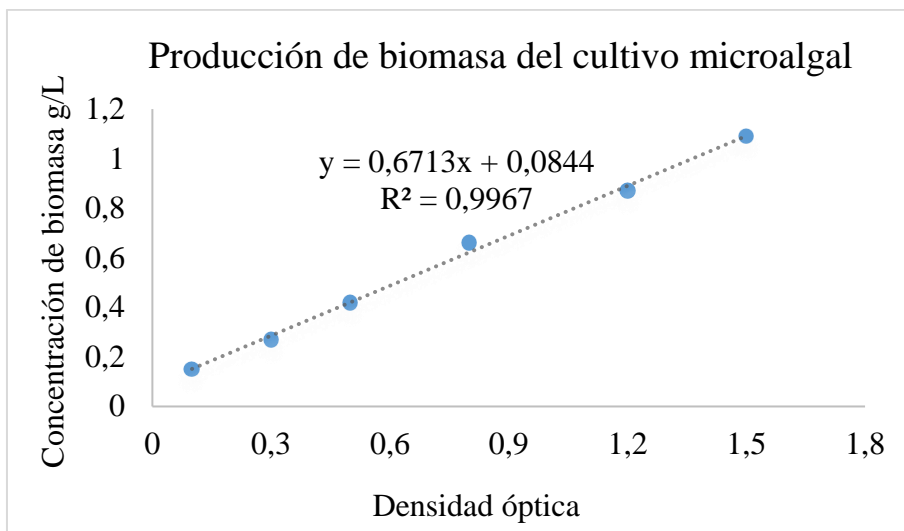


Figura 9. Correlación entre peso seco (concentración de biomasa g/L) y crecimiento microalgal medido con densidad óptica a 750 nm.

5.3 Análisis de aguas residuales y determinación de condiciones

5.3.1 Análisis previos del agua residual del proyecto porcino de la UFPSO. Las muestras tomadas del efluente del proyecto porcino recibieron un pretratamiento el cual consistía en una sedimentación de 24 horas para eliminar la mayor cantidad de sólidos y sustancias de gran tamaño; se tomaron 3 muestras del mismo punto de vertimiento.

Tabla 8*Parámetros fisicoquímicos previos del agua residual*

Parámetro	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
pH	s.u	7,31	7,5	7,99
DQO	mg/L	>1500	1109	1080
DBO ₅	mg/L	1750	780	864
Nitrógeno amoniacal	mg/L	34	23,9	21,3
Nitratos	mg/L	3256	1408	1352,6
Nitritos	mg/L	7,26	3,465	2,749
Fosfatos	mg/L	12,1	10,3	10,9
Color	UptCo	9490	6490	5122
SST	mg/L	1340	1820	1760
SDT	mg/L	1600	3460	2150
Oxígeno Disuelto	mg/L	0,04	0,06	0,02

Fuente autor.

La tabla 8 permite observar los parámetros fisicoquímicos previos del agua residual teniendo como resultado unos valores por encima de los admisibles en la normatividad ambiental, específicamente en la resolución 0631 del 2015, donde se estipulan los valores máximos permisibles de vertimientos en el sector de ganadería de porcinos, principalmente en parámetros de DBO₅ donde el valor máximo para cría y beneficio es de 450,000 mg/L O₂, DQO donde el valor máximo para cría y beneficio es de 800-900 mg/L O₂ y los SST no deben exceder el valor máximo de 400 mg/L.

Adicionalmente se realizó una identificación inicial de microorganismos presentes en el

agua residual, teniendo como resultado la presencia de los siguientes microorganismos: *Salmonella* sp., *Shigella*, *Pseudomona*, *Escherichia coli*, coliformes totales y aerobios mesofilos, mostradas en las ilustraciones 10.

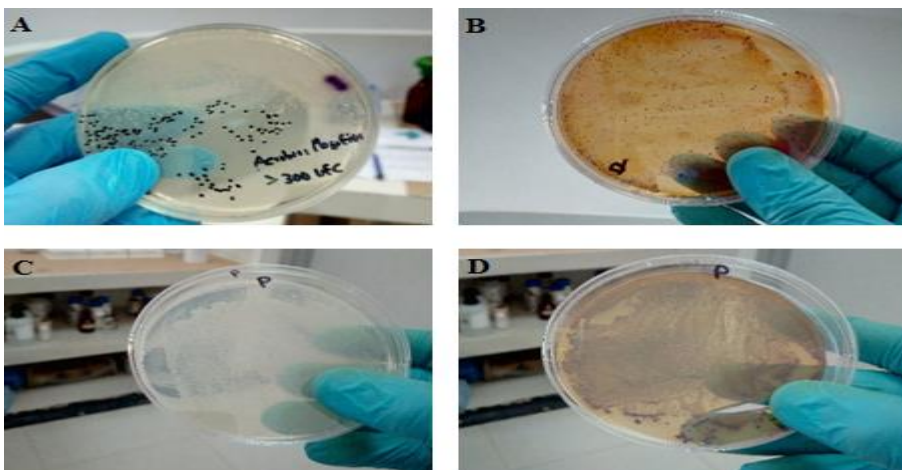


Figura 10. A (Aerobio mesófilos), B (*Salmonella*, *Shigella*), C (*Pseudomona*) y D (*Escherichia coli*, coliformes totales).

5.3.2 Determinación de condiciones y selección de factores para el diseño experimental.

5.3.2.1 Pruebas preliminares de crecimiento microalgal en agua residual. Un ensayo previo realizado para determinar la capacidad de respuesta y tolerancia del consorcio microalgal en aguas residuales se muestra en la ilustración 16. Se inoculó la concentración de consorcio microalgal al 0,2 g/L en una muestra de agua residual con su réplica y blanco de testigo tomada del proyecto porcino de la UFPSO por un tiempo de seguimiento de 14 días.

El consorcio microalgal tiende a decaer su crecimiento sin respuesta de adaptación al medio, debido a la alta turbiedad del agua residual por presencia de materia orgánica e inorgánica que reduce el paso de la luz, factor importante para; la producción fotosintética del consorcio microalgal (Pérez Garía, 2009). Por otra parte, se determina que hasta el día 8 se tiene un

decaimiento máximo del crecimiento microalgal con tendencia a volverse constante.

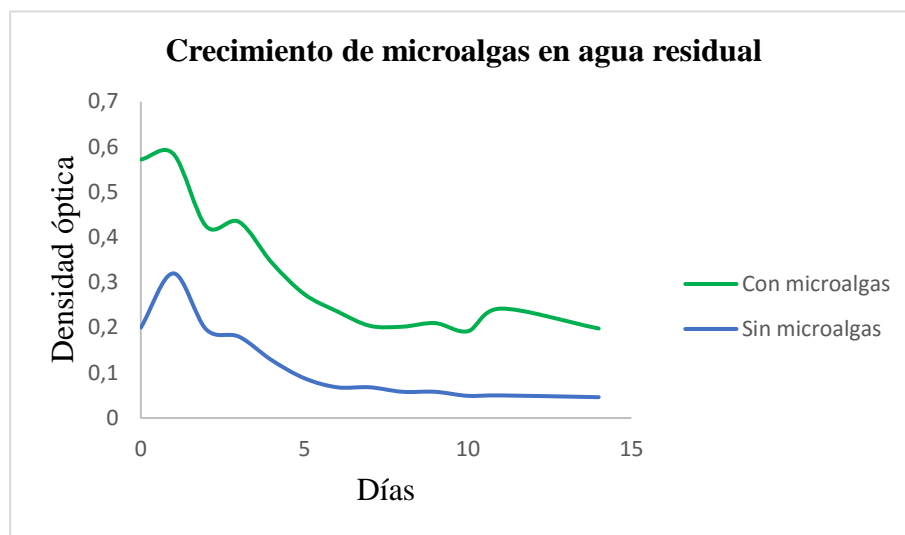


Figura 11. Prueba de crecimiento de microalgas en agua residual del proyecto de porcinos de la UFPSO sin diluir al 100% y concentración de inóculo microalgal del 0,2 g/L (muestra con microalgas) acompañada con un testigo de prueba (muestra sin microalgas).

5.3.2.2 Prueba de dilución y esterilización. En la dilución y esterilización como segunda prueba previa al diseño experimental se implementó la esterilización del agua residual para mejorar el crecimiento del consorcio microalgal y poder evaluar la necesidad de aplicación al diseño; para lo cual se determinó hacer tres diluciones al agua residual con agua destilada al (50, 30 y 10) % teniendo como referencia la ilustración 11 que nos permite evidenciar la difícil adaptación que tiene el consorcio microalgal en muestras al 100%.

Se determina el tiempo de crecimiento en el agua residual de siete días contados desde el día cero, de esta manera asegurar que el consorcio microalgal metabolice gran porcentaje de la materia orgánica y nutrientes inorgánicos presentes en el agua residual (Arango Muñoz, Liz, 2015).

Con la necesidad de mejorar el medio en el que se van a inocular el consorcio microalgal y facilitar la adaptación de las microalgas, se escoge aumentar la concentración de microalgas al 0,3 g/L y diluir la muestra en tres condiciones antes descritas con el interés de bajar las altas concentraciones de nutrientes contaminantes y de materia orgánica, de esta manera optimizar el paso de la luz al medio que es de vital importancia para que la microalgas cumplan con el proceso fotosintético y acelerar su metabolismo que permite el aumento de crecimiento poblacional.

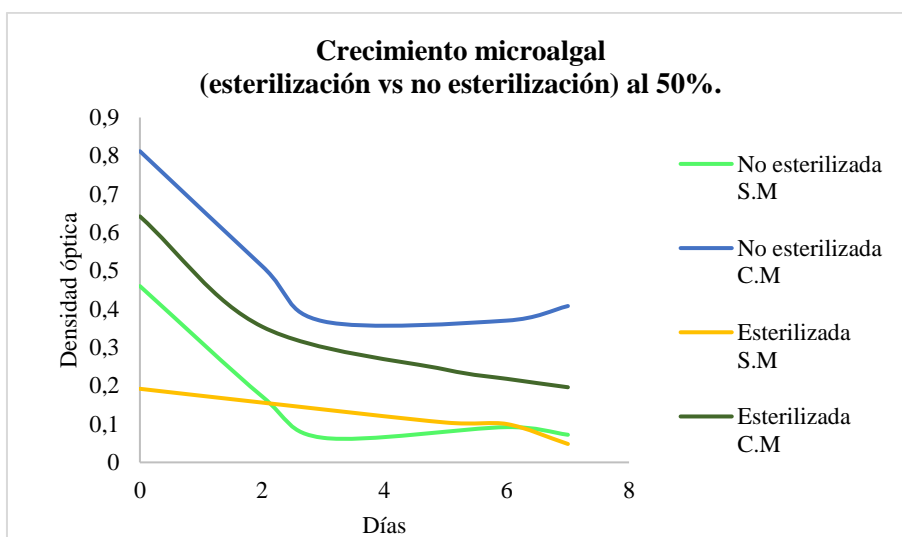


Figura 12. Crecimiento microalgal en muestra esterilizada al 50% con inóculo de microalgas al 0,3 g/L replicadas con microalgas (C.M) acompañadas con un testigo de muestra blanco esterilizada sin microalgas (S.M) versus crecimiento microalgal en muestra no esterilizada 50% con inóculo de microalgas al 0,3 g/L replicadas con microalgas (C.M) acompañadas con un testigo muestra blanco no esterilizada sin microalgas (S.M).

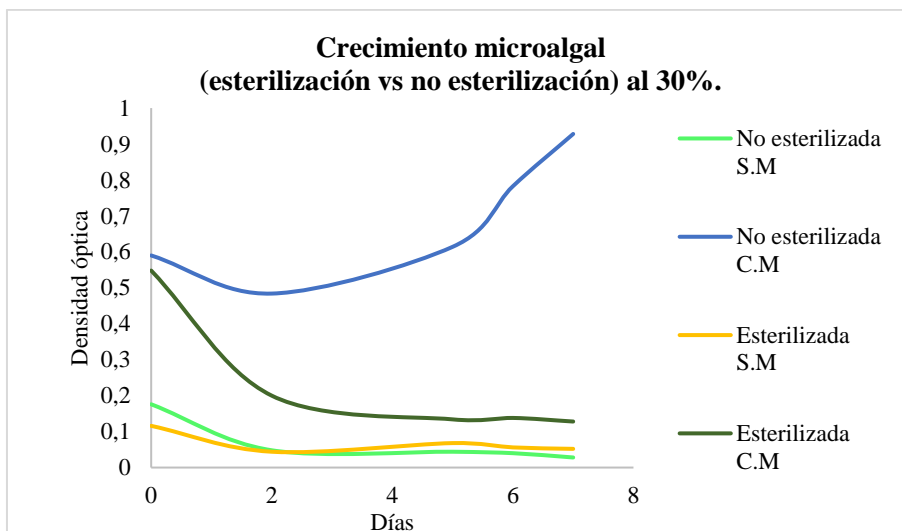


Figura 13. Crecimiento microalgal en muestra esterilizada al 30% con inoculo de microalgas al 0,3 g/L replicadas con microalgas (C.M) acompañadas con un testigo de muestra blanco esterilizada sin microalgas (S.M) versus crecimiento microalgal en muestra no esterilizada 30% con inoculo de microalgas al 0,3 g/L replicadas con microalgas (C.M) acompañadas con un testigo muestra blanco no esterilizada sin microalgas (S.M).

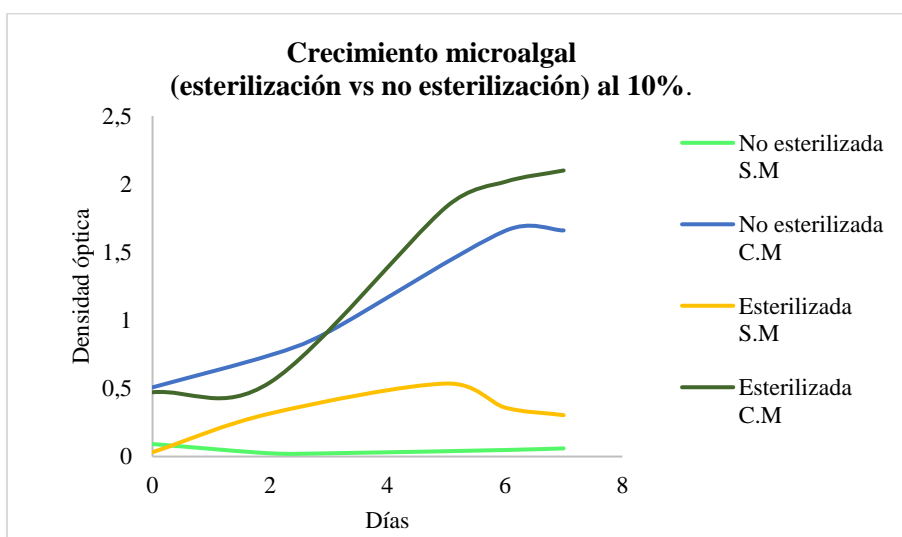


Figura 14. Crecimiento microalgal en muestra esterilizada al 10% con inoculo de microalgas al 0,3 g/L replicadas con microalgas (C.M) acompañadas con un testigo de muestra blanco esterilizada sin microalgas (S.M) versus crecimiento microalgal en muestra no esterilizada 10%

con inóculo de microalgas al 0,3 g/L replicadas con microalgas (C.M) acompañadas con un testigo muestra blanco no esterilizada sin microalgas (S.M).

Finalizada la prueba evidenciada en las ilustraciones 17, 18 y 19 se toma la decisión de descartar la esterilización al agua residual debido a que el crecimiento microalgal es mejor en el agua residual no esterilizada, las condiciones naturales del agua residual pueden ser propicia y benéfico para el crecimiento del consorcio, también es importante tener en cuenta la aplicabilidad de la investigación en costo y beneficio.

La concentración utilizada del consorcio microalgal de 0,3 g/L mostrada en las ilustraciones 12, 13 y 14 responde de manera positiva al crecimiento poblacional, por lo que se toma como el nivel bajo 0,3 g/L de concentración en la que el consorcio microalgal tiene la capacidad de adaptarse a las muestras inoculadas. El nivel alto 0,8 g/L de concentración se determinó con criterios estadísticos evidenciados en la tabla 7 y las ilustraciones 8 y 9 donde se muestra que el día 5 el consorcio es estable entre diferentes muestras de cultivos de crecimiento con el nivel de confianza (95%) de 0,55 y error típico de 0,025. El nivel medio con concentración de 0,55 g/L es el resultado de la media entre el nivel alto y bajo.

La exposición a luz artificial y aireación en el diseño experimental se hace necesario debido que la disponibilidad de luz es un factor limitante para la producción de microalgas, los nutrientes inorgánicos e incluso el dióxido de carbono (CO₂) puede incorporarse al cultivo de microalga en exceso que no es limitantes en el crecimiento; pero la luz debe ser suministrada a los cultivos continuamente ya que esta no se acumula (Hernández Pérez & Labbé, 2014); la luz se considera un factor limitante en el crecimiento de microalgas ya que desde su estructura están diseñadas para flotar y poder capturar la mayor cantidad de luz posible, puesto que a mayor

profundidad menor será la cantidad de luz que logre pasar a través del agua y si consideramos que las aguas residuales como medio de crecimiento tiene altos contenidos de sustancias coloidales y solidos suspendidos la cantidad de luz que pase a través de las paredes es reducida, y para solventar esto se recomienda una agitación constante permitiendo que todas las células estén en contacto con la luz. La aireación además de mantener una agitación constante y permitir la entrada de la luz también aumenta el área de transferencia de oxígeno (O_2) y dióxido de carbono (CO_2) atmosférico al interior de los reactores (Arango Muñoz, 2015).

Las dos variables de mayor significancia para el diseño experimental fueron la concentración y dilución con tres niveles de experimentación (alto, medio y bajo) por duplicado, teniendo así un diseño experimental completo 3^2 . El factor concentración tendrá los niveles: (0,3; 0,55; 0,8) g/L y el factor dilución tendrá los niveles: (10, 30, 50) %.

5.4 Análisis Estadístico del Diseño Experimental.

El procesamiento de los resultados del diseño experimental se realizó con el software Statistica versión 7 el cual es un paquete estadístico usado en investigación (StatSoft, 2004).

El diagrama de pareto representa estadísticamente el efecto acumulativo de aquellos factores sobre la variable de respuesta mostrando gráficamente cada efecto estandarizado de cada factor del mas alto al mas bajo. Aquellos factores que son significativos son los que pasan la línea vertical y los signos positivo (+) y negativo (-) indican si al modificar un nivel de un factor este tiene un efecto directamente o inversamente proporcional sobre la variable respuesta (GilPavas, Medina, Dobrosz Gómez, & Gómez, 2016).

La superficie de respuesta representa gráficamente el modelo ajustado y determina el comportamiento de las variables de salidas promedio en cada punto de la región experimental

permitiendo observar que efecto tienen y la tabla nova representa que tanto se aparta la variación total observada en cada una de los orígenes de las variables (Gutiérrez Pulido & Román de la Vara , 2004).

Las interacciones que se generan en los resultados de los datos en un diseño experimental se llevan a cabo de una manera ajustada con interpolaciones lineales o cuadráticas, que es la aproximación de la dimensión en los intervalos cuando se conoce uno y otro lado de dicho intervalo, la interpolación lineal busca encontrar un valor intermedio entre dos o más puntos de grado polinómica uno y la interpolación cuadrática es el error lineal debido a que los datos obtenidos cuando se aproxima a una curva en la interpolación lineal corrigiéndolo con el uso de ecuaciones polinómicas de segundo grado logrando así tener una ecuación con mayor ajuste a los datos obtenidos (Izar Landeta, 1998).

Para efecto de interpretación de datos se hace aclaración que las interacciones bidireccionales (lineal, cuadrática) es el modelo que nos incluirá los efectos lineales (L), cuadráticos (Q) principales y lineal por veces lineal (LbyL), lineal por cuadrático (LbyQ), cuadrático por lineal (QbyL) y efectos de interacción bidireccional cuadrática por cuadrática (QbyQ) que resultan del resultado de los datos de las variables dependientes (VD). R^2 es el coeficiente de determinación múltiple, que mide la reducción en la variación total de la variable dependiente debido a las variables independientes, A_j es el R^2 ajustado que se interpreta de manera similar al R^2 , toma en consideración el número de grados de libertad, se ajusta dividiendo la suma de cuadrados de error y las sumas totales de cuadrados por sus respectivos grados de libertad y el error residual de la suma de cuadrados (CM) que es una estimación de la varianza de la población (StatSoft, 2004).

Perfiles de deseabilidad consisten en una serie de gráficos, uno para cada variable

independiente, de puntajes de deseabilidad general en diferentes niveles de una variable independiente, manteniendo los niveles de las otras variables independientes constantes a valores específicos y producen las respuestas pronosticadas más deseables en las variables dependientes (StatSoft, 2004).

Nota: tablas ANOVA, tablas de datos arrojados en los tratamientos y grafica de crecimiento de agua residual tratada estarán ubicadas en apéndice del presente trabajo.

5.4.1 Análisis de interpretación de datos.

5.4.1.1 Variables (DQO, DBO5 y OD).

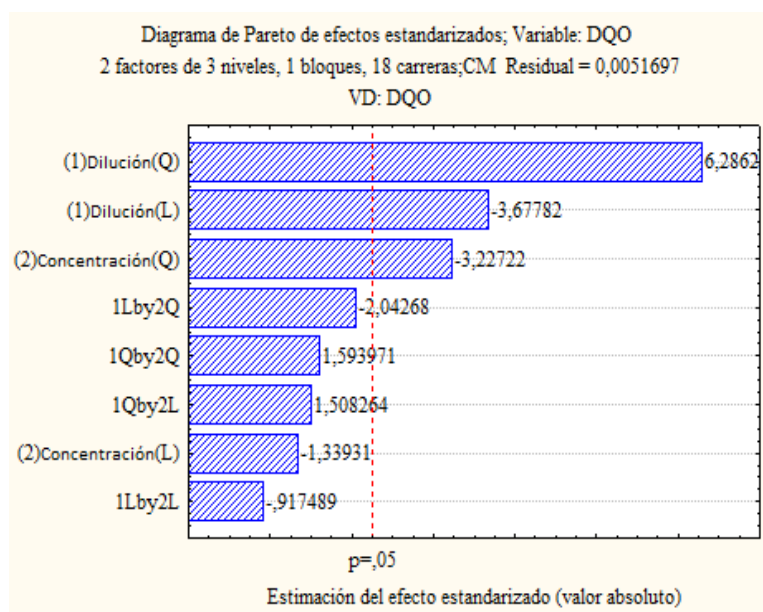


Figura 15. VD: DQO interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.

En la ilustración 15 se puede observar como resultado de las interacciones del diseño experimental que las variables de mayor significancia para la variable de respuesta DQO es la (1) dilución (Q); (1) dilución (L) y la (2) concentración (Q), permitiendo afirmar que la dilución del agua residual en el valor positivo es directamente proporcional con más significancia y la

concentración de microalgas aplicadas al diseño experimental inversamente proporcional son de mayor importancia para el proceso realizado en la Demanda Química de Oxígeno.

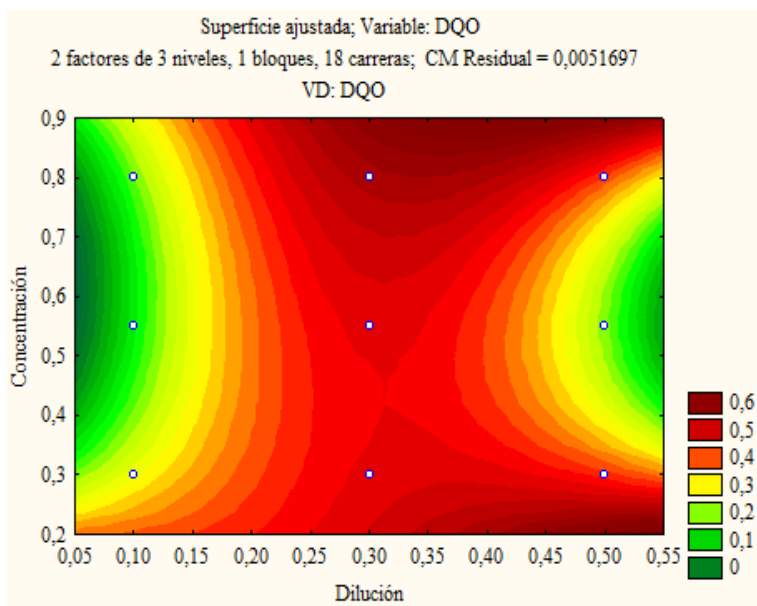


Figura 16. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV DQO.

En la ilustración 16 se observa el comportamiento de la demanda química de oxígeno frente a la variación de la concentración y la dilución teniendo como resultado un mayor porcentaje de reducción de un (40-50) % en el punto medio de la dilución (0,3), donde la concentración de microalgas tiene un efecto menor hacia la variable de respuesta; infiriendo la importancia en una condición específica de dilución más que la concentración de las microalgas. Esto se debe a que si existe una mayor cantidad de materia orgánica por degradar, existirán más microorganismos consumiendo la DQO presente en el agua residual y los porcentajes de reducción serán más significativos en aguas con mayor cantidad de materia orgánica pero que estas a su vez permitan el desarrollo de actividad microbiana y microalgal, puesto que las microalgas generan el oxígeno suficiente para los procesos de oxidación que permite su disminución (Arango Muñoz, Liz, 2015).

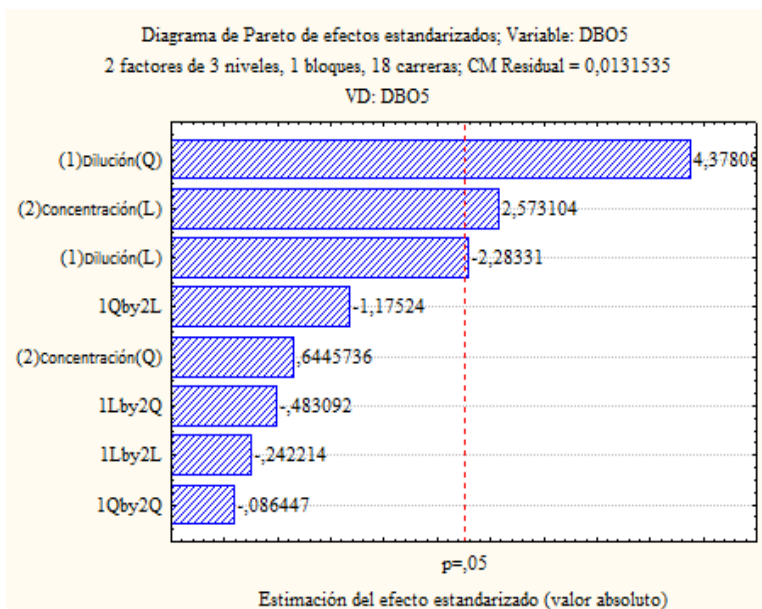


Figura 17. VD: DBO₅ interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.

En la ilustración 17 se puede observar como resultado de las interacciones del diseño experimental que las variables de mayor significancia para la variable de respuesta DBO₅ es la (1) dilución (Q); (2) concentración (L) y la (1) dilución (L), permitiendo afirmar que la dilución del agua residual y la concentración de microalgas aplicadas al diseño experimental son directamente proporcional y de mayor significancia para el proceso realizado en la Demanda biológica de oxígeno. Se requiere de diluir el medio y la adición de concentración de microalgas para la oxidación biológica de la materia orgánica según nos muestra el diagrama.

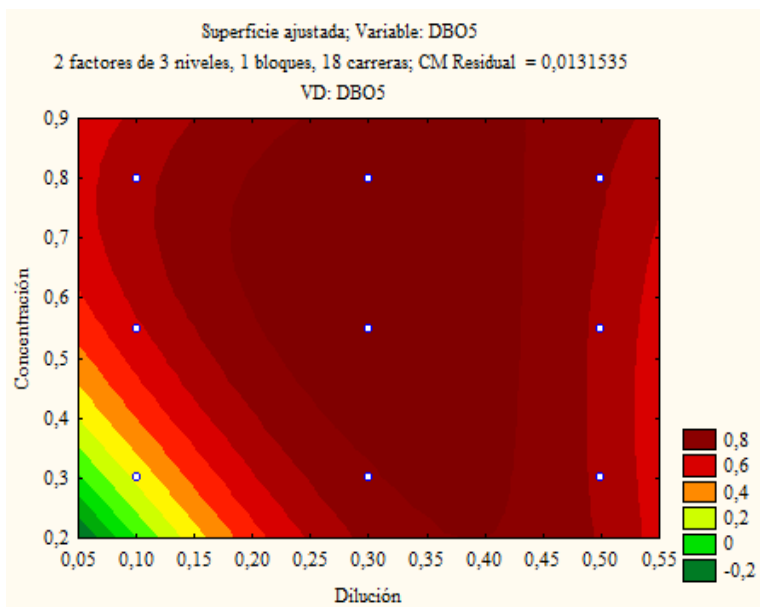


Figura 18. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV DBO₅.

La ilustración 18 se muestra el comportamiento: concentración (masa microalgal) vs dilución (agua residual), teniendo como resultado un mayor porcentaje de reducción en la variable de respuesta de un (60-80) % en los puntos medio y baja de la dilución (0,3 y 0,5) con poca variación por efecto de la concentración microalgal y en dilución alta, pero en concentraciones de (0,55 y 0,8), por lo que la concentración y dilución tienen un efecto en la reducción de la variable de respuesta, esto se debe; a que la absorción de la DBO₅ se relaciona con el aumento del OD que aportan las microalgas y en conjunto con las bacterias aeróbicas ayudan a la biotransformación dada a la capacidad de los microorganismos para oxidar el material orgánico, logrando que reduzca el parámetro de DBO₅ que es un indicador de la disminución del oxígeno disuelto presente en el agua, lo que lleva a la muerte de seres vivos que dependen del oxígeno y a la anaerobiosis que ocurre cuando microorganismos sobreviven fuera de la presencia del aire. (Abdel Raouf, Al Homaidan, & Ibraheem, 2012)

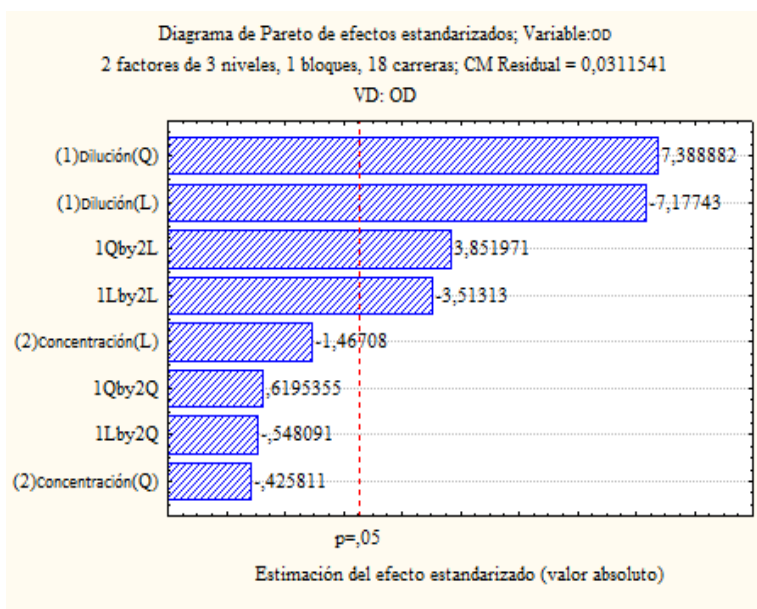


Figura 19. OD: interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.

En la ilustración 19 se puede observar que la variable (1) dilución (Q) y (1) dilución (L), 1Qby2L y 1Lby2L tienen mayor significancia hacia la variable de respuesta; el efecto del oxígeno disuelto se ve estimulado con tan solo diluir la muestra.

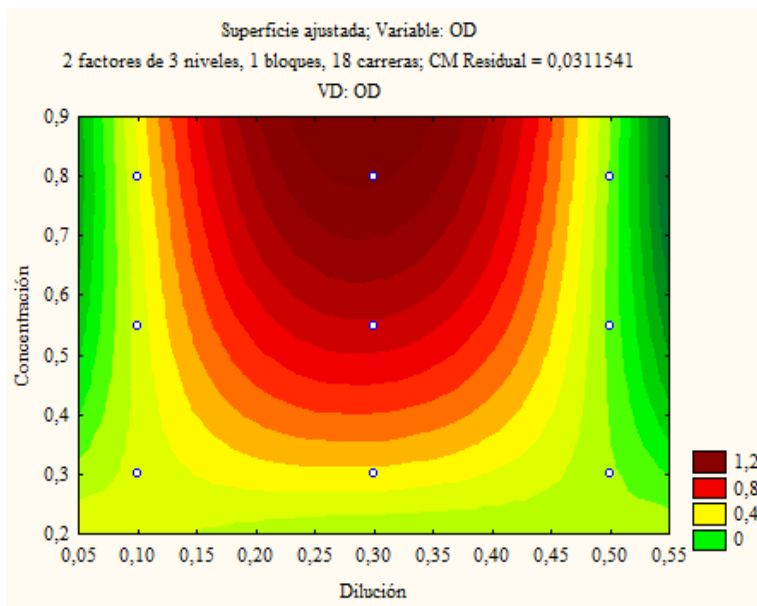


Figura 20. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV OD.

En la ilustración 20 se observa el comportamiento: concentración (masa microalgal) vs dilución (agua residual), que hay un aumento de oxígeno disuelto y aumenta alrededor del (40-100) % en la zona de dilución 0,3 al aumento de la concentración de 0,3, 0,55 y 0,8.

El oxígeno disuelto es significativo donde la dilución es media y cuando la concentración de microalgas va incrementado, este aumento del OD se debe a la rápida fotosíntesis que realizan las microalgas durante el día en los sistemas de cultivo que puede aumentar los niveles de oxígeno disuelto hasta la saturación (Hernández Pérez & Labbé, 2014).

Se observa que el efecto del consorcio microalgas en la variable de salida DQO y DBO₅ es de reducción en los datos observados de un 40 a 60 % y 60 a 80 % respectivamente favoreciendo el medio acuático donde se realizó el ensayo experimental, es de gran importancia tener bajas concentraciones de DQO y DBO₅ ya que son parámetros que miden el estado de las aguas residuales donde altas concentraciones permite determinar qué tan contaminada puede llegar a estar el medio acuático; las reducciones presentadas en los datos también permite afirmar el cumplimiento de la normatividad ambiental, ya que estos datos se encuentran entre los valores permisibles de vertimientos a cuerpos de agua. El oxígeno disuelto (OD) presente en el agua residual usada en la experimentación aumenta en presencia de microalgas facilitando la degradación y oxidación de materia orgánica observadas en las ilustraciones 16,18 teniendo mejores resultados en dilución de la muestra de 0,3 y con concentraciones mayores de 0,3 g/L, el mejoramiento de los niveles de oxígeno disuelto son de gran importancia ya que permite el desarrollo de los seres vivos acuáticos.

5.4.1.2 Variables (NO_3^- , NO_2^- y $\text{NH}_3\text{-N}$).

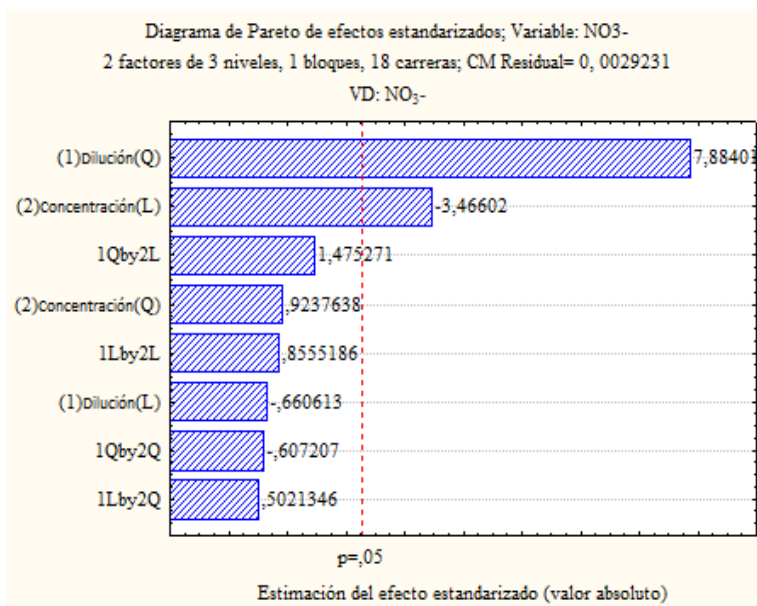


Figura 21. VD: NO_3^- interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.

En la ilustración 21 se puede observar que la variable independiente de (1)dilución (Q) y la (2) concentración (L) son las de mayor significancia con un resultado acumulado en el primero es directamente proporcional y el segundo de menor efecto inversamente proporcional hacia la variable de respuesta, con esta ilustración de la gráfica se afirma que la dilución con efecto cuadrática es significativamente importante hacia la variable de respuesta y la concentración también tendría efecto en la prueba.

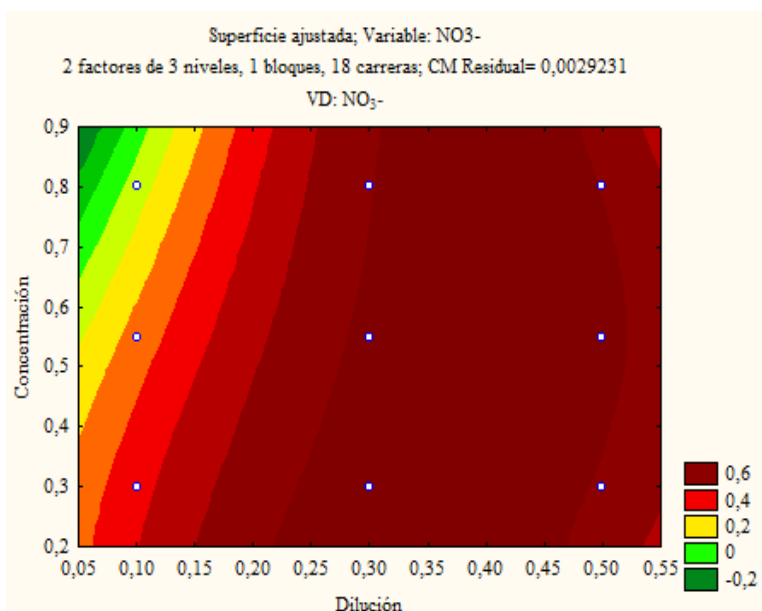


Figura 22. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: NO₃⁻.

En la ilustración 22 se observa el comportamiento: concentración (masa microalgal) vs dilución (agua residual), que en el eje de la dilución 0,3 y 0,5 con reducciones entre (40-60) % es donde mejor se comportan los datos, pero con poca variación en las distintas concentraciones de microalgas empleadas.

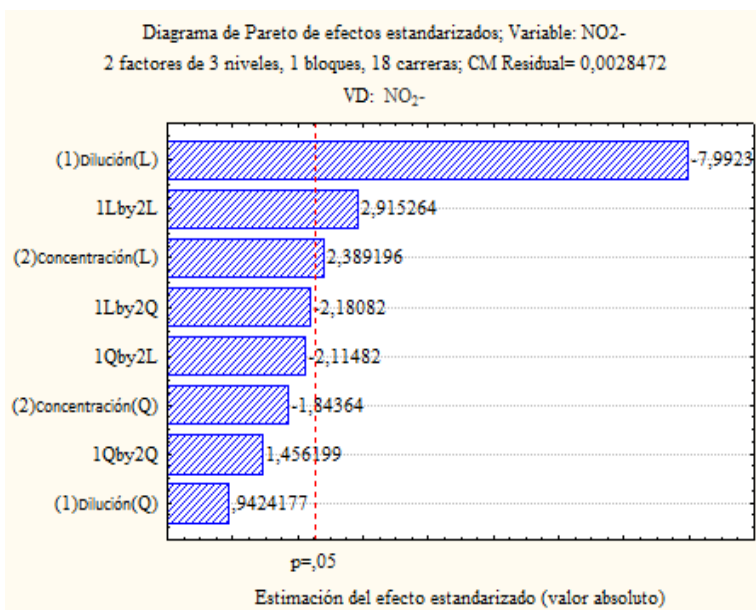


Figura 23. VD: NO₂⁻ interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.

En la ilustración 23 se puede observar que la variable independiente de (1) dilución (L), la interacción 1Lby2L y (2) concentración (L) son las de mayor significancia con un resultado acumulado en el primero inversamente proporcional, el segundo y el tercero de menor efecto directamente proporcional hacia la variable de respuesta, con esta ilustración de la gráfica se afirma que la dilución es significativamente importante hacia la variable de respuesta pero que las interacciones entre dilución y concentración también tendría efecto en la prueba.

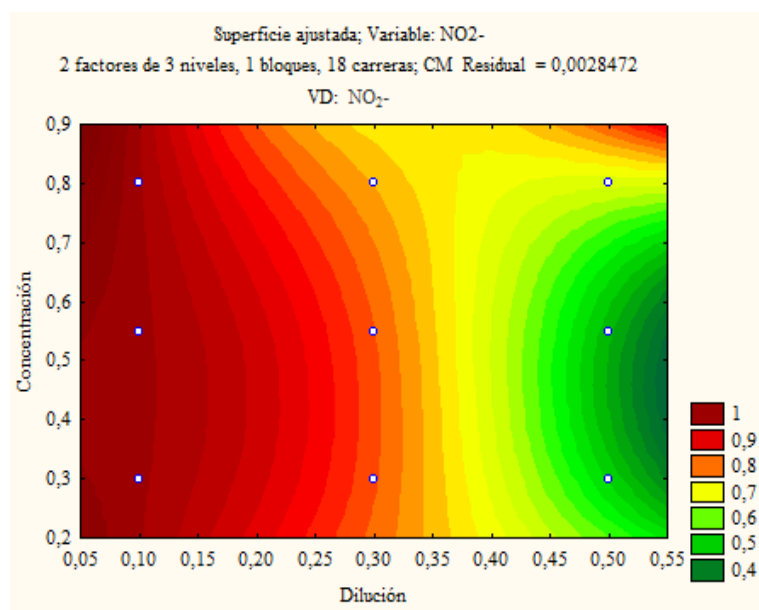


Figura 24. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: NO₂⁻.

En ilustración 24 se observa el comportamiento: concentración (masa microalgal) vs dilución (agua residual), que en el eje de la dilución 0,1 y 0,3 con reducciones entre (80-98) % es donde mejor se comportan los datos, pero con poca variación en las distintas concentraciones para la primera, pero para el segundo ligeramente se encuentran variaciones en la concentración de microalgas empleadas.

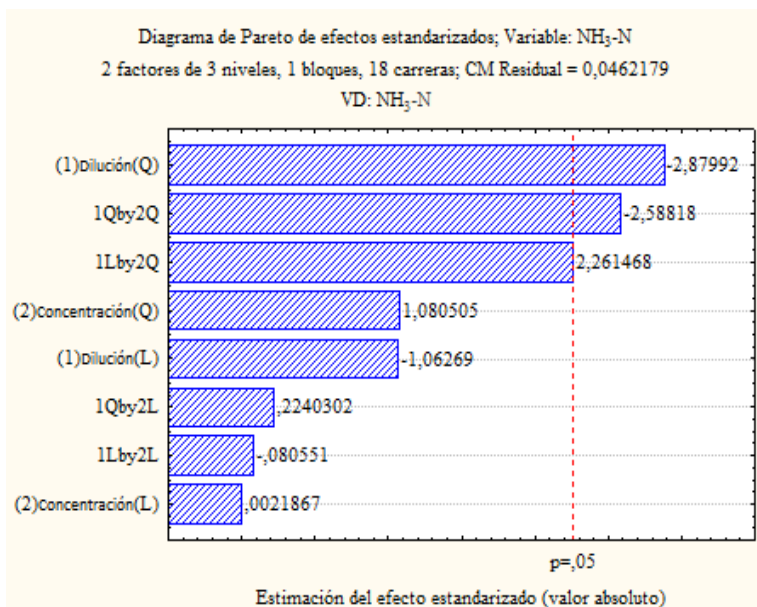


Figura 25. VD: $\text{NH}_3\text{-N}$ interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.

En la ilustración 25 se puede observar que la variable independiente de (1) dilución (Q) y la interacción 1Qby2Q es la de mayor significancia con un resultado acumulado inversamente proporcional hacia la variable de respuesta, con esta ilustración de la gráfica se afirma que la dilución es significativamente importante hacia la variable de respuesta.

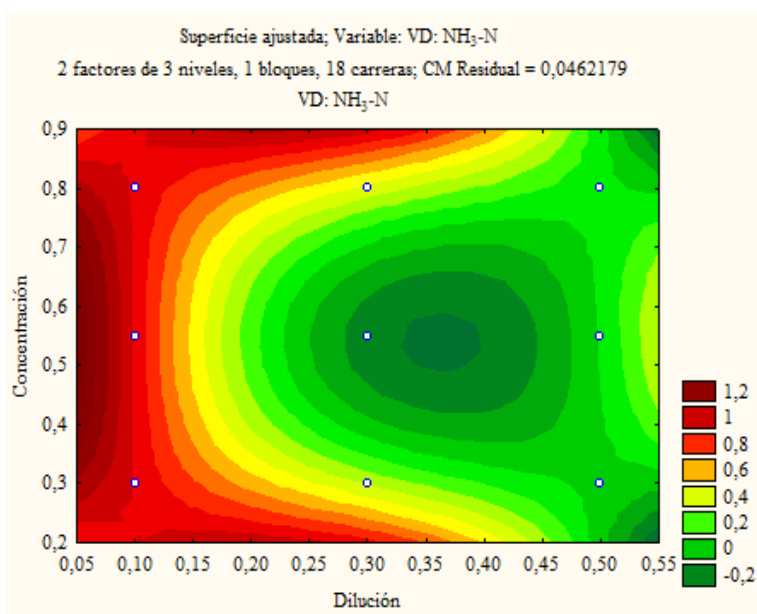


Figura 26. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: $\text{NH}_3\text{-N}$.

En la ilustración 26 se observa el comportamiento: concentración (masa microalgal) vs dilución (agua residual), en el eje de la dilución 0,1 es donde mejor se comporta los datos, afirmando la importancia de la dilución para mejores resultados de reducción de nitrógeno amoniacal, pero con poca variación en las distintas concentraciones.

Se logra hacer reducciones importantes en las variables nitratos NO_3^- y nitritos NO_2^- en diluciones de 0,3 y 0,5 con reducciones entre (40-60) % y en dilución 0,1 y 0,3 con reducciones entre (80-98) % respectivamente vistas en las ilustraciones 22 y 24, obteniendo gran importancia en los datos arrojados por coincidir en que la dilución 0,3 tiene efecto positivo para ambas variables ya que estas dos formas de nutrientes pueden ser asimiladas por las microalgas (Arango Muñoz, Liz, 2015). La Variable nitrógeno amoniacal $\text{NH}_3\text{-N}$ tiene reducciones en altas diluciones como se ve en la ilustración 26 donde la dilución 0,1 es la que mejor se comporta con porcentajes de absorción mayores al 95%, esto se debe a que estudios afirman que las altas concentraciones de nitrógeno amoniacal puede inhibir el metabolismo fotosintéticos de las microalgas disminuyendo la absorción de nitrato en concentraciones altas (Kim, Cho, Noh, & Hwang, 2016). También retarda el crecimiento de microalgas debido a que eleva el pH. (Khanh, Kitaya, Xiao, Endo, & Shibuya, 2013) llegando a perturbar el procesos de crecimiento en microalgal, la fotosíntesis y captación de nitrato (Kwon, Nam, Kim, Song, & Jahng, 2019).

El consorcio microalgal empleado en el diseño tiene la capacidad de absorber los nitratos NO_3^- y nitritos NO_2^- con porcentajes significativos cuando se diluye la muestra tratada y se aumenta la concentración mínima de microalgas inoculadas, el nitrógeno amoniacal $\text{NH}_3\text{-N}$ se ve afectado significativamente en alta dilución de la muestra ya que se logra bajar las concentraciones presentes en el agua residual.

5.4.1.3 Variable PO4-

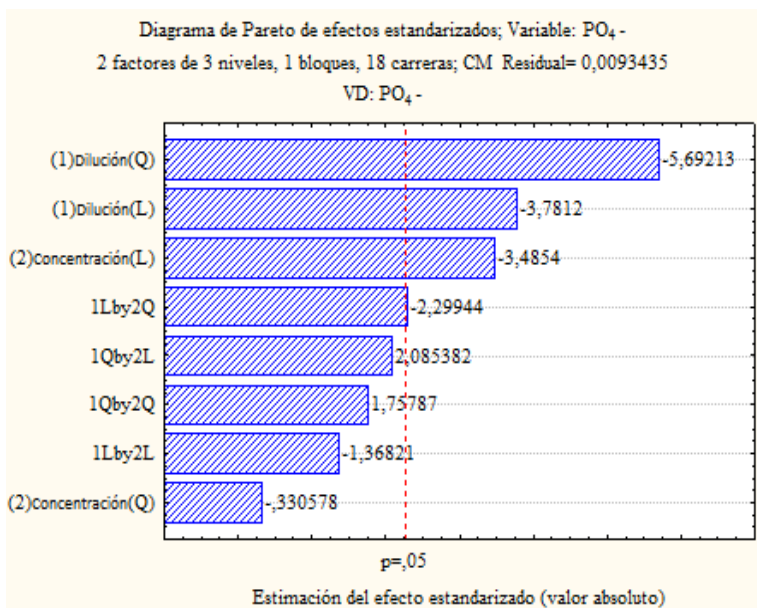


Figura 27. VD: PO₄⁻ interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.

En la ilustración 27 se puede observar que la variable independiente de (1) dilución (Q), la (1) dilución (L), (2) concentración (L) y 1Lby2Q que son las de mayor significancia con un resultado acumulado indirectamente proporcional hacia la variable de respuesta, con esta ilustración de la gráfica se afirma que la dilución con tendencia cuadrática es significativamente importante hacia la variable de respuesta teniendo efecto en la prueba.

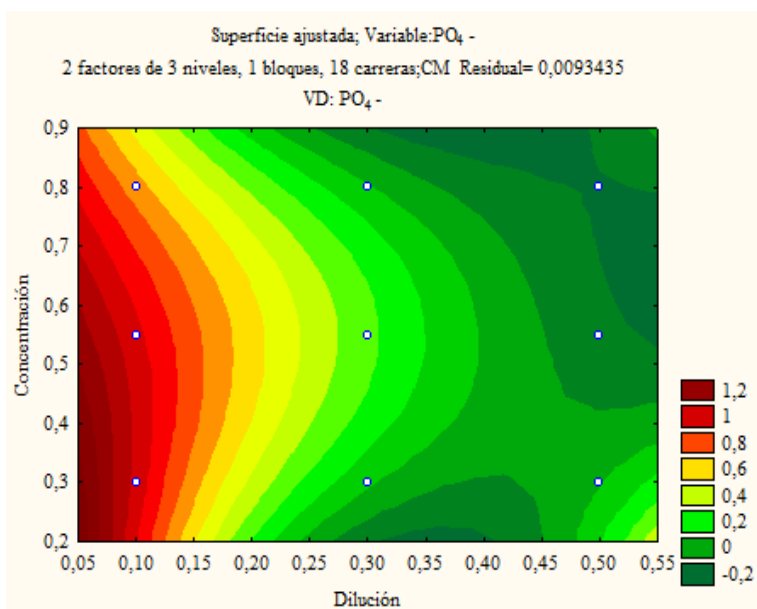


Figura 28. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: PO₄ -.

En ilustración 28 se observa el comportamiento: concentración (masa microalgal) vs dilución (agua residual), que en el eje de la dilución 0,1 con reducciones entre (80-100) % es donde mejor se comportan los datos, pero con variación en las distintas concentraciones de microalgas empleadas.

El fósforo es fundamental en la mayoría de los procesos celulares, por ello es necesario para el crecimiento y reproducción de las microalgas; el fosforo en las algas se asimila exclusivamente en forma de fosfatos y las concentraciones de este compuesto determinan el crecimiento microalgal (González González, 2010) pero no de forma de respuesta inmediata a cambios de concentración como puede pasar con cambios de temperatura y luz, por lo habitual las aguas residuales contienen cantidades de fosforo mayores a las que las microalgas necesitan (Arango Muñoz, Liz, 2015).

Se evidencia que la remoción de fosfatos PO₄ - depende en gran medida en bajar su concentración en aguas residuales para ser asimilado por las microalgas, visto en la ilustración

33 donde hay absorción es de 80-100 % de PO_4^- en alta dilución, esto se debe a que el contenido de fósforo de las microalgas es del 1%, pero que su limitación en el medio es un factor que altera su crecimiento, por lo que asimilaban en su biomasa la cantidad necesaria para su proceso fotosintético (Hernández Pérez & Labbé, 2014).

La mayor remoción de fósforo se presentó en dilución alta y poca variación por efectos de la concentración microalgal, esto se debe a que se reduce la concentración de PO_4^- -permitiendo que se realice su remoción en el agua residual por precipitación, esto ocurre cuando el pH es mayor a 9 y por asimilación asociado al crecimiento de la biomasa ya que son las dos formas en que es posible su absorción (Arango Muñoz, Liz, 2015), de esta forma se logra mejores resultados en diluciones altas (0,1) ya que por efecto del aumento del pH mayor a 9 y por crecimiento microalgal estos dos efectos se llevan a cabo.

5.4.1.4 Variables (COLOR, SST Y SDT).

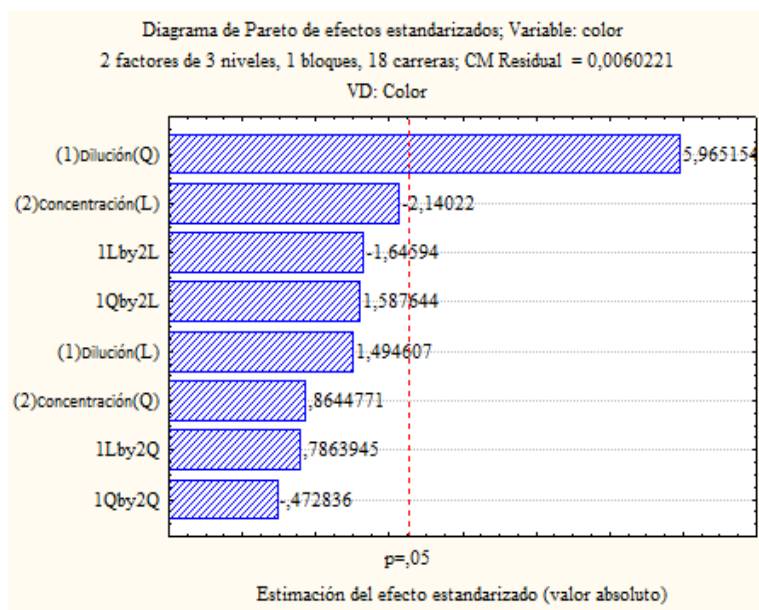


Figura 29. VD: COLOR interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.

En la ilustración 29 se muestra que la variable de mayor significancia es la (1) dilución (Q) en relación con la variable de respuesta, siendo la dilución cuadrática directamente proporcional al color.

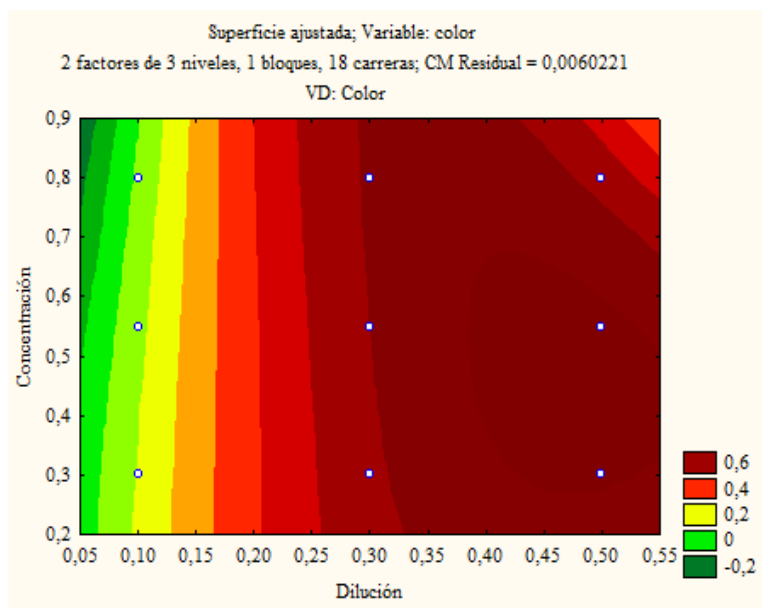


Figura 30. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: COLOR.

En la ilustración 30 Se observa el comportamiento: concentración (masa microalgal) vs dilución (agua residual), la mayor reducción en el color se obtiene a mayores concentraciones de agua residual debido al comportamiento de diferencia entre cargas iniciales y cargas luego del tratamiento y la menor reducción se da en concentraciones bajas de agua residual debido a la poca diferencia significativa entre muestras iniciales y finales.

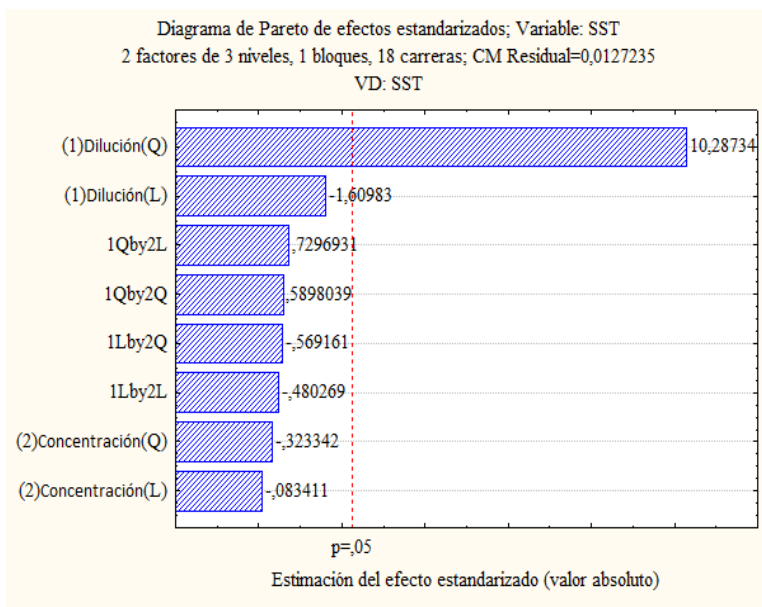


Figura 31. VD: SST interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.

En la ilustración 31 se puede observar que la variable independiente de dilución (Q) es de mayor significancia con un resultado acumulado directamente proporcional hacia la variable de respuesta, con esta ilustración de la gráfica se afirma que la dilución con efecto cuadrática es significativamente importante hacia la variable de respuesta.

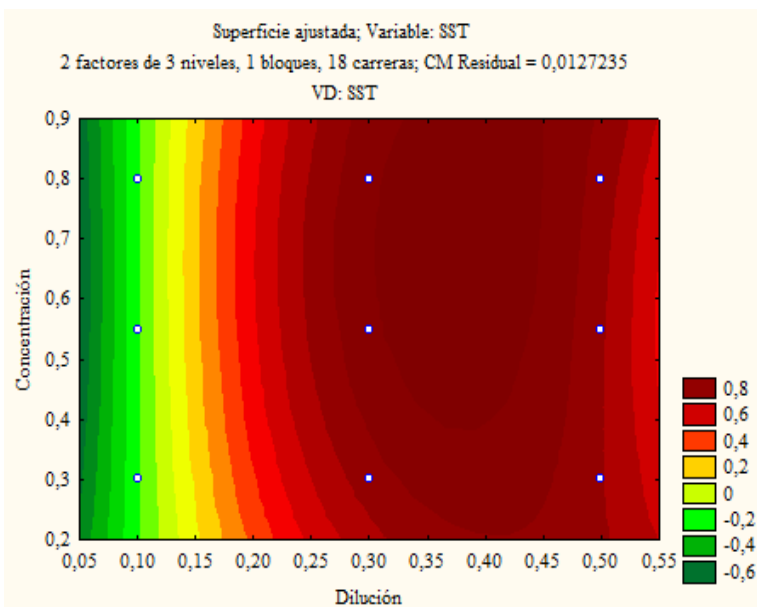


Figura 32. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: SST.

En la ilustración 32 se observa el comportamiento: concentración (masa microalgal) vs dilución (agua residual), en el eje de la dilución 0,30 y 0,50 es donde mejor se comporta los datos con reducciones de (40-80) %, pero con poca variación en las distintas concentraciones.

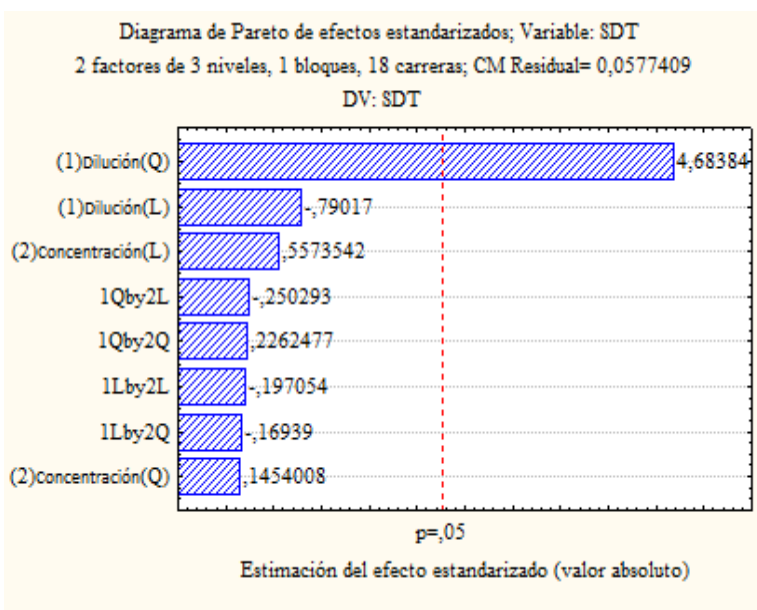


Figura 33. VD: SDT interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.

En la ilustración 33 se puede observar que la variable independiente de dilución (Q) es de mayor significancia con un resultado acumulado directamente proporcional hacia la variable de respuesta, con esta ilustración de la gráfica se afirma que la dilución con efecto cuadrática es significativamente importante hacia la variable de respuesta.

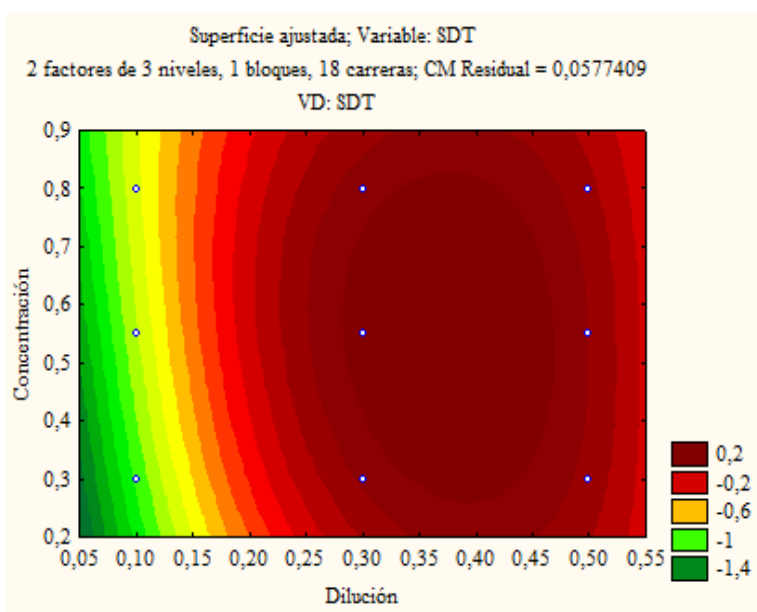


Figura 34. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV: SST.

En la ilustración 34 se observa el comportamiento: concentración (masa microalgal) vs dilución (agua residual), en el eje de la dilución 0,3 y 0,5 es donde mejor se comporta los datos con reducciones de 20%, pero con poca variación en las distintas concentraciones.

Los resultados obtenidos de las variables de respuesta (color, SST Y SDT) representadas en las ilustraciones 29, 31 y 33 no es generada por las microalgas, esto se debe a que la variable independiente (concentración) no tiene significancia a las diferentes niveles a la que fue

sometida las muestras de agua residual, por lo que la variable independiente (dilución) es la que genera las estas reducciones obtenidas en el diseño experimental.

5.4.1.5 Variables pH.

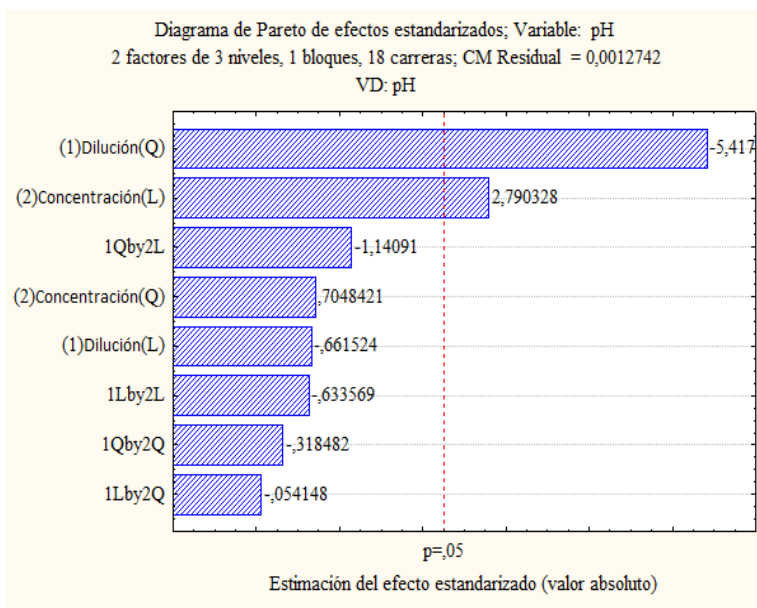


Figura 35. VD: pH interacciones de 2 vías lineal, cuadrática.

En la ilustración 35 se observa que la variable independiente (1) dilución (Q) y (2) concentración (L) es de mayor significancia para la variable de respuesta (pH) en comparación de las demás variables independiente estudiadas y directamente proporcional e indirectamente proporcional respectivamente.

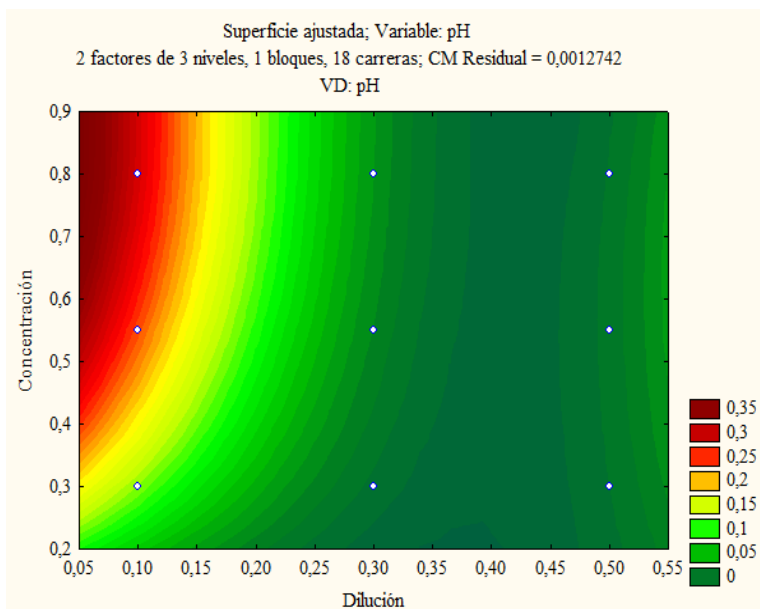


Figura 36. Diagrama de contorno (respuesta ajustada) DV pH.

En la ilustración 36 se observa el comportamiento: concentración (masa microalgal) vs dilución (agua residual), teniendo poco efecto en el comportamiento del pH, solo se presenta un aumento significativo de esta variable en el eje la dilución (0,10).

El aumento del pH en el medio es una particularidad que tienen las microalgas durante la captación de nutrientes y la fijación fotosintética de CO_2 que hacen que se disocien y liberar OH^- al medio volviéndolo alcalino, este proceso tiende a aumentar el pH, llegando a valores que exceden de pH 11, durante el crecimiento de microalgas (Beltrán Rocha, Guajardo Arbosa, Barceló Quintal, & López Chuken, 2017).

5.5 Análisis de resultados.

El análisis de resultados se tiene como referencia la norma de vertimientos colombiana vigente la cual es comparada con las pruebas realizadas en el agua residual y evidenciar su respectivo cumplimiento.

Tabla 9

Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (ARnD) a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería.

GANADERÍA DE PORCINOS		
PARÁMETRO	UNIDADES	CRÍA
pH	pH	6 a 9
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	900
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	450
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	400
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal(NNH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte
Color Real	m-1	Análisis y Reporte

Fuente: resolución 0631 de 2015.

Para la implementación del consorcio microalgal en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO se determinaron tres niveles de concentración microalgal y tres niveles de dilución de agua residual, viendo la necesidad de adaptar el medio para el desarrollo de las microalgas; de

esta manera se midió el efecto del consorcio microalgal en los parámetros que se observan en las tablas 9, reduciendo los niveles de contaminación a valores máximos permitidos por la resolución 0631 del 2015 especificado en el capítulo VI y artículo 9 en vertimientos puntuales para la actividad de cría de cerdos.

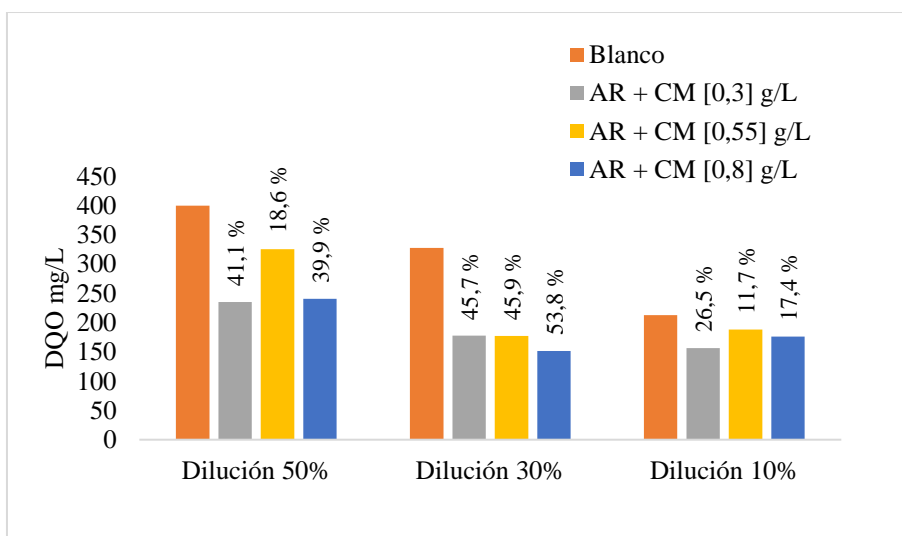


Figura 37. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de remoción de DQO en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.

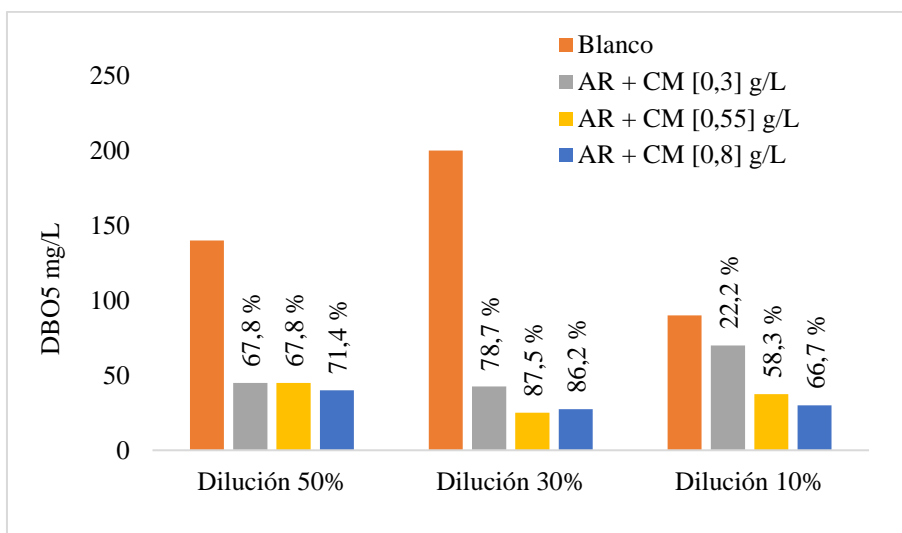


Figura 38. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de remoción de DBO₅ en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.

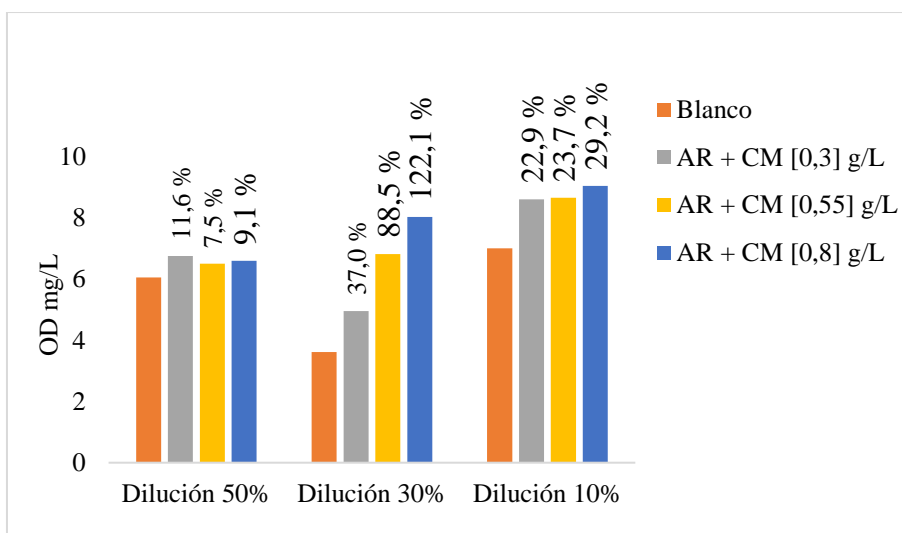


Figura 39. Resultados del efecto microalgal en porcentaje del aumento del OD en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.

Basados en el análisis estadístico se determinó que los parámetros de DQO y DBO₅ obtuvieron reducciones importantes de un 40 a 50 % y de 60 a 80 % respectivamente a dilución media (0,3) con concentración media (0,55) y alta (0,8) ajustándose a lo que determina la normativa en vertimientos. El aumento del OD se muestra en toda la implementación del diseño experimental siendo más significativo el aumento en dilución media (0,3) y concentración media (0,55) y alta (0,8) mayor al 60%.

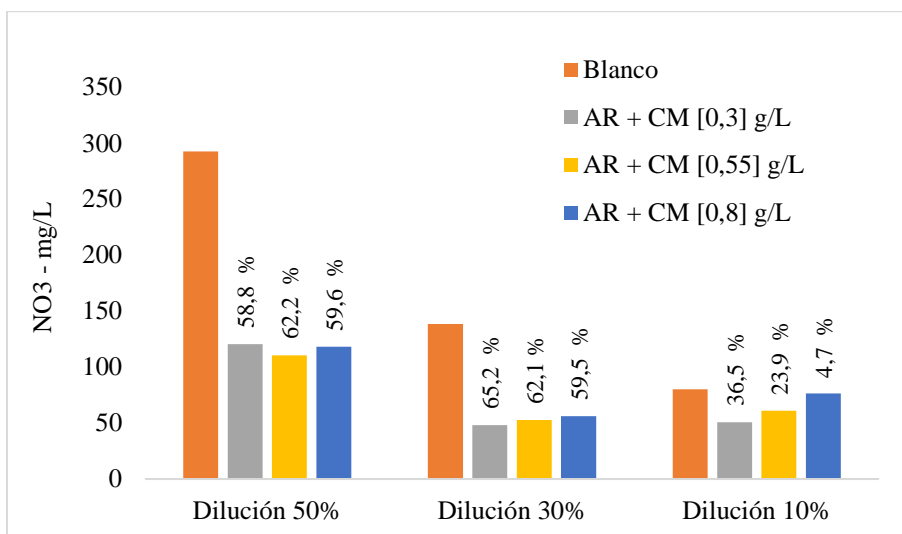


Figura 40. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del NO_3^- en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.

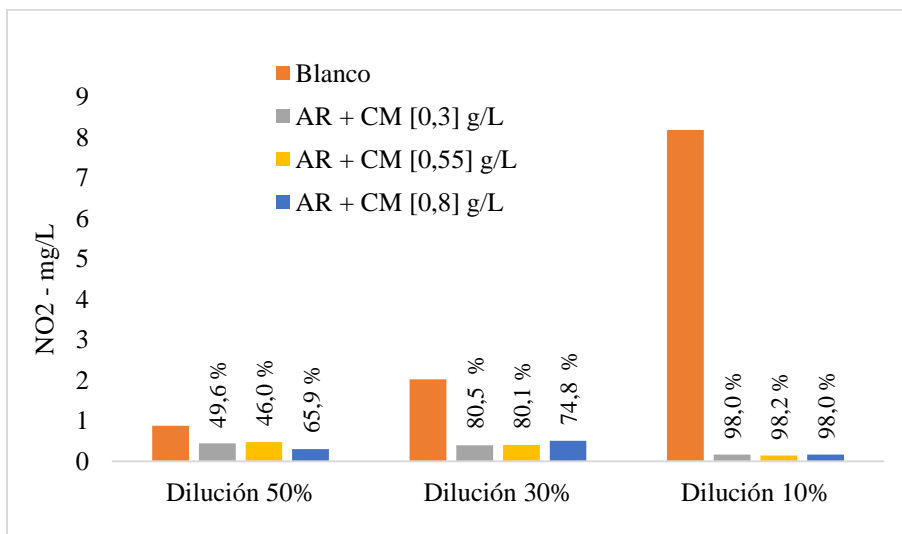


Figura 41. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del NO_2^- en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.

Los parámetros NO_3^- y NO_2^- tienden a tener un buen comportamiento de reducción en dilución media (0,3) y en las tres concentraciones del diseño hasta un 60% y 70-80% respectivamente.

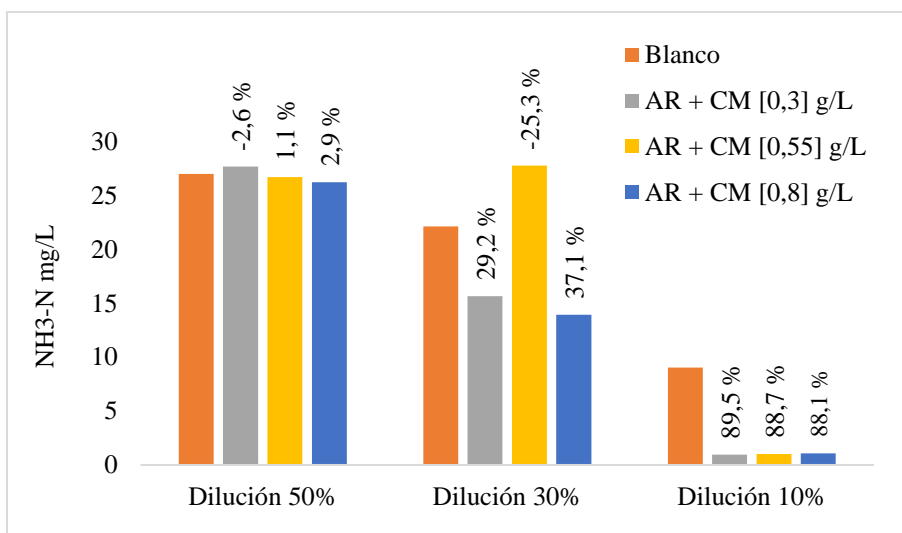


Figura 42. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del $\text{NH}_3\text{-N}$ en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.

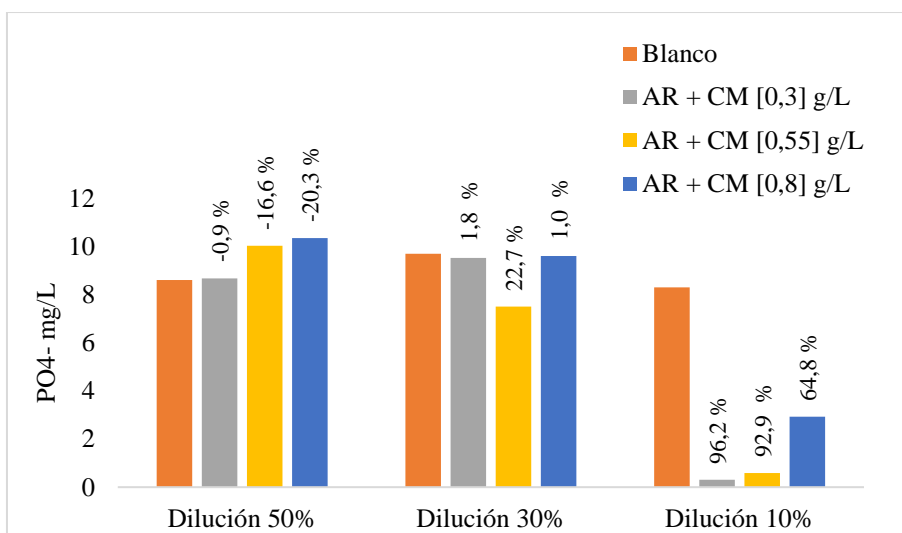


Figura 43. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del PO_4^- en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.

Los parámetros $\text{NH}_3\text{-N}$ y PO_4^- se presenta una reducción significativa en dilución alta (0,1)

y en las tres concentraciones del diseño hasta un 60-90% respectivamente.

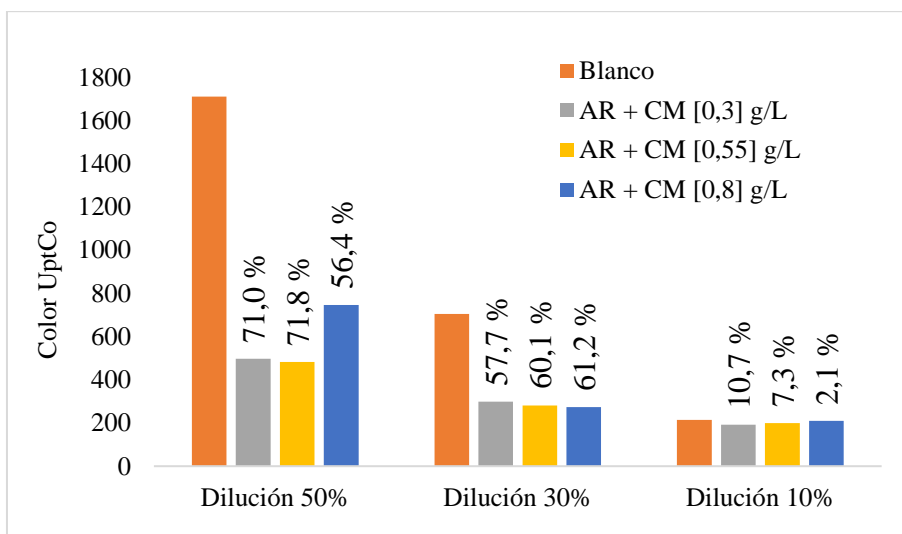


Figura 44. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del COLOR en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.

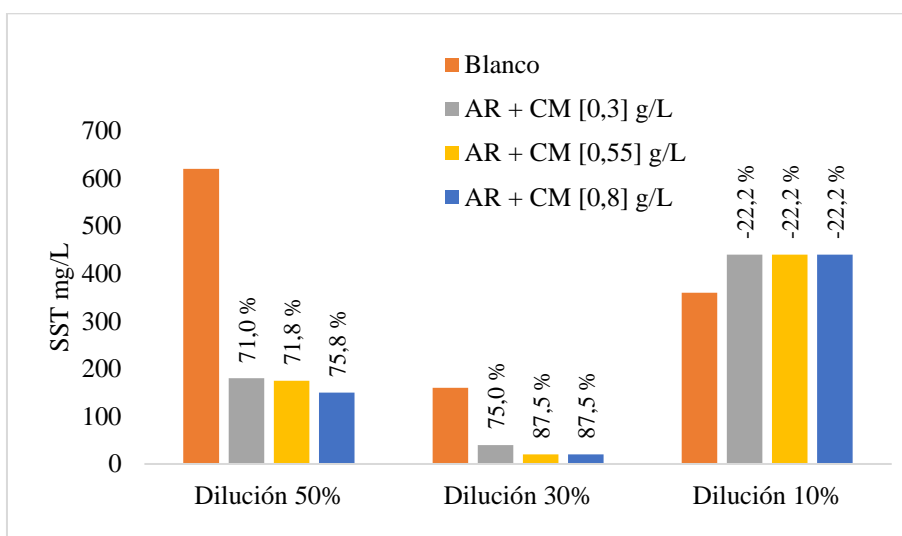


Figura 45. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del SST en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.

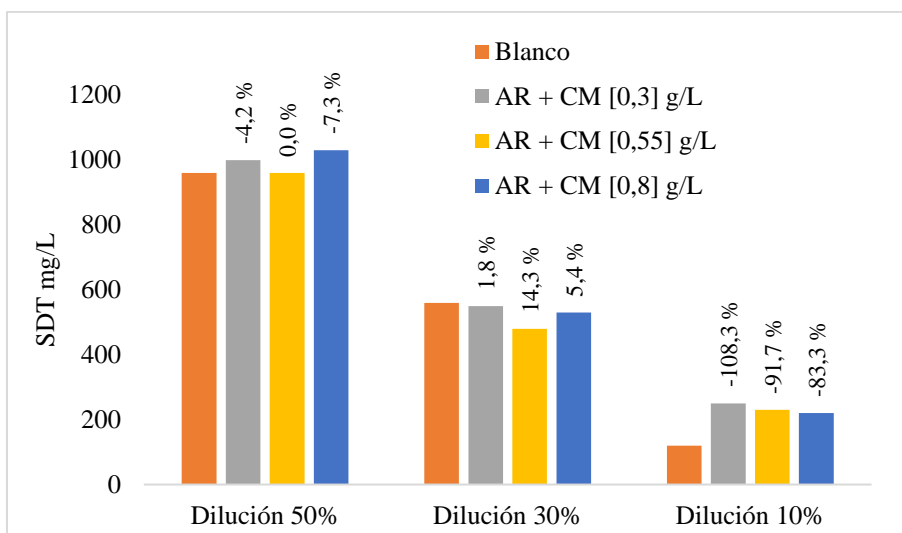


Figura 46. Resultados del efecto microalgal en porcentaje de reducción del SDT en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.

Los parámetros COLOR, SST y SDT tienen efectos en los resultados en el diseño experimental, debido; a la dilución que se realizó al agua residual y no por la concentración de microalgas inoculadas al medio, pero que a su vez las presencias de ellas bajaron los niveles altos SST por de bajos de 400 mg/L que es el máximo permisible por la normatividad vigente colombiana en vertimientos.

Cabe aclarar que para los parámetros NO_3^- , NO_2^- , $\text{NH}_3\text{-N}$, PO_4^- y COLOR para vertimientos puntuales solo se exige su análisis y reporte establecido en la normativa legal vigente colombiana.

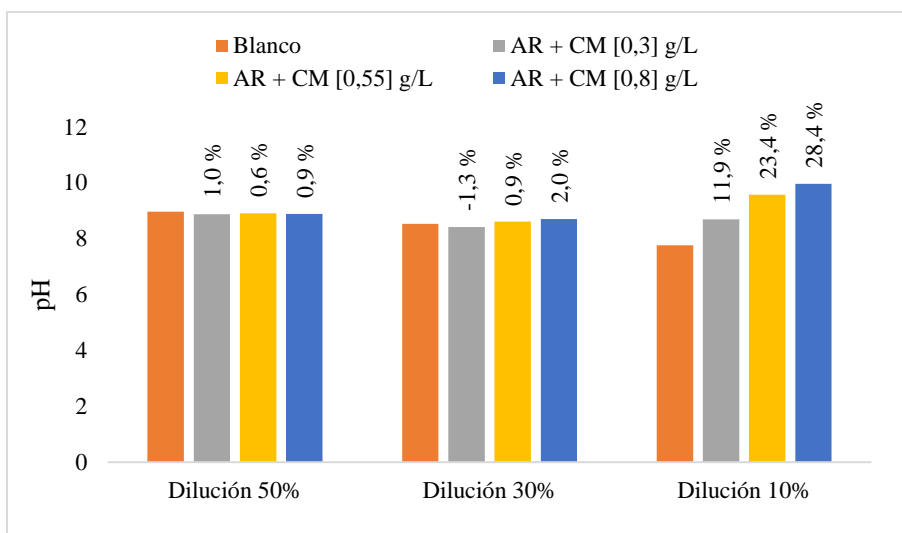


Figura 47. Resultados del efecto microalgal en porcentaje del aumento del pH en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO en tres condiciones de dilución (50, 30 y 10) % y concentración AR (agua residual) más CM (concentración de microalgas) al [0,3, 0,55 y 0,8] g/L.

El parámetro pH en el diseño experimental tiene un aumento hasta de un 28 % donde la dilución baja (0,5) y media (0,3) y las tres concentraciones aplicadas no hace que supere el valor del pH de 9 que es el máximo permisible por la normativa en vertimientos vigente.

5.5.1 valores deseables para la implementación del diseño experimental

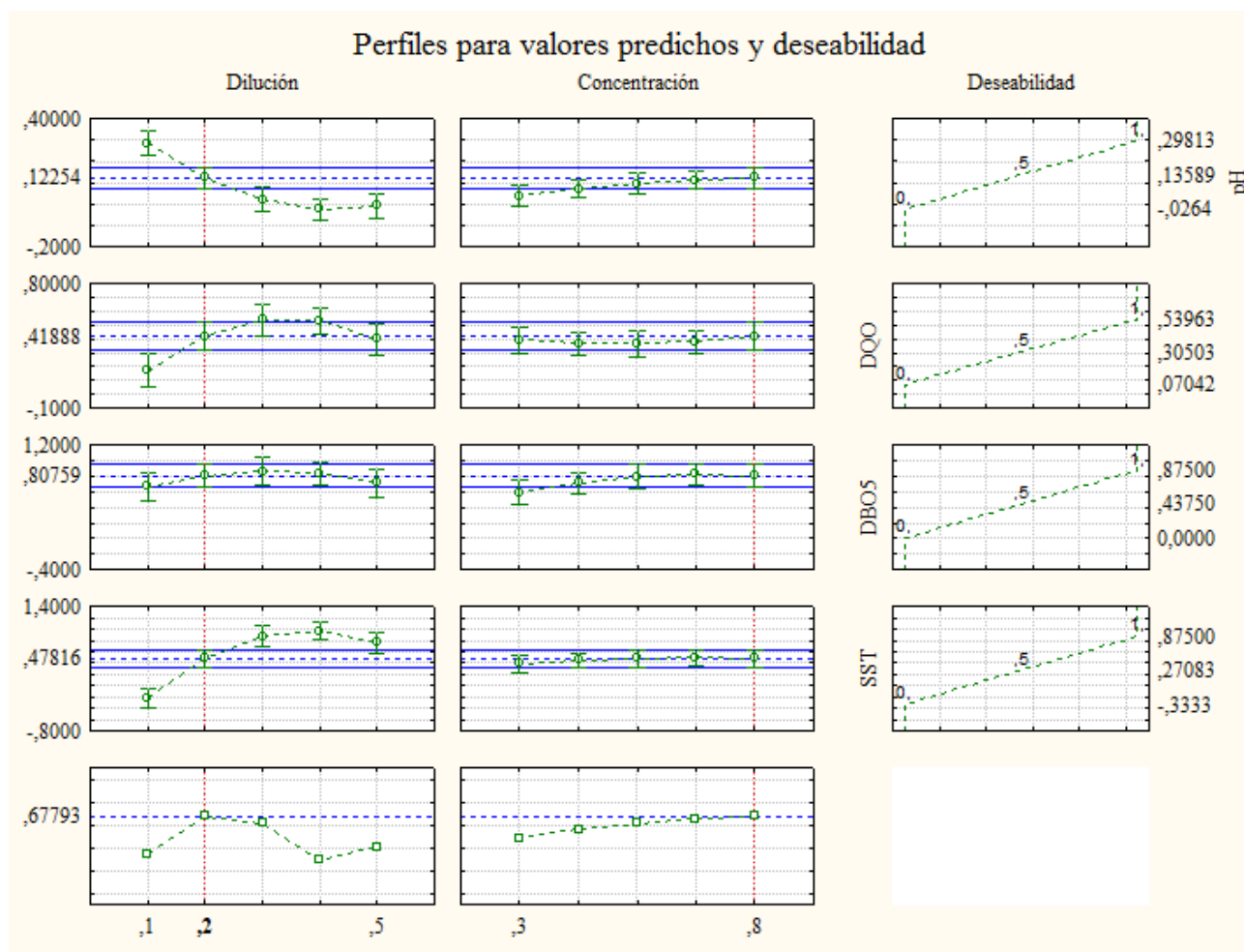


Figura 48. Perfiles para valores predichos y deseabilidad. La línea descontinua de color rojo indica los valores de optimización.

En la ilustración 48 se muestra los valores óptimos demarcada con líneas rojas punteadas en el diseño y se eligieron los variables de pH, DQO, DBO₅ y SST por ser significativos ya que la resolución 0631 de 2015 especifica sus valores máximos permisible de vertimiento. Lo que nos arroja como resultado que es óptimo la implementación en valores de dilución de 0,2 y de concentración de 0,8.

Capítulo 6. Conclusiones

Se estableció que para el consorcio microalgal el punto de mayor actividad metabólica estable, es el día 5 donde el nivel de confianza es de 95% con concentración microalgal de 0,8 g/L, en este punto se evidencia el mejor comportamiento en los cultivos para la implementación del respectivo estudio y evaluación del efecto que se tiene en aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO.

Se determinó la concentración de microalgas utilizadas para evaluar el efecto que tienen en el diseño experimental en la reducción de contaminantes del agua residual; de esta manera permitió que el diseño empleado en el presente trabajo se identificase reducciones de parámetros como DQO en un 40 a 50 %, DBO₅ en un 60 a 80 %, el OD en el agua residual tubo un aumento mayor al 60%, el NO₃⁻ se redujo hasta un 60% y el NO₂⁻ se redujo en un 70 a 80%. La mayor eficiencia de las microalgas en estos cinco parámetros se presenta en dilución media (0,3) y en concentración media (0,55).

Los parámetros NH₃⁻N y PO₄⁻ tienen reducciones significativas en dilución alta (0,1) y en las tres concentraciones empleadas hasta de un 80 a 90% a comparación de diluciones medias (0,3) y bajas (0,5) donde se obtuvo reducciones por debajo del 30% con las tres concentraciones, esto se debe a que el consorcio microalgal le dificulta absorber el NH₃⁻N en altas concentraciones evitando que se logren absorciones significativas en el agua residual y para la absorción de los PO₄⁻ le es más fácil obtener el porcentaje mínimo necesario para su desarrollo por lo que la alta dilución favorece a la reducción de estos dos parámetros.

Los parámetros COLOR, SST y SDT no son significativos por la concentración de microalgas

inoculadas al medio, implicando que el pretratamiento tiene efecto predominante en estos.

El parámetro pH en el diseño experimental aumento casi un 28% ya que las microalgas tienen la particularidad durante la captación de nutrientes y la fijación de CO_2 de disociar y liberar OH^- volviendo alcalino el medio, obteniendo valores que exceden un pH 9.

Se logró con la implementación del consorcio microalgal reducciones significativas en parámetros establecidos por la resolución 0631 de 2015 especificados en el artículo 9 que determina los niveles máximos de vertimiento puntuales para la cría de porcinos; donde parámetros de DBO_5 , DQO , pH, SST se reducen a los niveles aceptables por la presente resolución; se logra obtener valores óptimos para implementación en dilución de 0,2 g/L y de concentración de 0,8 g/L, también se alcanzó reducciones en los parámetros NO_3^- , NO_2^- , $\text{NH}_3\text{-N}$, PO_4^- y COLOR que para efecto de la presente norma solo se exige su análisis y reporte.

Capítulo 7. Recomendaciones

El diseño piloto para la estabilización del consorcio microalgal en medios sintéticos debe contar con condiciones óptimas que asegure en gran medida el aislamiento de contaminantes externos que puedan alterar los resultados de la investigación, controlando el ingreso del personal y material a usar en el lugar de trabajo.

Realizar monitoreo constante de los equipos utilizados en el montaje piloto ya que son de vital importancia su eficiente funcionamiento para evitar márgenes de error como son: capacidad de burbujeo de las bombas, luz-oscuridad de las lámparas, horario de medición y tiempo.

Las microalgas no logran estabilizarse y crecer en medios hostiles que sobrepasen su ámbito de adaptación, debido a la alta turbiedad del agua residual por presencia de materia orgánica e inorgánica que reduce el paso de la luz, factor importante para; la producción fotosintética del consorcio microalgal, por lo tanto, se recomienda diluir el agua residual porcina de la UFPSO a concentraciones menores a la mitad para su implementación.

Se recomienda evaluar el potencial de uso de estas aguas ya que la UFPSO tiene un potencial para realizar pruebas pilotos y llegar a plantear una alternativa de reusó.

Las microalgas tienen la particularidad de aumentar el pH a valores superiores a 9 por lo que se recomienda acidificar el medio con la adición de CO₂ y regular el pH, también permite mejorar procesos de desarrollo de las microalgas como la fotosíntesis.

Referencias

- Abdel Raouf, N., Al Homaidan, A. A., & Ibraheem, I. M. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 257–275. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X12000332>
- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., & I.B.M. Ibraheem, I. B. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 257–275. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X12000332>
- Andersen, R. A. (2005). *Algal culturing techniques*. UK: Elsevier.
- Christenson , L., & Sims, R. (2011). Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. *Biotechnology Advances*, 686-702.
- Gómez Luna, L. M. (2007). Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química*, 2-20.
- Mallick, N. (2002). Biotechnological potential of immobilized algae for wastewater N, P and metal removal: A review. *BioMetals*, 377-390. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1020238520948>
- Richmond, A., & Hu, Q. (2013). *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology*. UK: Garsington Road, Oxford.
- Abdel Raouf, N., Al Homaidan, A. A., & Ibraheem, I. B. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi journal of biological sciences*, 257-275.

Alcaldía Municipal de Ocaña. (05 de 07 de 2018). Recuperado el 27 de 10 de 2018, de

<http://www.ocana-nortedesantander.gov.co/municipio/nuestro-municipio>

Alcaldía Municipal de Ocaña en Norte de Santander. (2016). *Plan de desarrollo del municipio de*

de Ocaña 2016-2019. Recuperado el 13 de 8 de 2018, de

<http://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/planes/plan-de-desarrollo-es-la-hora-de-ocana-20162019>:

http://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/ocananortedesantander/content/files/000108/5376_plandedesarrolloeslahoradeocaa20162019.pdf

Amini, H., Wang, L., & Shahbazi, A. (2016). Effects of harvesting cell density, medium depth and environmental factors on biomass and lipid productivities of *Chlorella vulgaris* grown in swine wastewater. *Chemical Engineering Science*, 152, 403-412.

Arango Muñoz, L. (2015). Remoción de materia orgánica y nutrientes de aguas residuales, purines de cerdo y digestato utilizando un consorcio de microalgas-bacterias. *Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México*.

Arango Muñoz, Liz. (2015). *Remoción de materia organica y nutrientes de aguas residuales, purines de cerdo y digestato utilizando un consorcio de microalgas-bacterias*. Mexico: Tesis, Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

Argandoña Zambrano , L. E., & Macias Garcia, R. G. (2013). “Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia Colón, Cantón Portoviejo, provincia de Manabi, durante el periodo de marzo a septiembre 2013. *Tesis, Universidad Tecnica de Manabí*.

- Arias Martinez, S. A., Betancur Toro, F. M., Gomez Rojas, G., Salazar Giraldo, J. P., & Hernandez Angel, M. L. (2010). *Fitorremediacion con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas*.
- Asociacion de Empresas de Energias Renovables. (2018). *APPA*. Recuperado el 2019, de <https://www.appa.es/appa-biomasa/>
- Beltrán Rocha, J. C., Guajardo Arbosa, C., Barceló Quintal, I. D., & López Chuken, U. J. (2017). Biotratamiento de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas: Efecto del pH, nutrientes (C, N y P) y enriquecimiento con CO₂. *Revista de biología marina y oceanografía*, 417- 427.
- Bermeo Castillo, L. E. (2011). Estudio del cosechado de cultivos de microalgas en agua residual mediante técnicas de centrifugado. *Master's thesis, Universidad de Cádiz*.
- Bermeo Castillo, L. E. (2011). *Estudio del cosechado de cultivos de microalgas en agua residual mediante tecnicas de centrifugado*. Cádiz-España: Universidad de Cádiz.
- Candela Orduz, R. D. (2016). Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica. *Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia*.
- Castillo, L. E. (2011). Estudio del cosechado de cultivos de microalgas en agua residual mediante tecnica de centrifugado. *Universidad de Cadiz*.
- Cerón Hernández, V. A., Madera Parra, C. A., & Peña Varon, M. (2015). Uso de lagunas algales de alta tasa para el tratamiento de auas residuales. *Ingenieria y Desarrollo*, 33(1), 98-125.

Chalivendra, S. (2014). Bioremediation of wastewater using microalgae. *University of Dayton*, 1-190. Obtenido de

https://etd.ohiolink.edu/pg_10?0::NO:10:P10_ACCESSION_NUM:dayton1418994496

Christenson, L. (2011). Algal Biofilm Production and Harvesting System for Wastewater Treatment with biofules by products. *Universidad de Utah*.

Consejo Argentino para la información y el Desarrollo de la Biotecnología. (2007). *ArgenBio*.

Recuperado el 2019, de

<http://www.argenbio.org/index.php?action=novedades¬e=202>

Constitución Política de Colombia . (1991). Constitución Política 1991.

CORPONOR. (2012). *Sintesis Ambiental del Norte de Santander* . Recuperado el 20 de 7 de 2018, de www.corponor.gov.co:

<http://www.corponor.gov.co/corponor/planaccion20072012/2SINTESISAMBIENTALPIanacc20072012.pdf>

Diaz Uribe, E. E., Vallejo Lozada, W., Cantillo Guzman, Á., Alvis Padilla, M., & Fajardo

Rangel, C. (2018). Diaz-Uribe, C. E., Vallejo-Lozada, W., Cantillo-Guzman, Á., Alvis-Padilla, M., & Fajardo-Rangel, C. (2018). Degradación de azul de metileno bajo irradiación visible sobre electrodos de TiO₂ sensibilizados con pigmentos de clorofila extraídos de la planta. *Prospectiva*, 2(16), 7-12.

Eaton, A. D., Clescer, L. S., Rice, E. W., Greenberg, A. E., & Franson, H. H. (2005). *Standard methodsfor the examination of water and wastewater* (21st Edition ed.). Washington D.C: Centennial Edition.

El Espectrofotómetro. (2019). *Esopectrofotometría*. Recuperado el 2019, de

<https://elespectrofotometro.com/espectrofotometria/>

Fernandez Sevilla, J. M. (2014). <https://w3.ual.es>. Recuperado el 11 de 5 de 2019, de Nutrientes y medios de cultivo de microalgas:

<https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-1---generalidades/1-3-nutrientes.html>

Gaviria Arias , D., & Castaño Moreno, E. (2017). *Evaluacion y formulacion de microorganismos eficientes para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria porcicola en Risaralda*. Recuperado el 2019, de Universidad Libre de Pereira :

<http://repositorio.unilibrepereira.edu.co:8080/viewer/index.jsp?file=123456789/831/evaluacion%20y%20formulacion%20de%20microorganismos.pdf>

GilPavas, E., Medina, J., Dobrosz Gómez, I., & Gómez, M. Á. (2016). Optimización de los Costos de Operación del Proceso de Electro-oxidación para una Planta de Tratamiento de Aguas Mediante Análisis Estadístico de Superficie de Respuesta. *Información tecnológica*, 73-82.

González González, L. M. (2010). Influencia de la deficiencia de nitrógeno y fósforo en las interacciones competitivas entre *Chorella vulgaris* y *Scenedemus acutus*. *Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias y departamento de biología* .

Goyenola, G. (2007). *Trnasporencia, color y turbidez*. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuaticos .

Griffiths, M. J., Garcin, C., van Hille, R. P., & Harrison, S. T. (2011). Interference by pigment in the estimation of microalgal biomass concentration by optical density. *Journal of microbiological methods*, 2(85), 119-123.

Gutiérrez Pulido, H., & Román de la Vara, S. (2004). *Análisis y diseño de experimentos*. México: Mcgraw Hill.

Hernández Pérez, A., & Labbé, J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de biología marina y oceanografía*, 157-173.

Hernández Pérez, A., & Labbé, J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de biología marina y oceanografía*, 157-173.

Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación, Sexta Edición México. *DF, Editores, SA de CV*. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

Hernandez-Perez, A., & I. Labbé, J. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, Vol. 49, 157-173.

IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá, D. C. Colombia. Obtenido de <http://www.siac.gov.co/infonalagua>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2004). *Fosforo total en agua por digestion acida, metodo del acido ascorbico*.

Izar Landeta, J. M. (1998). *Elementos de métodos numéricos para Ingeniería*. UASLP.

- Khanh, N., Kitaya, Y., Xiao, L., Endo, R., & Shibuya, T. (2013). Selection of microalgae suitable for culturing with digestate from methane fermentation. *Environmental technology*, 34, 13-14.
- Kim, E. J., Cho, J. H., Noh, K. H., & Hwang, S. J. (2016). Effect of high free ammonia concentration on microalgal growth and substrate uptake. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 715-723.
- Kim, S. K. (2015). *Handbook of Marine Microalgae: Biotechnology Advances*. UK: Academic Press.
- Kumar Prajapati, S., Kaushik, P., Malik, A., & Kumar Vijay, V. (2013). Phycoremediation and biogas potential of native algal isolates from soil and wastewater. *Bioresource Technology*, 232-238. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/journal/bioresource-technology/vol/135>
- Kuo, C. M., Chen, T. Y., Lin, T. H., Kao, C. Y., Lai, J. T., Chang, J. S., & Lin, C. S. (2015). Cultivation of *Chlorella* sp. GD using piggery wastewater for biomass and lipid production. *Bioresource technology*, 194, 326-333.
- Kwon, G., Nam, J. H., Kim, D. M., Song, C., & Jahng, D. (2019). Growth and nutrient removal of *Chlorella vulgaris* in ammonia-reduced raw and anaerobically-digested piggery wastewaters. *Environmental Engineering Research*.
- Ley General Ambiental de Colombia . (1993). LEY 99 DE 1993 .

- Li, X., Yang, W. L., He, H., Wu, S., Zhou, Q., Yang, C., & Lou, W. (2018). Responses of microalgae *Coelastrella* sp. to stress of cupric ions in treatment of anaerobically digested swine wastewater. *Bioresource technology*, 251, 274-279.
- Lizarazo Becerra , J. M., & Orjuela Gutierrez, M. I. (2013). Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. *Universidad Nacional de Colombia* .
- Macedo Riva, A. (2018). Evaluación de la capacidad de remoción de nitratos y fosfatos de la microalga, *Desmodesmus asymmetricus*, en aguas residuales de PETAR-TABOADA Callao.
- Mera Proaño, S. E. (2015). Optimización del proceso de centrifugación para separar biomasa proveniente de microalgas. *Trabajo de grado, Universidad Central del Ecuador*.
- Mera-Alegria , C. F., Guitierrez- Salamanca , M. L., Montes-Rojas, C., & Paz-Concha, J. P. (2016). Efecto de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* , 100-109.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (18 de 4 de 2015). Resolución 631 DE 2015.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (13 de 12 de 2004). Resolución Número (1433) 13 de Diciembre de 2004.
- Novoveská, L., Zapata, A., Zabolotney, J. B., Atwood, M. C., & Sundstrom, E. R. (2016). Optimizing microalgae cultivation and wastewater treatment in large-scale offshore photobioreactor novovesk. *Algas Research*, 86-94.
- Olarte Gómez, E. A., & Valencia Giraldo, M. J. (2016). Evaluación del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de aguas residuales industriales (vinazas).

- Olarte Gomez, E., & Valencia Giraldo , M. J. (2016). *Evaluacion del uso de la microalga Chlorella vulgaris en el tratamiento de aguas residuales industriales (Vinazas)*. Universidad Abierta y a Distancia, Escuela de ciencias agrarias y del ambiente.
- Ortiz Moreno, M., Cortés-Castillo, C., Sanchez-Villaraga, J., Padilla, J., & Otero-Paternina, A. (2012). Evaluacion del crecimiento de la microalga chlorella sorokiniana en diferentes medio de cultivo en condiciones autotroficas y mixotroficas. *ORINOQUIA-Universidad de los Llanos,Meta*, Vol.16 No 1.
- Pacheco Carrascal, M., & Vergel Quintero, D. (2016). Atractivos turísticos de Ocaña y su región. *Revista Científica Profundidad Construyendo Futuro*, 72-77.
- Peña Pulla, E. (2007). Trabajo de investigación Oxígeno Disuelto (OD). *Escuela Superior Politecnica del Litoral*.
- Pérez Garía, R. O. (2009). Eliminación de nutrientes para el tratamiento biológico de agua residual usando un sistema inmovilizado microalga-bacteria en crecimiento autotrófico, heterotrófico y mixotrófico. *Centro de investigaciones biológicas del noroeste, s.c. Programa de estudio de progrado.*, 1-162.
- Pittman, J. K., Dean, A. P., & Osundeko, O. (2011). The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. *Bioresource Technology*, 17-25. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410010163>
- Putz, P. (2008). *Eliminacion y determinacion de fosfato*. HACH .
- Ramos, R., & Pizarro, R. (2018). Crecimiento y capacidad de biorremediación de *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) cultivada en aguas residuales generadas en el

- cultivo del pez dorado *Seriola lalandi* (Perciformes: Carangidae). *Revista de biología marina y oceanografía*, 75-86.
- Republica de Colombia Ministerio de Agricultura . (1978). Decreto 1541 DE 1978 julio 26.
- Ruiz de Maya, S., & López, I. (2013). Metodología del diseño experimental. In *Métodos de investigación social y de la empresa*. *ResearchGate*, 485-502.
- Ruiz Martinez, A. (2011). *Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminacion de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente*. Valencia-España: Universidad Politecnica de Valencia.
- Sánchez Gil, L. F., & Vélez, Y. F. (2016). Diseño y evaluación de un sistema piloto para la descontaminacion de aguas residuales generadas en la UFPSO, empleando las especies *costus spicatus* y *heliconia psittacorum*. Ocaña: *Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña*.
- Sanchez Perez, G. (2002). Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia. *Economia y Desarrollo*, vol.1. 80-98.
- Santin Torres, J., & Bermeo Castillo, L. E. (2010). Estudio, diseño y seleccion de la tecnologia adecuada para el tratamiento de aguas residuales domesticas para poblaciones menores a 2000 habitantes en la ciudad de Gonzanamá. *Tesis, Universidad Tecnica Particular de Loja*.
- Soriano Molina, P. (2015). Planta demostración de depuración de aguas residuales con microalgas.
- StatSoft. (2004). *Software Statistica 7.0*.

- Thackery, E., & Harris, M. (2018). *The gale Encyclopedia of Science*. Recuperado el 8 de 11 de 2018, de bioremediation: <http://www.encyclopedia.com/science/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/bioremediation-0#D>
- Torres, P., Patiño, P. J., & Cruz, C. H. (2009). Indices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. revisión crítica. *Revista de Ingenierías Universidad de Medellín*.
- Travieso, L., Benitez, F., & Dupeyrón, R. (1999). Algae growth potential measurement in distillery wastes. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 62(4), 483-489.
- Twenergy. (10 de abril de 2014). *twenergy*. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de <https://twenergy.com/co/a/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia-1142>
- Univercidad Francisco de Paula Santander Ocaña. (s.f.). *Univercidad Francisco de Paula Santander Ocaña*. Recuperado el 03 de 10 de 2018, de ufpso.edu.co: <https://ufpso.edu.co/granja>
- Vera, C., Camilloni, I., & Argentina Ministerio de Educación, C. y. (2007). *El ciclo del agua: Ciencias naturales*. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología. Obtenido de <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002315.pdf>

Apéndice

Apéndice A. Tabla Anova del Diseño Experimental

Tabla 10

Anova DV: DBO₅.

ANOVA; Var: DBO₅; R²=0,83651; Aj:0,69119
(estadística 3 ^ 2)
2 factores de 3 niveles, 1 bloques, 18 carreras;
CM Residual=0,0131535
VD: DBO₅

Factor	SC	GL	CM	F	Valor-p
(1)Dilución(L)	0,068576	1	0,068576	5,21350	0,048300
(1)Dilución(Q)	0,252121	1	0,252121	19,16761	0,001776
(2)Concentración(L)	0,087087	1	0,087087	6,62086	0,030034
(2)Concentración(Q)	0,005465	1	0,005465	0,41548	0,535285
1L by 2L	0,000772	1	0,000772	0,05867	0,814044
1L by 2Q	0,003070	1	0,003070	0,23338	0,640565
1Q by 2L	0,018167	1	0,018167	1,38119	0,270053
1Q by 2Q	0,000098	1	0,000098	0,00747	0,933004
Error	0,118381	9	0,013153		
Total CM	0,724095	17			

La tabla 10 permite analizar las variables de mayor significancia resaltadas con color rojo, la relación de aceptación de la significancia observada (valor-p) da como resultado las variables de dilución (Q), (2) concentración (L) y (1) dilución (L) las de mejor comportamiento para el estudio estadístico de las pruebas.

Tabla 11*Anova DV: DQO.*

ANOVA; Var: DQO; R² =,88655; Aj:,7857
(estadística 3 ^ 2)
2 factores de 3 niveles, 1 bloques, 18 carreras;
CM Residual =,0051697
VD: DQO

Factor	SC	GL	CM	F	Valor-p
(1)Dilución(L)	0,069927	1	0,069927	13,52635	0,005093
(1)Dilución(Q)	0,204288	1	0,204288	39,51665	0,000143
(2)Concentración(L)	0,009273	1	0,009273	1,79375	0,213308
(2)Concentración(Q)	0,053842	1	0,053842	10,41492	0,010369
1L by 2L	0,004352	1	0,004352	0,84179	0,382815
1L by 2Q	0,021571	1	0,021571	4,17255	0,071455
1Q by 2L	0,011760	1	0,011760	2,27486	0,165761
1Q by 2Q	0,013135	1	0,013135	2,54074	0,145407
Error	0,046527	9	0,005170		
Total CM	0,410108	17			

La tabla 11 permite analizar las variables de mayor significancia resaltadas con color rojo, la relación de aceptación de la significancia observada (valor-p) da como resultado las variables de (1) dilución (L), dilución (Q) y concentración (Q), las de mejor comportamiento para el estudio estadístico de las pruebas.

Tabla 12*Anova DV: OD.*

ANOVA; Var: OD; R²= 0, 89982; Aj: 0,81076
(estadística 3 ^ 2)
2 factores de 3 niveles, 1 bloques, 18 carreras;
MS Residual= 0,0311541
VD: OD

Factor	SC	GL	CM	F	Valor-p
(1)Dilución(L)	1,604919	1	1,604919	51,51553	0,000052
(1)Dilución(Q)	1,700875	1	1,700875	54,59558	0,000042
(2)Concentración(L)	0,067053	1	0,067053	2,15231	0,176409
(2)Concentración(Q)	0,005649	1	0,005649	0,18131	0,680248
1L by 2L	0,384506	1	0,384506	12,34209	0,006586
1L by 2Q	0,009359	1	0,009359	0,30040	0,596959
1Q by 2L	0,462254	1	0,462254	14,83768	0,003895
1Q by 2Q	0,011958	1	0,011958	0,38382	0,550923
Error	0,280387	9	0,031154		
Total CM	2,798698	17			

La tabla 12 permite analizar las variables de mayor significancia que se resaltan en color rojo, la variable de dilución (Q) y dilución (L), 1Qby2L y 1Lby2L, tienen significancia estadística (valor-P) dando aceptación a estas variables independiente al diseño estadístico.

Tabla 13*Anova DV: NO₃-.*

ANOVA; Var: NO₃-; R²= 0,96538; Aj 0,9346
(estadística 3 ^ 2)
2 factores de 3 niveles, 1 bloques, 18 carreras;
CM Residual=,0029231
VD: NO₃-

Factor	SC	GL	CM	F	Valor-p
(1)Dilución(L)	0,001276	1	0,001276	0,43641	0,525407
(1)Dilución(Q)	0,181694	1	0,181694	62,15770	0,000025
(2)Concentración(L)	0,035116	1	0,035116	12,01329	0,007093
(2)Concentración(Q)	0,002494	1	0,002494	0,85334	0,379710
1L by 2L	0,002139	1	0,002139	0,73191	0,414459
1L by 2Q	0,000737	1	0,000737	0,25214	0,627628
1Q by 2L	0,006362	1	0,006362	2,17642	0,174244
1Q by 2Q	0,001078	1	0,001078	0,36870	0,558720
Error	0,026308	9	0,002923		
Total CM	0,759815	17			

La tabla 13 permite analizar las variables de mayor significancia resaltadas en color rojo, la relación con la variable dependiente, la dilución (Q) y (2) Concentración (L) una con tendencia cuadrática y la segunda con tendencia lineal respectivamente tienen aceptación por el diseño estadístico por debajo de 0,05 ajustando, son las variables independientes con el mejor comportamiento para la prueba.

Tabla 14*Anova DV: NO2-*

ANOVA; Var: NO2-; R²= 0,9614; Aj: 0,92709
(estadística 3 ^ 2)
2 factores de 3 niveles, 1 bloques, 18 carreras;
CM Residual= 0,0028472
VD: NO2-

Factor	SC	GL	CM	F	Valor-p
(1)Dilución(L)	0,181875	1	0,181875	63,87809	0,000022
(1)Dilución(Q)	0,002529	1	0,002529	0,88815	0,370586
(2)Concentración(L)	0,016253	1	0,016253	5,70826	0,040611
(2)Concentración(Q)	0,009678	1	0,009678	3,39901	0,098341
1L by 2L	0,024198	1	0,024198	8,49877	0,017164
1L by 2Q	0,013541	1	0,013541	4,75597	0,057098
1Q by 2L	0,012734	1	0,012734	4,47248	0,063570
1Q by 2Q	0,006038	1	0,006038	2,12051	0,179319
Error	0,025625	9	0,002847		
Total CM	0,663850	17			

La tabla 14 permite analizar las variables de mayor significancia resaltadas en color rojo, la relación con la variable dependiente, la (1) dilución (L), (2) concentración (L) y 1L by 2L todas con tendencia lineal tienen aceptación por el diseño estadístico por debajo de 0,05 ajustando, son las variables independientes con el mejor comportamiento.

Tabla 15*Anova DV: NH₃-N.*

Factor	ANOVA; Var: NH ₃ -N; R ² = 0,88462; Aj: 0,78205 (estadística 3 ^ 2) 2 factores de 3 niveles, 1 bloques, 18 carreras; CM Residual = 0,0462179 VD: NH ₃ -N				
	SC	GL	CM	F	Valor-p
(1)Dilución(L)	0,052194	1	0,052194	1,129304	0,315605
(1)Dilución(Q)	0,383330	1	0,383330	8,293960	0,018180
(2)Concentración(L)	0,000000	1	0,000000	0,000005	0,998303
(2)Concentración(Q)	0,053959	1	0,053959	1,167491	0,308020
1L by 2L	0,000300	1	0,000300	0,006488	0,937562
1L by 2Q	0,236369	1	0,236369	5,114238	0,050056
1Q by 2L	0,002320	1	0,002320	0,050190	0,827737
1Q by 2Q	0,309600	1	0,309600	6,698690	0,029301
Error	0,415961	9	0,046218		
Total CM	3,605042	17			

La tabla 15 permite analizar las variables de mayor significancia resaltadas en color rojo, la relación con la variable dependiente, la dilución (Q) y 1Q by 2Q ambas cuadráticas son aceptadas por el diseño estadístico por debajo de 0,05 ajustando, son las variables independientes con el mejor comportamiento.

Tabla 16*Anova DV: PO₄ -.*

ANOVA; Var:PO4 -; R²= 0,97559; Aj: 0,9539
(estadística 3 ^ 2)
2 factores de 3 niveles, 1 bloques, 18 carreras;
CM Residual= 0,0093435
VD: PO4 -

Factor	SC	GL	CM	F	Valor-p
(1)Dilución(L)	0,133589	1	0,133589	14,29746	0,004341
(1)Dilución(Q)	0,302734	1	0,302734	32,40038	0,000297
(2)Concentración(L)	0,113506	1	0,113506	12,14804	0,006880
(2)Concentración(Q)	0,001021	1	0,001021	0,10928	0,748529
1L by 2L	0,017491	1	0,017491	1,87200	0,204429
1L by 2Q	0,049403	1	0,049403	5,28741	0,047043
1Q by 2L	0,040633	1	0,040633	4,34882	0,066681
1Q by 2Q	0,028873	1	0,028873	3,09011	0,112640
Error	0,084092	9	0,009344		
Total CM	3,445188	17			

La tabla 16 permite analizar las variables de mayor significancia resaltadas en color rojo, la relación con la variable dependiente, la (1) dilución (L), dilución (Q), (2) concentración (L) y 1L by 2Q tienen aceptación por el diseño estadístico por debajo de 0,05 ajustando, son las variables independientes con el mejor comportamiento a la prueba.

Tabla 17*Anova DV: COLOR.*

ANOVA; Var: Color; R²= 0,96061; Aj: 0,92559
(estadística 3²)
2 factores de 3 niveles, 1 bloques, 18 carreras;
CM Residual= 0,0060221
DV: Color

Factor	SC	GL	CM	F	Valor-p
(1)Dilución(L)	0,013452	1	0,013452	2,23385	0,169227
(1)Dilución(Q)	0,214284	1	0,214284	35,58307	0,000211
(2)Concentración(L)	0,027584	1	0,027584	4,58055	0,060999
(2)Concentración(Q)	0,004500	1	0,004500	0,74732	0,409775
1L by 2L	0,016315	1	0,016315	2,70912	0,134184
1L by 2Q	0,003724	1	0,003724	0,61842	0,451845
1Q by 2L	0,015179	1	0,015179	2,52061	0,146829
1Q by 2Q	0,001346	1	0,001346	0,22357	0,647587
Error	0,054199	9	0,006022		
Total CM	1,375842	17			

En la tabla 17 el resultado significativo es la variable dilución (Q) demarcada en color rojo con un valor por debajo de 0,05 que permite identificar la mayor significancia que se tiene con relación a la variable de respuesta.

Tabla 18*Anova DV: SST.*

Factor	ANOVA; Var: SST; R ² = 0,97271; Aj: 0,94845 (estadística 3 ^ 2) 2 factores de 3 niveles, 1 bloques, 18 carreras; CM Residual= 0,0127235 VD: SST				
	SC	GL	CM	F	Valor-p
(1)Dilución(L)	0,032973	1	0,032973	2,5916	0,141896
(1)Dilución(Q)	1,346515	1	1,346515	105,8294	0,000003
(2)Concentración(L)	0,000089	1	0,000089	0,0070	0,935351
(2)Concentración(Q)	0,001330	1	0,001330	0,1045	0,753823
1L by 2L	0,002935	1	0,002935	0,2307	0,642494
1L by 2Q	0,004122	1	0,004122	0,3239	0,583170
1Q by 2L	0,006775	1	0,006775	0,5325	0,484135
1Q by 2Q	0,004426	1	0,004426	0,3479	0,569831
Error	0,114511	9	0,012723		
Total CM	4,196135	17			

La tabla 18 permite analizar las variables de mayor significancia resaltadas en color rojo, la relación con la variable dependiente, la dilución(Q) con tendencia cuadrática tienen aceptación por el diseño estadístico por debajo de 0,05 ajustando, es la variable independiente con el mejor comportamiento en la prueba.

Tabla 19*Anova DV: SDT.*

ANOVA; Var: SDT; R²= 0,88018; Aj: 0,77367
(estadística 3 ^ 2)
2 factores de 3 niveles, 1 bloques, 18 carreras;
CM Residual= 0,0577409
DV: SDT

Factor	SC	GL	CM	F	Valor-p
(1)Dilución(L)	0,036052	1	0,036052	0,62437	0,449746
(1)Dilución(Q)	1,266741	1	1,266741	21,93835	0,001146
(2)Concentración(L)	0,017937	1	0,017937	0,31064	0,590876
(2)Concentración(Q)	0,001221	1	0,001221	0,02114	0,887599
1L by 2L	0,002242	1	0,002242	0,03883	0,848163
1L by 2Q	0,001657	1	0,001657	0,02869	0,869236
1Q by 2L	0,003617	1	0,003617	0,06265	0,807981
1Q by 2Q	0,002956	1	0,002956	0,05119	0,826064
Error	0,519669	9	0,057741		
Total CM	4,337027	17			

La tabla 19 permite analizar las variables de mayor significancia resaltadas en color rojo, la relación con la variable dependiente, la dilución(Q) con tendencia cuadrática tienen aceptación por el diseño estadístico por debajo de 0,05 ajustando, es la variable independiente con el mejor comportamiento en la prueba.

Tabla 20*Anova DV: pH.*

ANOVA; Var: pH; R²= 0,94894, Aj: 0,90356
(estadística 3 ^ 2)
2 factores de 3 niveles, 1 bloques, 18 carreras;
CM Residual= 0,0012742
VD: pH

Factor	SC	GL	CM	F	Valor-p
(1)Dilución(L)	0,000558	1	0,000558	0,43761	0,524849
(1)Dilución(Q)	0,037392	1	0,037392	29,34485	0,000423
(2)Concentración(L)	0,009921	1	0,009921	7,78593	0,021043
(2)Concentración(Q)	0,000633	1	0,000633	0,49680	0,498741
1L by 2L	0,000511	1	0,000511	0,40141	0,542126
1L by 2Q	0,000004	1	0,000004	0,00293	0,958000
1Q by 2L	0,001659	1	0,001659	1,30167	0,283357
1Q by 2Q	0,000129	1	0,000129	0,10143	0,757386
Error	0,011468	9	0,001274		
Total CM	0,224615	17			

La tabla 20 permite analizar las variables de mayor significancia resaltada con color rojo, mostrando la relación de aceptación (valor-p) y teniendo como resultado las variables de dilución(Q) y (2) Concentración (L), rechazando la hipótesis nula.

Apéndice B. Tablas de Datos Arrojados en los Tratamientos del Diseño Experimental

Tabla 21

Tratamiento al 10% de agua residual inoculada con el consorcio microalgal

Parámetros	Unidad	Muestra	Blanco	AR +	AR +	AR +	AR +	AR +	AR +
				CM	CM	CM	CM	CM	CM
				[0,3]-1	[0,3]-2	[0,5]-1	[0,5]-2	[0,8]-1	[0,8]-2
pH	s.u	7,97	7,765	8,2	9,18	9,305	9,855	9,86	10,08
DQO	mg/L	216	213	175	138	193	183	198	154
DBO5	mg/L	100	90	50	90	45	30	30	30
NH ₃ -N	mg/L	18,35	9,05	0,99	0,91	1,07	0,975	1,085	1,075
NO ₃ ⁻	mg/L	70,4	80,08	42,3	59,4	62,04	59,8	74,3	78,32
NO ₂ ⁻	mg/L	0,224	8,19	0,181	0,145	0,145	0,145	0,174	0,158
PO ₄ ⁻	mg/L	8,2	8,3	0,345	0,285	0,905	0,27	2,75	3,1
Color	UptCo	247,5	215	192	192	202	196,5	219	202
SST	mg/L	380	360	420	460	400	480	480	400
SDT	mg/L	830	120	200	300	260	200	220	220
OD	mg/L	6,015	7	7,67	9,54	7,79	9,525	7,73	10,36

*AR (agua residual), CM (consorcio microalgal) y [] (concentración de microalgas).

Tabla 22

Tratamiento al 30% de agua residual inoculada con el consorcio microalgal

Parámetros	Unidad	Muestra	Blanco	AR + CM [0,3]-1	AR + CM [0,3]-2	AR + CM [0,5]-1	AR + CM [0,5]-2	AR + CM [0,8]-1	AR + CM [0,8]-2
pH	s.u	8,535	8,31	8,31	8,535	8,6	8,625	8,71	8,7
DQO	mg/L	413	328	177	179	197	158	152	151
DBO5	mg/L	400	200	45	40	25	25	25	30
NH ₃ N	mg/L	20,55	22,15	5,65	25,705	28,1	27,45	13,8	14,05
NO ₃ ⁻	mg/L	217,8	138,6	49,28	47,08	51,92	53,24	56,32	55,88
NO ₂ ⁻	mg/L	0,8415	2,025	0,355	0,435	0,409	0,396	0,472	0,548
PO ₄ ⁻	mg/L	9	9,7	9,55	9,5	7,55	7,45	9,4	9,8
Color	UptCo	1118,5	705	308,5	287,5	289	273,5	270,5	276
SST	mg/L	170	160	20	60	20	20	20	20
SDT	mg/L	290	560	560	540	500	460	540	520
OD	mg/L	0,025	3,615	4,05	5,855	6,475	7,155	7,955	8,105

*AR (agua residual), CM (consorcio microalgal) y [] (concentración de microalgas).

Tabla 23*Tratamiento al 50% de agua residual inoculada con el consorcio microalgal*

Parámetros	Unidad	Muestra	Blanco	AR + CM [0,3]-1	AR + CM [0,3]-2	AR + CM [0,5]-1	AR + CM [0,5]-2	AR + CM [0,8]-1	AR + CM [0,8]-2
pH	s.u	7,65	8,97	8,84	8,92	9	8,83	8,86	8,92
DQO	mg/L	448	400	238	233	335	316	248	233
DBO5	mg/L	420	140	40	50	40	50	40	40
NH ₃ N	mg/L	15,05	27	27,1	28,3	25,45	27,95	26,5	25,95
NO ₃ ⁻	mg/L	532,4	292,6	120,78	120,34	109,12	111,98	109,78	126,5
NO ₂ ⁻	mg/L	1,254	0,875	0,5016	0,38	0,465	0,48	0,224	0,372
PO ₄ ⁻	mg/L	9,5	8,6	7,3	10,05	10,4	9,65	9,4	11,3
Color	UptCo	1726	1711	483	510,5	480	485,5	475,5	1016
SST	mg/L	680	620	160	200	170	180	220	80
SDT	mg/L	980	960	860	1140	940	980	1040	1020
OD	mg/L	0,14	6,05	6,745	6,765	6,47	6,535	6,65	6,55

*AR (agua residual), CM (consorcio microalgal) y [] (concentración de microalgas).

Apéndice C. Crecimiento Microalgal en Agua Residual del Diseño Experimental

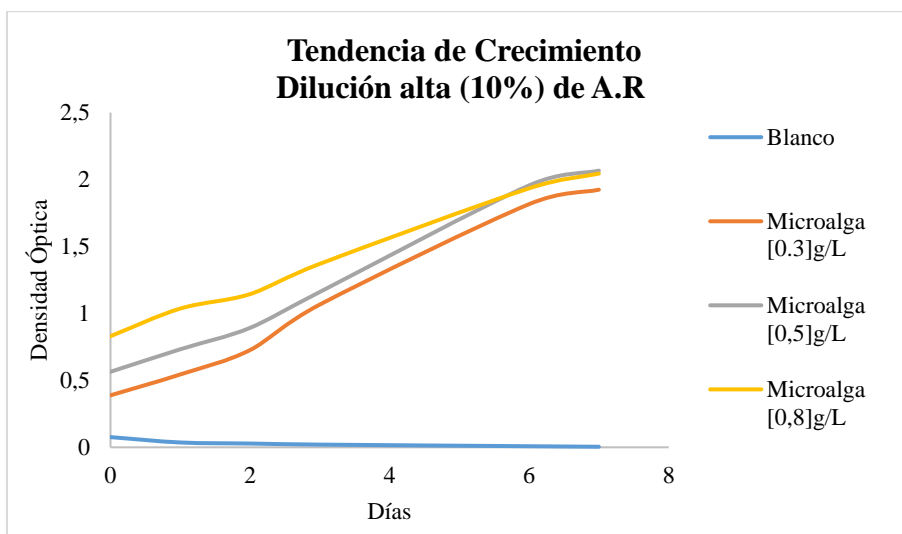


Figura 49. Seguimiento de crecimiento del consorcio microalgal en el agua residual A.R diluida al 10%.

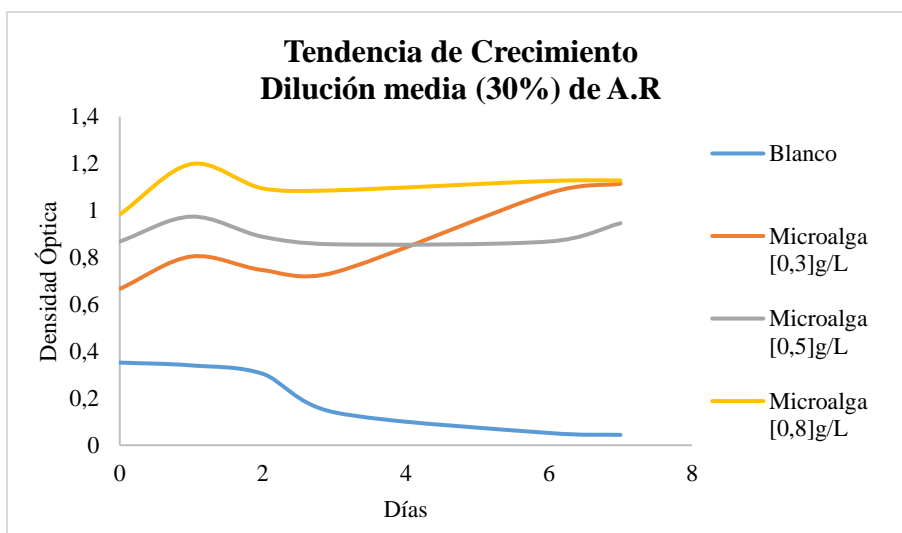


Figura 50. Seguimiento de crecimiento del consorcio microalgal en el agua residual A.R diluida al 30%.

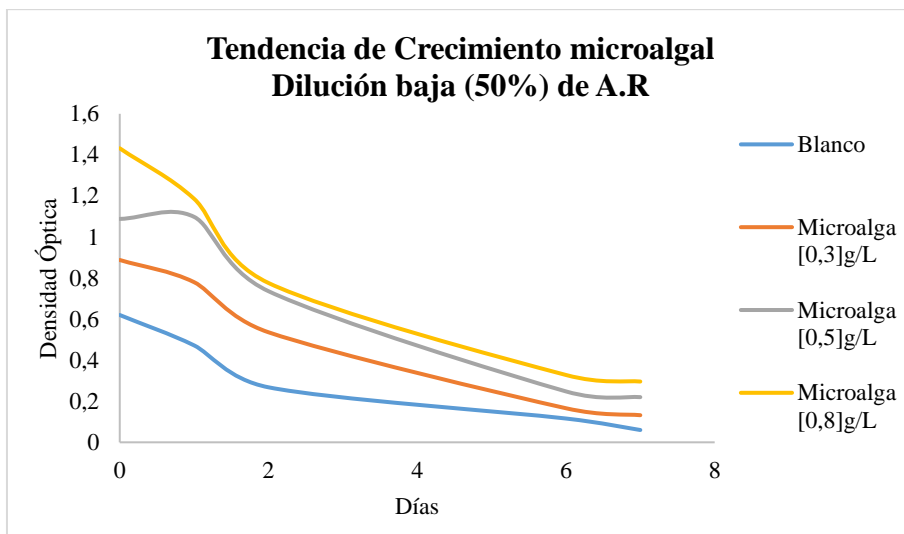


Figura 51. Seguimiento de crecimiento del consorcio microalgal en el agua residual A.R diluida al 50%.

Apéndice D. Registro Fotográfico del Montaje Experimental

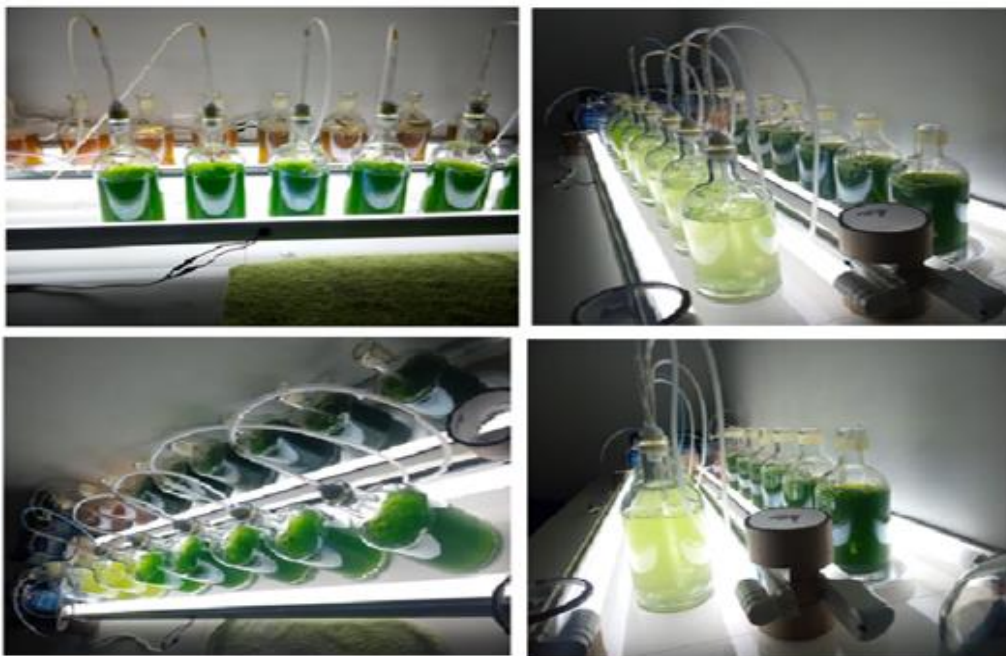


Figura 52. Montaje experimental ubicado en el laboratorio de aguas de la UFPSO.

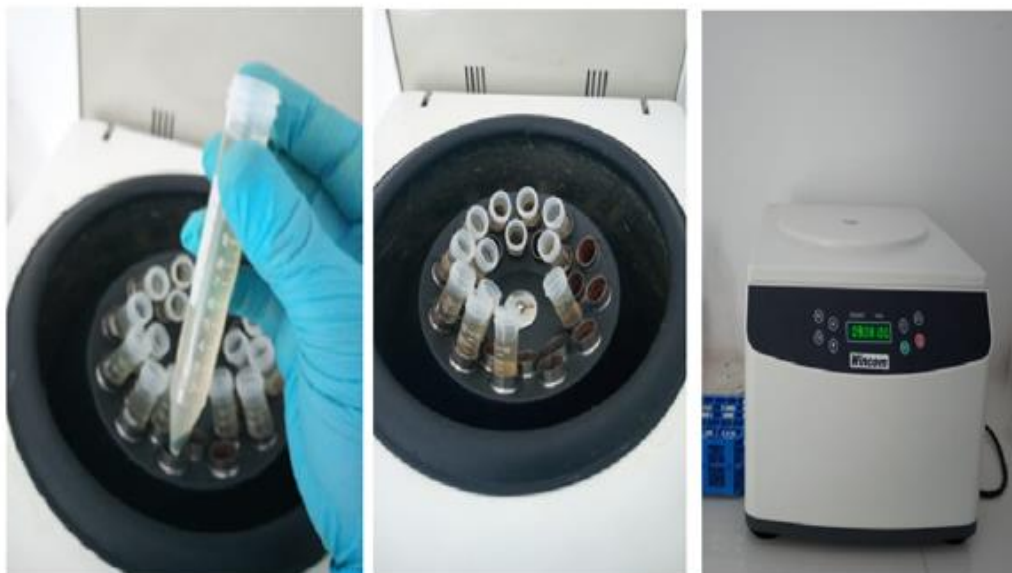



Figura 53. Registros de proceso de centrifugación de las microalgas para inóculos en agua residual.




Figura 54. Registro de pruebas fisicoquímicos en el laboratorio de aguas de la UFPSO.

Apéndice E. Participación en Representación del Semillero de Investigación Ambiental y Saneamiento Básico SIASB de la Universidad Francisco de Paula Santander UFPSO



5th INTERNATIONAL WEEK OF SCIENCE TECHNOLOGY & INNOVATION
NOVEMBER 20 - 23, 2018

EVENTO INTERNACIONAL



SIES +
Educación por Norte de Santander

TITULO
BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE UN CONSORCIO DE ALGAS NATIVAS DE LA REGIÓN DE OCAÑA NORTE DE SANTANDER.

¹José Fernando Silva García, ²Carlos Mario Narváez Cueto, ³Luis Carlos Fonseca Herrero, ⁴Vladíslav Kafilov
^{1,2}Universidad Francisco de Paula Santander – Ocaña, Colombia, ³Universidad Industrial de Santander – Bucaramanga, Colombia
⁴Grupo de Investigación GIG@DS

INTRODUCCIÓN

Dos tercios del planeta son agua, pero la mayoría no es potable; la expansión de la población y el acelerado desarrollo industrial han deteriorado sus condiciones espacialmente de las aguas dulces, este deterioro genera acumuladas de residuos y vertimientos en las aguas receptoras dando origen a aguas residuales[1]. Los efluentes se caracterizan por un alto contenido de materia orgánica y nutrientes, cuya eliminación es incontrolada en el ambiente [2].

Se dice que Colombia es uno de los países más ricos en el recurso hídrico con extensos cursos que se encuentran en todo el territorio. El Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM) realiza el monitoreo de la calidad de las fuentes hídricas por estimación de las cargas contaminantes puntuales vertidas por los sectores industriales, domésticos y agrícolas entre otros. En el censo nacional de agua 2014 [3], se asegura que cuando las concentraciones de contaminantes son elevadas, los vertimientos afectan la fauna y flora, lo cual ocurre en la mayoría de las ciudades y municipios del país con exceso a cada vez mayor la preocupación por preservar los recursos del ambiente y más lo generado el desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales [2]. La biorremediación es una de las nuevas tecnologías la cual es el proceso de eliminar o neutralizar contaminantes presentes en el agua con organismos vivos [4].

Las microalgas son un recurso biológico que últimamente se ha estudiado y aplica la selección por rasgos muchas razones entre las que se destaca que son capaces de servir de doble papel de biorremediación de aguas residuales, así como producción para bioenergía. El principal problema de la liberación de aguas residuales tiere en contaminantes orgánicos y químicos como fitoatoxinas y estratoxinas es la eutrofización, para evitar ser eutrofizada mediante la selección de las microalgas ya que utilizan estos compuestos para su crecimiento, eliminan el exceso de nutrientes en aguas residuales[5].

RESULTADOS

No han determinado curvas de crecimiento de los dos consorcios microalgales en los medios de cultivos en aproximadamente 10 días, con un tipo de crecimiento exponencial, observando que las condiciones ideales de estabilidad de crecimiento se encuentran entre los días 6-9 aproximadamente.

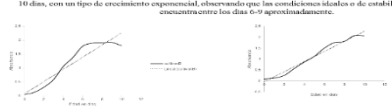


Fig.1. Curvas de crecimiento, cultivo A (□) y B (●)




Fig.2. Montaje experimental para cultivo de microalgas

Se realizó un análisis bioquímico al agua residual del proyecto por parte de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña para buscar los mejores medios de cultivo para el proceso de biorremediación con un consorcio formado con aguas residuales.

Análisis bioquímico	
Parámetro	Medida
PH	7,88
DMO	450
DMBO	210
DMBO/DMO	0,46
Nitrógeno	2,4
Fósforo	22,2
Calcio	6,900
Magnesio	2,8

Conclusiones esperadas: Con la implementación de los microalgas en el agua residual se espera la reducción en la concentración de nitrógeno, fósforo, y la remoción de materia orgánica principalmente, ya determinados los medios de mejor crecimiento se procederá a la aplicación en aguas residuales y capacidad de remoción de contaminantes.

OBJETIVOS

General
Evaluar el efecto de un consorcio microalgal autóctono de la región en la reducción de contaminantes de aguas residuales generadas en el proceso de producción de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Específicos
Definir crecimiento poblacional óptimo del consorcio microalgal en un medio controlado para implementación en aguas residual.
Analizar las estructuras del agua residual con parámetros físicoquímicos y microbiológicos antes y después de implementar el consorcio microalgal.

METODOLOGIA

La metodología utilizada es cuantitativa de interpretación de datos arrojados en el proceso experimental [6].
Parte de cinco fases principales[7].

- Selección del medio de cultivo:** Para la selección del medio se utilizaron dos tipos de consorcio microalgal autóctono en el municipio de Ocaña de dos lugares distintos. Se adoptó para fortalecer un medio basal para facilitar su crecimiento en botellas cilíndricas imprimiendo aireación y luz fotoperíodo, gradando progresivamente 12 horas de intensidad lumínica y 12 horas sin ausencia de luz para darle al medio un hábitat óptimo que se ajustara a las condiciones naturales.
- Seguimiento de los cultivos:** cuando el medio se logra estabilizar al darle opciones condiciones para su crecimiento en el laboratorio, se realizó análisis bioquímico con el equipo de bioquímica a una densidad de absorbancia de 750nm para determinar curvas de crecimiento de los cultivos e identificar los días óptimos para la implementación en aguas residuales.
- Análisis de aguas residuales:** para la implementación del consorcio microalgal en aguas residuales es necesario identificar que contiene el agua residual para evaluar su implementación de microalgas y determinar si es favorable que crezcan y cumplir el proceso de biorremediación por el contenido de nutrientes que necesitan para su desarrollo natural.
- Implementación experimental:** después de la selección del agua residual se implementaron los cultivos microalgales en agua residual y se mezcló una muestra de cultivos óptimos recogidos en la fase número dos.
- Análisis y obtención de datos finales:** como paso final se analizaron las aguas residuales inoculadas al transcurrir 15 días de su montaje determinando los siguientes parámetros bioquímicos como pH, nitrógeno, sulfato, amoníaco, nitrato, fósforo, color, DMO, DBO, los cuales permitieron identificar el porcentaje de remoción de contaminantes en el agua residual.

CONCLUSIONES

Las gráficas generadas a partir del seguimiento continuo de los medios de cultivo A y B permite interpretar las tendencias de crecimiento poblacional en un medio controlado, el cual estos resultados previos son favorables para la toma de decisiones y elegir el punto de crecimiento más óptimo en la implementación experimental para su implementación en aguas residuales y etapas de remoción de contaminantes.

El análisis bioquímico realizado al agua residual del proyecto por parte de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña arrojó altas concentraciones de contaminantes entre los cuales se destaca materia orgánica, nitrógeno y fósforo lo cual es un gran potencial para la aplicación de microalgas en la biorremediación y producción de bioenergía.

REFERENCIAS

[1] K. Chinnai, "Remediation of wastewater using microalgae," *Abstracts, University of Otago*, pp. 1-106, 2014.

[2] B. Pineda, J. Sotelo, Domínguez y Milla, "Cebos and nutrient recovery from control and domestic wastewater using dual-biotech, hybrid bioreactors," *Microbial technology*, vol. 19, pp. 303-315, 2015.


[3] IDEAM, Estado Nacional del Agua 2014, Bogotá, D. C. Colombia, 2015, p. 456.

[4] Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología (Argentina), «La biorremediación» 2017. [En línea]. Available: <http://www.argentina.gub.ar/biotec/biorremediacion> 2017. [Cited August 10, 2018].


[5] A. Rezac, M. Kozak, M. Jozak y P. Ben, "algal rate of nitrogen: Phytoremediation of domestic wastewater and human production for sustainable biotech production," *Applied Energy*, vol. 88, pp. 1111-1121, 2011.

[6] E. A. Gómez Gómez y M. J. Vergara Gómez, "EVALUACIÓN DEL USO DE LA MICROALGA *Chlorella vulgaris* EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (VINAZA)", pp. 4-30, 2016.


[7] E. K. Torres Arellano, A. López Medina, P. Hernández Viquez, C. Conde Mejía y P. María Guevara, «EXPERIENCIAS OPTIMAS PARA LA GESTIÓN DE MICROALGAS POR FOTOFIOTECNICACIÓN», *Resumen*, agosto, 2016.



Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vicerrectoría de Investigación



DIE
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN




SIASB GIG@DS

Figura 55. Congreso de la 5^{ta} internacional week of science technology & innovation [5^{ta} semana internacional de ciencia, tecnología e innovación] noviembre 20-23 de 2018 con relación

del presente trabajo de grado.

Con la investigación del efecto de consorcio microalgal en aguas residuales porcinas de la UFPSO del presente trabajo de grado se realizó una participación en modalidad de poster en el congreso de la 5^{ta} semana internacional de ciencia, tecnología e innovación en noviembre 20-23 de 2018 titulado como “Biorremediación de aguas residuales por medio de un consorcio de algas nativas de la región de Ocaña Norte de Santander”.



Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vigilado Ministerio

BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL SECTOR PORCICOLA POR MEDIO DE UN CONSORCIO DE ALGAS NATIVAS DE LA REGIÓN DE OCAÑA NORTE DE SANTANDER.
JOSE FERRADO SILVA GARCIA
CARLOS MARIO NAUWITZ GUSTO
Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
Grupo de Investigación **GIG@DS** Semillero SIASSB

INTRODUCCIÓN

Activas antropicas




Contaminación del recurso hídrico

Aguas Residuales

Afectación al ambiente y salud humana

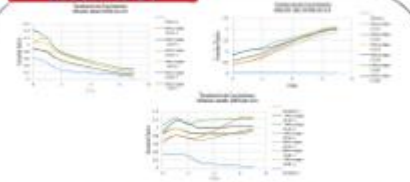
Biorremediación

Microalgas

Las microalgas obtienen de las aguas residuales nutrientes para el desarrollo de procesos metabólicos.

RESULTADOS



Parámetro	Dilución 1:100 (Dilución más alta)						Dilución 1:10 (Dilución más baja)					
	OD	NO ₃	NO ₂	NO ₂	NO ₃	NO ₂	OD	NO ₃	NO ₂	NO ₂	NO ₃	NO ₂
OD	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NO ₃	44.40%	44.40%	44.40%	44.40%	44.40%	44.40%	44.40%	44.40%	44.40%	44.40%	44.40%	44.40%
NO ₂	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NO ₂	55.60%	55.60%	55.60%	55.60%	55.60%	55.60%	55.60%	55.60%	55.60%	55.60%	55.60%	55.60%

OBJETIVOS

Evaluar la capacidad de remediación en aguas residuales del sector porcícola por medio de un consorcio de microalgas autóctonas de la región de Ocaña.

- ▶ Establecer el consorcio microalgal en un medio de cultivo del todo
- ▶ Definir condiciones poblacionales óptimas del consorcio microalgal en un medio controlado para implementación en agua residual.
- ▶ Determinar la efectividad del tratamiento mediante la comparación de parámetros fisicoquímicos

METODOLOGÍA

1. Selección del microorganismo y medio de cultivo
2. Seguimiento de los cultivos
3. Análisis de aguas residuales
4. Implementación experimental
5. Análisis y procesamiento de datos

CONCLUSIONES

- Los gráficos generados a partir del seguimiento continuo de los medios de cultivo microalgal permiten interpretar las tendencias de crecimiento poblacional en un medio controlado, el cual estos resultados previos son favorables para la toma de decisiones y elegir el punto de crecimiento más óptimo.
- Teniendo en cuenta la tabla de resultados y los gráficos de crecimiento se puede concluir un mayor efecto de las microalgas en diluciones media y alta del agua residual tratada.
- La reducción porcentual de la Demanda Química de Oxígeno con respecto a un blanco control de la experimentación en tres significativas en la dilución baja debido a la alta cantidad de materia orgánica por degradar, con respecto al Nitrógeno Amoniacal los porcentajes de reducción de mayor significancia se efectúa en dilución alta, el Oxígeno Disuelto generalmente tiende aumentar en todos los ensayos, y los aumentos más significativos están en dilución media y alta.

REFERENCIAS

Ochoa-Morales, M., Castro-Castillo, C., Sanchez-Villalga, I., Padilla, J., & Ochoa-Pizarro, A. (2012). Evaluación del crecimiento de la microalga *Chlorella vulgaris* en diferentes medios de cultivo en condiciones ambientales y estériles. *Chlorophylla* (Lima, Perú), 16(1), 10-14.

Rodríguez-Martínez, A. (2011). Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la obtención de nutrientes de un agua residual urbana proveniente de la actividad académica. *Valencia España: Universidad Politécnica de Valencia.*

Ochoa-González, E., & Valencia-Gutiérrez, M. E. (2019). Efectos del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de aguas residuales industriales (I). *Investigación Científica y a Distancia, Facultad de Ciencias Agrícolas y del Ambiente, Universidad de Cundinamarca, Cundinamarca, Colombia.*

Romero-Castillo, L. E. (2011). *Estudio del crecimiento de cultivos de microalgas en aguas residuales industriales de un municipio de Cundinamarca.* Universidad de Cundinamarca.














Figura 56. Participación en el XXII encuentro nacional y XVI internacional de semilleros de investigación en la ciudad de Valledupar, 8-12 de octubre de 2019.