UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROVECHAMIENTO DE LA ESPECIE VETIVER *(Chrysopogon zizanioides)* PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE UNA INDUSTRIA CAMARONERA, PROVINCIA DE EL ORO.

TRABAJO EXPERIMENTAL

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR
TAMAYO CHILÁN ELIANA DEL PILAR

TUTOR
BLGO. ARIZAGA GAMBOA RAÚL ENRIQUE M.Sc

GUAYAQUIL – ECUADOR

2020

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **ARIZAGA GAMBOA RAÚL ENRIQUE**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **APROVECHAMIENTO DE LA ESPECIE VETIVER *(Chrysopogon zizanioides)* PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE UNA INDUSTRIA CAMARONERA, PROVINCIA DE EL ORO**, realizado por la estudiante **TAMAYO CHILÁN ELIANA DEL PILAR**; con cédula de identidad **N°0706225703** de la carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL,** Unidad Académica **Guayaquil,** ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Blgo. Arízaga Gamboa Raúl Enrique M.Sc.

Guayaquil, 03 de Julio del 2020

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **"APROVECHAMIENTO DE LA ESPECIE VETIVER *(Chrysopogon zizanioides)* PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE UNA INDUSTRIA CAMARONERA, PROVINCIA DE EL ORO"**, realizado por la estudiante **TAMAYO CHILAN ELIANA DEL PILAR**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Luis Morocho Rosero
PRESIDENTE

Ing. Karla Crespo León
EXAMINADOR PRINCIPAL

Blgo. Raul Arizaga Gamboa
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Xavier Vélez Gavilánez
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 14 de Agosto del 2020

Dedicatoria

Dedicar al forjador de mi camino, a mi padre celestial el que en todo momento ha estado conmigo. De igual manera a mis padres quienes se comprometieron en enseñarme el valor del esfuerzo, sacrificio, bondad y amor Bolívar Germán Tamayo Zerda y Maritza Esperanza Chilán Robinzón.

A mis hermanos Elaine Tamayo y en especial a Emmanuel Tamayo por haberse convertido en mi principal fuente de inspiración desde el primer día hasta el último.

Agradecimiento

Como agradecimiento para la realización del proyecto de titulación al Ing. Acuacultor Bolívar Tamayo quien es técnico en la camaronera “San José” por darme su tiempo e ingreso al sitio.

A mi tutor Blgo. Raúl Arízaga y al Ing. Quim. Carlos Banchón que por medio de sus experiencias y conocimientos científicos me aconsejaron en mi lapso como estudiante guiándome para la culminación de mi trabajo. De igual manera a mis amigos que me han acompañado y brindado su apoyo en especial a Manuel Haro, a mi tío Bolívar Antonio Tamayo por su apoyo en los primeros años de universidad.

A la Universidad Agraria del Ecuador, por haberme brindado oportunidades y enriquecer mi conocimiento como así mismo tratando de dejar huellas ya sea en lo académico como también en el deporte.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **TAMAYO CHILÁN ELIANA DEL PILAR**, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre "**APROVECHAMIENTO DE LA ESPECIE VETIVER *(Chrysopogon zizanioides)* PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE UNA INDUSTRIA CAMARONERA, PROVINCIA DE EL ORO**" para optar el título de INGENIERO AMBIENTAL, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, agosto 17 del 2020

TAMAYO CHILÁN ELIANA DEL PILAR
C.I. 0706225703

Índice general

PORTADA..... **1**

APROBACIÓN DEL TUTOR **2**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Dedicatoria..... **3**

Agradecimiento **5**

Autorización de Autoría Intelectual **6**

Índice general **7**

Índice de tablas **12**

Índice de figuras..... **14**

Resumen **16**

Abstract..... **17**

1.Introducción..... **19**

1.1 Antecedentes del problema..... **20**

1.2 Planteamiento y formulación del problema **21**

1.2.1 Planteamiento del problema **21**

1.2.2 Formulación del problema **23**

1.3 Justificación de la investigación..... **23**

1.4 Delimitación de la investigación **25**

1.5 Objetivo general **26**

1.6 Objetivos específicos..... **26**

2. Marco teórico..... **27**

2.1.Estado del arte..... **27**

2.2.Bases teóricas **29**

2.2.1 Sistema Vetiver 29

***2.2.1.1 Taxonomía* 29**

***2.2.1.2 Adaptabilidad* 30**

***2.2.1.3 Características de la planta vetiver* 30**

***2.2.1.4 Generalidades sobre la propagación del pasto vetiver* 31**

***2.2.1.5 Vetiver en su comportamiento con el agua* 31**

***2.2.1.6 Recuperación de hojas y raíces* 32**

2.2.2 Rizofiltración 32

2.2.3 Modelo Hidropónico Flotante 32

2.2.4 Fitotecnologías 32

2.2.5 Parámetros de calidad de agua 32

***2.2.5.1. Turbidez* 32**

***2.2.5.2. pH* 33**

***2.2.5.3. Nitritos* 33**

***2.2.5.4. Nitratos* 33**

2.2.6. Reacciones químicas 33

***2.2.6.1. Coagulación- floculación* 33**

***2.2.6.2. Oxidación Avanzada* 34**

2.3. Marco legal 34

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador Asamblea Constituyente, Registro Oficial No. 449 del 20 de octubre de 2008. 34

2.3.2. Convenio de Basilea 34

2.3.3 Ley de Gestión Ambiental 34

2.3.4 Ley de prevención y control de la contaminación ambiental 35

2.3.5 Reglamento ley recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua decreto ejecutivo 650. Registro oficial suplemento 483; Título segundo; capitulo primero: Acuicultura 35

2.3.6 Acuerdo Ministerial Nº 245, de fecha 29 de Diciembre del 2010, del Ministerio del Ambiente, donde se regulariza al sector de la industria acuícola. 35

2.3.7 Reglamento de seguridad para la construcción y obras públicas 35

2.3.8 Reglamento interministerial para el saneamiento ambiental agrícola Acuerdo Ministerial 365. 35

2.3.9 Reglamento General a la Ley de Pesca y Desarrollo Pesquero y Texto Unificado de Legislación Pesquera. Decreto Ejecutivo No. 3198, publicado en Registro Oficial 690 del 24 de octubre del 2002. 36

2.3.10 Normas de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes: Anexo 1, Recurso Agua, del Libro VI de Calidad Ambiental. 36

2.3.11 Normas INEN de calidad del agua Dentro de esta normativa se toman en cuenta 2 reglamentos: 36

3. Materiales y métodos 37

3.1. Enfoque de la investigación 37

3.1.1 Tipo de investigación. 37

3.1.2 Diseño de investigación 37

3.2. Metodología 38

3.2.1 Variables 38

3.2.1.1 Variable independiente 38

3.2.1.2 Variable dependiente 38

3.2.2 Tratamientos 38

3.2.3 Diseño experimental. 39

3.2.4. Recolección de datos 40

3.2.4.1. Recursos Bibliográficos 40

3.2.4.2. Recursos Materiales 41

3.2.4.3. Métodos y técnicas. 41

3.2.5. Análisis estadístico. 43

3.2.5.1. Análisis descriptivo. 43

3.2.5.2. Análisis inferencial. 43

4. Resultados 45

4.1 Caracterización de las aguas residuales 45

4.2 Eficiencia de remoción de contaminantes de tratamientos de fitorremediación y coagulación-floculación-oxidación 46

4.2.1 Porcentaje de remoción de nitratos. 46

4.2.2 Porcentaje de remoción de nitritos. 47

4.3 Comparación de los tratamientos de fitorremediación y coagulación-floculación-oxidación de aguas residuales de la industria camaronera 49

4.3.1 Resultados estadísticos de pH. 49

4.3.2 Resultados estadísticos de Nitratos. 50

4.3.2.1 Tendencia de Nitratos por tratamiento. 50

4.3.2.2 Prueba Kruskal-Wallis para nitratos a los 5 días 51

4.3.2.3 Prueba Kruskal-Wallis para nitratos a los 10 días 52

4.3.2.4 Prueba Kruskal-Wallis para nitratos a los 15 días 53

4.3.3 Resultados estadísticos de Nitritos 54

4.3.3.1 Tendencia de Nitritos por tratamiento 54

4.3.3.2 Prueba Kruskal-Wallis para nitritos a los 5 días 55

4.3.3.3 Prueba Kruskal-Wallis para nitritos a los 10 días 56

4.3.3.4 Prueba Kruskal-Wallis para nitritos a los 15 días 57

4.3.4 Resultados estadísticos de Temperatura 58

4.3.4.1 Tendencia de temperatura por tratamiento 58

4.3.4.2 Prueba Kruskal-Wallis para temperatura a los 5 días 59

4.3.4.3 Prueba Kruskal-Wallis para temperatura a los 10 días 60

4.3.4.4 Prueba Kruskal-Wallis para temperatura a los 15 días 61

4.3.5 Resultados de color 61

5. Discusión 63

6. Conclusiones 66

7. Recomendaciones 67

8. Bibliografía 68

9. Anexos 74

9.1. Anexo 1. Criterios de calidad admisibles reforma 097-A 74

9.2 Anexo 2. Procesos que se realizaron para el trabajo de titulación 76

9.3 Anexo 3. Resultados estadístico mediante el programa infostat 85

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de los tratamientos..... 39

Tabla 2. Descripción de tratamientos T7 y T8..... 39

Tabla 3. Diseño completo al azar..... 40

Tabla 4. Resultados de muestras iniciales para tratam. de fitorremediación..... 45

Tabla 5. Resultado inicial y final de Nitratos por tratamiento..... 46

Tabla 6. Resultado inicial y final de Nitritos por tratamiento..... 48

Tabla 7. Medias de pH por tratamiento..... 50

Tabla 8. Prueba Kruskal-Wallis para nitratos a los 5 días..... 51

Tabla 9. Comparación de pares para nitratos a los 5 días..... 52

Tabla 10. Prueba Kruskal-Wallis para nitratos a los 10 días..... 52

Tabla 11. Comparación de pares para nitratos a los 10 días..... 53

Tabla 12. Prueba Kruskal-Wallis para nitratos a los 15 días..... 53

Tabla 13. Comparación de pares para nitratos a los 15 días..... 54

Tabla 14. Prueba Kruskal-Wallis para nitritos a los 5 días..... 56

Tabla 15. Comparación de pares para nitritos a los 5 días..... 56

Tabla 16. Prueba Kruskal-Wallis para nitritos a los 10 días..... 57

Tabla 17. Comparación de pares para nitritos a los 10 días..... 57

Tabla 18. Prueba Kruskal-Wallis para nitritos a los 15 días..... 58

Tabla 19. Comparación de pares para nitritos a los 15 días..... 58

Tabla 20. Prueba Kruskal-Wallis para temperatura a los 5 días..... 60

Tabla 21. Comparación de pares para temperatura a los 5 días..... 60

Tabla 22. Prueba Kruskal-Wallis para temperatura a los 10 días..... 61

Tabla 23. Prueba Kruskal-Wallis para temperatura a los 15 días..... 61

Tabla 24. Resultados por réplica del color..... 62

Tabla 25. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios. 74

Tabla 26. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce 75

Índice de figuras

Figura 1. Delimitación de la zona a muestrear con un área de11.892,68 m² 25

Figura 2. Porcentaje de remoción de nitratos por tratamiento 47

Figura 3. Porcentaje de remoción de nitritos por tratamiento 49

Figura 4. Tendencia de las medias de Nitratos por tratamiento 51

Figura 5. Tendencia de las medias de Nitritos por tratamiento 55

Figura 6. Tendencia de las medias de Temperatura por tratamiento 59

Figura 7. Zona a muestrear 76

Figura 8. Colorimetría Merck, termómetro de temperatura y pH 76

Figura 9. Día de la cosecha del camarón 77

Figura 10. Recolección de la muestra de agua residual 77

Figura 11. Embalado y traslado de muestras 78

Figura 12. Medición inicial colorimetría Merck 78

Figura 13 . Medición de pH y temperatura 79

Figura 14. Medición de color y nitritos y nitratos 79

Figura 15. Peso de Biomasa (gr) 80

Figura 16. Aireación en los tres primeros tratamientos 80

Figura 17. Medición a los 5 días de Nitritos y Nitratos 81

Figura 18. Medición final a los 15 días de Nitritos y Nitratos 81

Figura 19. Tratamientos con sus respectivas réplicas 82

Figura 20. Eficiencia de Nitritos y nitratos en inicial, 5, 10 y 15 días 82

Figura 21. Peso de Sulfato de aluminio y muestras de T7 y T8 83

Figura 22. Proyecto Integral Comunitario en San Felipe-Venezuela Tejido de Cestas y techos, con fibra de Vetiver. 83

Figura 23. Ficha de Observación 84

Figura 24. Resultados de Kruskal-Wallis para Nitratos a los 5 días 85

Figura 25. Resultados de Kruskal-Wallis para Nitratos a los 10 días 85

Figura 26. Resultados de Kruskal-Wallis para Nitratos a los 15 días 86

Figura 27. Resultados de Kruskal-Wallis para Nitritos a los 5 días 86

Figura 28. Resultados de Kruskal-Wallis para Nitritos a los 10 días 87

Figura 29. Resultados de Kruskal-Wallis para Nitritos a los 15 días 87

Figura 30. Resultados de Kruskal-Wallis para Temperatura a los 5 días 88

Figura 31. Resultados de Kruskal-Wallis para Temperatura a los 10 días 88

Figura 32. Resultados de Kruskal-Wallis para Temperatura a los 15 días 88

Resumen

El presente trabajo de titulación se centra en el análisis del agua residual de una piscina camaronera ubicada en la parroquia Jumón- San José, cantón Santa Rosa provincia de El Oro. Se planteó este estudio experimental para determinar la eficiencia de la planta vetiver *C. zizanioides* al remover contaminantes como nitritos $NO2^-$ y nitratos $NO3^-$ mediante el método colorimetría Macherey Nagel (Merck) y la técnica ficha de observación. En el agua residual existen indicadores de alto contenido de materia orgánica e inorgánica, crecimiento excesivo de algas que generan coloración intensa. En la determinación de parámetros de pH: 8, color T7 coagulación/floculación y T8 oxidación avanzada se confirmó que T7 obtuvo mejores resultados que T8, valores de temperatura de 19°C hasta 23°C, nitritos y nitratos donde todos los parámetros se evaluaron al inicio de cada tratamiento procediendo con el análisis en 5, 10 y 15 días (Final). Obteniendo resultados favorables los cuales marcaron al inicio de nitratos $NO3^-$ con 50 mg/L y nitritos $NO2^-$ 10 mg/L y a los 15 días, el final de nitratos fue T3, T4, T5 y T6 disminuyeron a 0 mientras que T1 y T2 decrecieron a 10 mg/L. y en nitritos a T3, T4, T5 y T6 disminuyeron a 0, mientras que T1 y T2 decrecieron a 1 mg/L. Los tratamientos de fitorremediación T3, T4, T5, y T6 obtuvieron el mayor porcentaje de remoción con un total de 100% en nitritos y nitratos. Es decir, a mayores dosis de biomasa y en condiciones de no aireación son menores los valores de $NO2^-$ y $NO3^-$.

Palabras clave: *Chrysopogon zizanioides,* fitorremediación, nitratos NO_3^-, nitritos NO_2^-, remoción

Abstract

This titling work focuses on the analysis of the residual water from a shrimp pool located in the Jumón-San José parish, Santa Rosa canton, El Oro province. This experimental study was carried out determining the efficiency of the C. zizanioides vetiver plant at remover contaminants such as $NO2^-$ nitrites and $NO3^-$ nitrates using the Macherey Nagel (Merck) colorimetry method and the data sheet observation . In the wastewater there are indicators of organic and inorganic matter, and excessive growth of algae that generate intense coloration. In the determination of pH parameters: 8, color T7 coagulation / flocculation, and T8 advanced oxidation, it is confirmed that T7 obtaining favorable results than T8, temperature values from 19 ° C to 23 ° C, nitrites and nitrates where all parameters are evaluated at the beginning of each treatment processing with the analysis in 5, 10 and 15 days (End). Obtaining favorable results which, marked at the beginning of nitrates $NO3^-$ 50 with 50 mg / L and nitrites $NO2^-$ 10 mg / L and at 15 days the end of nitrates wasT3, T4, T5, and T6 decreased to 0 mg / L while T1 and T2 decreased to 10 mg / L. and in nitrites to T3, T4, T5 and T6 decreased to 0 mg / L, while T1 and T2 decreased to 1 mg / L. The phytoremediation treatments T3, T4, T5, and T6 obtained the highest percentage of removal with a total of 100% in nitrites and nitrates. In other words, at higher biomass doses and in non-aeration conditions, the $NO2^-$ and $NO3^-$ values are lower.

Key words: Chrysopogon zizanioides, NO_3^- nitrates, NO_2^- nitrites, phytoremediation, removal

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL ABSTRACT

Yo, **MUÑOZ NARANJO DIEGO**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de ENGLISH TEACHER, **CERTIFICO** que he procedido a la **REVISIÓN DEL ABSTRACT** del presente trabajo de titulación: **APROVECHAMIENTO DE LA ESPECIE VETIVER *(Chrysopogon zizanioides)* PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE UNA INDUSTRIA CAMARONERA, PROVINCIA DE EL ORO**, realizado por la estudiante **TAMAYO CHILÁN ELIANA DEL PILAR**; con cédula de identidad **N°0706225703** de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, el mismo que cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Diego Muñoz Naranjo MSc.
dmunoz@uagraria.edu.ec

Guayaquil, 26 de Agosto del 2020

1. Introducción

Con la creciente importancia que desde hace algunos años ha adquirido el intenso cuidado del ambiente, la investigación e implementación de técnicas y materiales que beneficien el entorno social, económico y ambiental es un compromiso del que deben apropiarse profesionales de acuerdo a su campo. El progreso de una sociedad en conjunto con la protección ecológica y ambiental es indicador de su de desarrollo por lo que en países como Ecuador en vías de desarrollo, la gestión ambiental es fundamental en la formulación de varios proyectos. El Vetiver es el pasto recomendado por la Red Mundial del Vetiver en el Banco Mundial para la estabilización, recuperación de suelos y erosión como también para la remoción de contaminantes en aguas residuales (Rodríguez, 2003).

En la provincia de El Oro se cosecha un 40% de todo el crustáceo que exporta el país, este incremento de la industria camaronera está perjudicando al ambiente, así como impactos directos e indirectos en poblados cercanos a las piscinas de producción de camarón(Fernández Cruz et al., 2008).

La necesidad de controlar la calidad del agua, utilizada en sistemas acuícolas, como en sus vertidos para minimizar el impacto derivado; valiéndose de la tecnología de tratamiento de aguas y optimizando recursos (Chuquimboques, 2019). La calidad del agua es un factor muy importante en el proceso productivo y sistemas acuícolas, por lo que es necesario aplicar metodologías de tratamiento y desinfección, que reduzcan la carga bacteriana en los suministros de agua, o que eviten el desarrollo de proliferación de algas y de microorganismos patógenos que afecten al proceso productivo, al ambiente y la salud humana (Danh, 2014).

Las descargas de los efluentes pueden contener varios tipos principales de contaminantes: nutrientes, antibióticos y microorganismos patógenos (Palta &

Velasco, 2013). El total de contaminantes en las descargas de piscinas de camaroneras se incrementa con la intensidad de las operaciones, a todo ello hay que sumar la contaminación microbiológica: por un lado como una causa importante de enfermedades y pérdidas económicas en la industria del camarón; sin olvidar la alta carga contaminante del vertido final, que constituye un daño potencial para la salud humana (Silva, 2014).

En el proceso de depuración de aguas residuales se busca conseguir resultados efectivos en un costo razonable aprovechando la especie Vetiver *(Chrysopogon zizanioides)* como mecanismo de remoción de contaminantes como son nitritos NO_2^- y nitratos NO_3^- en una industria camaronera comparando con técnicas de floculación-coagulación y oxidación avanzada.

1.1 Antecedentes del problema

Los efluentes del cultivo de camarón aunque son menos agresivos que los producidos en la industria pesquera y que otros residuales de la industria alimenticia, generan el 59% que son emitidos al ambiente (Flores, 2015).

Por ello, las aguas costeras y ríos se ven afectadas en forma negativa por nutrientes, materia orgánica, y sólidos suspendidos de los efluentes (Rivera, 2015). El daño a las especies del ecosistema marino se ven expuestas a tener que dejar su hábitat y buscar un lugar menos peligroso. Los brotes epidémicos de enfermedades en el cultivo del camarón han aumentado progresivamente las dosis de antibióticos los cuales deterioran el agua (Forero, 2018).

El sistema más usado en Tailandia para el recambio de agua en los cultivos semi-intensivos en camaroneras es la recirculación (Limsuwan, 2016). Un gran número de tratamientos físicos, químicos y biológicos han sido usados en Asia con el fin de mejorar la calidad de agua de los estanques, los cuales la mayoría no son

apropiados para ser utilizados en cultivos semi-intensivos ya que causan impactos ambientales negativos (Arencibia, 2012). El cultivo del camarón semi-intensivo viene dándose en Asia desde 1987 y Estados Unidos desde la década de los 90.

Los muestreos de análisis físico-químicos deben ser continuos y es por ello que se requiere de un control sobre densidades, calidad de agua y recambio (FAO, 2010). Entre 1997 y 2000, se dieron préstamos por $82 millones para el desarrollo de la acuacultura en América Latina beneficiando a Ecuador (Ministerio de Acuacultura y Pesca, 2010).

El sector camaronero en Ecuador representa el 70% del cultivo en América latina es decir aumentó de 0 a 175.253 donde tiene sus inicios en las cercanías de Santa Rosa, provincia de El Oro (FAO, 2013). En la provincia de El Oro se cosecha el 38% de todo el crustáceo que exporta el país, según cálculos de la Cámara de Productores de Camarón de El Oro, en donde los productores se abastecen en un 80% de la larva sembrada en los laboratorios de la península de Santa Elena (Rivera, 2015).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

Muchas de las camaroneras en Ecuador no cuentan con un canal de desagüe; por lo tanto, las aguas que salen de las compuertas son receptadas por los ríos más cercanos, contaminando el agua dulce incluyendo las aguas subterráneas (Bravo, 2014). El cultivo de camarón es una industria que demanda mucha energía eléctrica para operar los sistemas de aireación, para bombear agua y hacer recambios de agua limpia para mantener la calidad del agua de los cultivos, además de los recursos que se requieren para alimentar los organismos (Arencibia, 2012).

Todo este consumo de agua y de energía, más el desecho generado por la alimentación de los camarones, genera residuos entre ellos se encuentran las aguas residuales, que contienen diversos contaminantes, como el nitrógeno, el fósforo, nitritos, nitratos y nutrientes que en exceso perjudican la calidad del agua (Forero, 2018).

Las camaroneras de cultivo semi-intensivo constituyen una serie de obras como son los estanques en donde se realizan las etapas biológicas del camarón (desove, precría, cría y engorde) como también la estación de bombeo, canales y los conductos (Campos, 2017).

La necesidad de controlar la calidad del agua, utilizada en sistemas acuícolas, como en sus vertidos para minimizar el impacto derivado; valiéndose de tecnología de tratamiento de aguas y optimizando recursos, la calidad del agua es un factor muy importante en el proceso productivo y la expansión de sistemas acuícolas, por lo que es necesario aplicar metodologías de tratamiento y desinfección, que reduzcan la carga bacteriana en los suministros de agua, o que eviten el desarrollo de microorganismos potencialmente patógenos que afecten al proceso productivo, al medio ambiente y la salud humana (Casios, 2015).

Por otra parte las descargas de los efluentes pueden contener varios tipos principales de contaminantes: nutrientes, antibióticos y microorganismos patógenos, el monto total de contaminantes en las descargas de piscinas y laboratorios se incrementa con la intensidad de las operaciones, a todo ello hay que sumar la importancia de la contaminación microbiológica: por un lado como una causa importante de enfermedades y por consecuente, pérdidas económicas en la industria del camarón; sin olvidar la alta carga contaminante del vertido final, que constituye un peligro potencial para la salud humana (Gallo y Torres, 2015).

Como ejemplo de esto se puede citar el caso del Bacilo del cólera (*Vibrio cholerae*), bacteria que perjudica tanto a la producción acuícola como a la salud humana, causando un perjuicio tanto a las especies autóctonas como a las actividades humanas a gran escala, el resultado puede ser una rápida declinación de la calidad del agua y la dispersión de enfermedades (Rivera, 2015).

La recirculación del agua se empieza cuando ingresa agua de los reservorios a los estanques o piscinas comúnmente llamadas y se regresa el agua de éstos; por bombeo hacia los reservorios (Limsuwan, 2016). Los principales métodos que se trabajan en las camaroneras es la filtración del agua del estanque y la desinfección con químicos (cloro gaseoso, ácido hipocloroso, formalina, ozono, o insecticidas) que pueden causar daño ecológico (Flores, 2015).

Para la salida del agua del estanque se abren las compuertas las cuales tienen una malla de 250-300 micras, pero este filtro no detendrá las partículas virales es por esto que se utilizan la desinfección utilizando químicos (Rivera, 2015).

El agua utilizada por las camaroneras tiene que ser cambiada en cierto periodo la misma que toma su camino desembocando en aguas estuarinas. Este proyecto plantea la necesidad de crear una alternativa ambiental para no descargar aguas que son desembocadas en ríos los cuales contienen químicos que son perjudiciales para salud del ser humano y animal.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de la especie Vetiver (*Chrysopogon zizanioides)* para la disminución de contenido de nitritos NO_2^- y nitratos NO_3^- en el recambio de aguas usadas por la camaronera del sector San José, cantón Santa Rosa, provincia de El Oro?

1.3 Justificación de la investigación

Para encontrar un balance entre producción y restauración en manglares y ríos que han sido destruidos por los recambios de aguas en camaroneras, se necesita un sistema biológico para reducir los diferentes contaminantes como son los productos de desecho, alimento no consumidos y niveles de nitritos, nitratos y fosfatos (Rosse, 2018).

El sistema vetiver *(Chrysopogon zizanioides)* presenta ventajas desde el punto de vista ambiental, ya que no utiliza reactivos químicos y no emite residuos con altas concentraciones de tóxicos. Es decir es compatible con una producción limpia u orgánica (Pulgar, 2017). Por lo tanto, al usar una plataforma flotante o balsa, también llamado modelo hidropónico flotante, el vetiver crece hidropónicamente en el agua con sus raíces sumergidas, consecuentemente el vetiver remueve a través de sus raíces contaminantes lixiviados o afluentes que son drenados hacia los estanques. De tal modo que da un aporte a la Ingeniería Ambiental, es decir una vez que las plantas han acumulado los metales en sus tejidos aéreos se cosechan y posteriormente se transportan para su disposición, ya sea compostaje o incineración.

Este proyecto de titulación es pertinente a la Ingeniería ambiental ya que a medida que las raíces se saturan por acumular o retener sustancias como nitritos y nitratos, las plantas se cosechan y se disponen para su uso final; también es factible recuperar los metales de las cenizas si se da el proceso de incineración para posteriormente reutilizarlos en la Fito minería, o pueden ser utilizados como cestas, techo con fibra de la planta vetiver, muebles, sombreros, entre otros si se llega a dar un manejo adecuado de sus plantas (Díaz & Purihuamán, 2018).

De esta manera esta investigación queda como un aporte a la comunidad y a diferentes lugares en especial las camaroneras de cultivo intensivo, en donde no

existe un tratamiento adecuado para la remediación de estas aguas que contienen químicos. La fitorremediación tiene la capacidad de absorber, acumular, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo (Moreno & Fernández, 2007).

1.4 Delimitación de la investigación

La realización del proyecto de titulación está fijado entre un espacio y tiempo.

- **Espacio:** Una camaronera ubicada en la parroquia Jumón; San José – cantón Santa Rosa, provincia de El Oro-Machala; Ecuador.
- **Tiempo:** 3 meses

Figura 1. Delimitación de la zona a muestrear con un área de11.892,68 m²
Tamayo, 2020

La Figura 1 muestra la delimitación de la zona a través de la aplicación Google earth por consiguiente se recoletó la muestra de agua residual cuyas coordenadas son 3°29'14.4"S y 80°00'19.8"W.

1.5 Objetivo general

Evaluar el efecto de la especie Vetiver *(Chrysopogon zizanioides)* para la remoción de contaminantes de una industria camaronera provincia de El Oro, mediante la fitorremediación.

1.6 Objetivos específicos

- Caracterizar las aguas residuales de la industria camaronera mediante los parámetros pH, temperatura, color, nitritos NO_2^- y nitratos NO_3^- antes de los tratamientos de fitorremediación.
- Calcular la eficiencia de cada uno de los tratamientos para la remoción de contaminantes mediante los resultados obtenidos.
- Comparar los tratamientos de fitorremediación de aguas residuales de la industria camaronera con la aplicación de la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides)* y tratamientos de coagulación- floculación- oxidación.

1.7 Hipótesis

La especie Vetiver *(Chrysopogon zizanioides)* (SI) disminuirá los niveles de nitritos NO_2^- y nitratos NO_3^- en aguas residuales presentes en una camaronera, provincia de El Oro.

2. Marco teórico

2.1. Estado del arte

El método "Vetiver" fue inicialmente desarrollado para la recuperación de suelos y aguas en la India a mediados de los años ochenta por el banco mundial y en la última década ha emergido como el sistemas de remediación más innovador, de bajo costo y poco invasivo ambientalmente (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2013). Tailandia logró aplicar el sistema vetiver mediante paneles flotantes para el tratamiento de aguas residuales consecuentemente sirvió para la eliminación de nutrientes y metales pesados (Golabi & Duguies, 2013).

La red internacional de vetiver hizo público en su segunda edición el sistema vetiver para mejorar la calidad del agua dando resultados de alta capacidad de remoción de N y P del Vetiver agua residual infestada con alga verde azul con alto contenido de nitrato (100 mg L-1) y fosfato (10 mg L-1), y el mismo efluente después del tratamiento de 4 días con Vetiver reduciendo el nivel de N y P a 6 y 1 mg L-1 respectivamente. La infestación de algas fue completamente eliminada (Truong, 2018).

En Madrid- España el comportamiento de la especie vetiveria *(Chrysopogon zizanioides* L. Roberty) como extractora de metales pesados en suelos contaminados dieron resultados claros; las plantas que sobrevivieron en los suelos altamente contaminados correspondieron a los tratamientos que tenían un 10% de ácido húmico lo que trata indicar que en estos suelos el ácido húmico produce una inmovilización(Vargas et al., 2013).

En Yopal- Colombia se utilizó la cascarilla de arroz y pasto vetiver *(C. Zizanioides)* para lograr un efluente de calidad óptima para reúso del agua en riego agrícola con resultados buenos para la planta Vetiver que disminuyó la carga

orgánica la cuál debe complementarse con un proceso de reoxigenación del agua se evidencia disminución de pH 7,3 a 7,1 así mismo se demostró en nitritos presentaron de 1,0 a 0,15 (Infante, 2017).

La escuela profesional de ingeniería ambiental en Santiago-Chile definieron un tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (*chrysopogon zizanioides)* en humedales de flujo subsuperficial donde consiguieron la estabilización del pH de dicho sistema siendo de 83,95 %; comportamiento que no ocurrió en el mismo tratamiento sin vetiver dónde esta eficiencia fue de 78,53 % (Rojas, 2016). Las aguas que tienen un rango de pH que va de 6.5 a 9.0 son las más adecuadas para ser utilizadas para la producción de especies acuáticas (Golabi & Duguies, 2013).

En Caracas-Venezuela se ha demostrado a través de numerosos estudios que el vetiver reduce considerablemente los niveles de este elemento (nitrato) en el agua contaminada (Sepulveda, 2013). La universidad central de Venezuela propuso un tratamiento para la remoción de flúor del agua lo cual se midieron los niveles de nitrato en el agua cruda y en el sistema con vetiver hubo una reducción del mismo de aproximadamente un 100%, es decir se redujo de 8,8 mgL-1 hasta llegar a niveles de cero. Estos resultados comprueban los estudios encontrados por otros investigadores, los cuales señalan que la planta vetiver disminuye los niveles de nitratos en el agua y lo acumula en sus tejidos raíz y follaje (Ruíz, 2018).

La fitorremediación mediante un sistema de flotación con el pasto vetiver en las aguas superficiales de Bogotá los resultados obtenidos demostraron que la mejor hidrófita para remover nutrientes del agua tratada fue con la especie vetiver (*chrysopogon zizanioides)* aumentando coagulación/floculación se dieron resultados fosfatos 8 mg/l. (63%), color (RGB) con un aclarado de agua de 75% y

nitratos 2mg/l. (82%) a 193 días, siendo eficientes en la absorción nitratos en aguas residuales radica en que son altamente tóxicos para peces y otras especies acuáticas, aún en pequeñas cantidades (Gallo & Torres, 2015).

Existen hoy en día varios métodos para depurar el agua uno de ellos es la fito depuración en el cual se realizó un estudio en una planta de producción de gaseosas de El Salvador, verificando que la remoción de nitratos por vetiver disminuye gradualmente en el tiempo; para este caso la tasa de remoción fue de 19,89 ± 3,85 % en un tiempo de retención hidráulica de 4 días (Scavo, 2018).

El modelo hidropónico flotante también se presenció en Manabí –Ecuador dando la remoción de contaminantes y aumentando el oxígeno disuelto desde la primera semana reflejando su adaptabilidad y mejorando la calidad de agua de un río muerto donde la temperatura del agua aumentaba a partir del mediodía en adelante con datos de 22°C hasta los 25°C y así se mantuvo hasta su ultimo tratamiento esto significa que no hubieron variaciones significativas ya que solo aumentaba o disminuía 1°C o 2°C (Santana & Santos, 2016).

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Sistema Vetiver

Muy conocida como *Vetiveria zizanioides* L. Nash, y actualmente como *Chrysopogon zizanioides* L. Roberty, la cual es una planta perenne de rápido crecimiento con un sistema radicular extenso con tallos fuertes; no es invasiva, utilizada para aspectos ambientales relacionados con el suelo y agua (Gonzalez, 2014).

2.2.1.1 Taxonomía

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida
Subclase: Liliidae

Orden: Poales
Familia: Poaceae
Subfamilia: Panicoideae
Tribu: Andropogoneae
Subtribu: Andropogoninae
Género: Chrysopogon
Especie: C. zizanioides (Orihuela, 2013)

2.2.1.2 Adaptabilidad

Temperatura

- Con una supervivencia de -9°C a más de 45° C
- Cuando el suelo se congela, la planta vetiver se muere
- En Colombia se ha logrado adaptar a temperaturas de frías que en momentos bajan hasta – 4°C.
- El crecimiento de pasto vetiver, es más rápido en climas cálidos mientras que en climas fríos es un poco más lentos, pero su funcionamiento es mismo (Montano y Vargas, 2015).

Humedad

- Aguanta las sequias extremas, pero normalmente requiere una época de lluvias que dure por lo menos de 3 meses.
- Crece mejor bajo condiciones húmedas, pero también bajo condiciones de poca humedad (Ullauri, 2017).

2.2.1.3 Características de la planta vetiver

También llamada Vetiveria o pachuli, existen como 10 especies de gramíneas comunes de la tribu Antropogoneae y perennes, el pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ha demostrado ser la ideal para la conservación del suelo y agua, la humedad del suelo y otros usos como en bioremediación, bioingeniería, forrajes, agroforesteria, medicinal y artesanía (Golabi & Duguies, 2013).

La planta de vetiver es una gramínea perenne, parecida a la hierba luisa como no tiene rizoma radicular o haces enraizados, la planta crece en grandes macollos (Rosse, 2018).

Los tallos erguidos en forma recta alcanzan una altura de 0.5 a 1.5 m (Camposano, 2016). La panícula la cual se desarrolla la inflorescencia tiene entre15 a 40 cm. de largo. Cabe recalcar que crece en un rango amplio de suelos (Galván, Pérez, & Oviedo, 2017).

2.2.1.4 Generalidades sobre la propagación del pasto vetiver

La mejor y más eficaz forma de propagarlo es por esquejes que nos asegurara tener una planta con las mismas características genéticas. Se define un esqueje como un material de propagación asexual compuesta de pedazos de tallos y hojas de 20 cm de alto con una pequeña cantidad de raíces (Estrada, 2018). Existen don grandes ideas de propagación al tener plantas proveedoras de esquejes en parcelas planas y uniformes y para la conservación del suelo y agua y contrarrestar la contaminación y otros usos múltiples (Sáenz, 2015).

2.2.1.5 Vetiver en su comportamiento con el agua

- Es nativa de un ambiente higroscópico, como humedales, sin olvidar lagunas y pantanos.
- Es efectivo ya que se ha comprobado en estudios para la conservación de suelos y agua.
- Tiene excelentes características biológicas para la reducción o remoción de contaminantes en aguas residuales y mitigación de la polución por su capacidad de absorber y tolerar altos niveles de minerales pesados. La absorción de altos niveles de contaminantes es un proceso de reciclaje que la planta lo almacena y usa para otros propósitos.

- También se usan en tanques sépticos con un sistema hidropónico de recirculación de los efluentes ayudando así a remover los contaminantes con nitratos reduciendo la polución de las aguas de los acuíferos (Flores, 2015).

2.2.1.6 Recuperación de hojas y raíces

- Se pueden usar para las cerámicas.
- Reemplazo o aditivos para el cemento convirtiéndolo a ceniza que se usa en la ingeniería de la construcción cumpliendo con los requisitos medio ambientales (Flores, 2015).

2.2.2 Rizofiltración

Es una modalidad de fitorremediación biorremediación utilizando plantas, la rizofiltración se sirve del filtrado de agua a través de raíces para eliminar la mayoría de sustancias tóxicas(Haro, 2013).

2.2.3 Modelo Hidropónico Flotante

Ayuda con condiciones ambientales adecuadas que requieren las plantas para crecer, las raíces deben permanecer dentro del agua en todo momento (Solís, 2015).

2.2.4 Fitotecnologías

Aplicación de la ciencia y la ingeniería para estudiar problemáticas y brindar soluciones en donde involucran a las plantas (RALCEA, 2013).

2.2.5 Parámetros de calidad de agua

2.2.5.1. Turbidez

Medida, es decir indica la falta de transparencia de un líquido, debido a la presencia de partículas suspendidas (Mendez, 2011).

2.2.5.2. pH

Forma en la que se expresa la acidez o alcalinidad de una sustancia, debido a la concentración molar que contenga; los pH altos en aguas de estanques o piscinas camaroneras resultan de altas tasas de fotosíntesis provenientes de la grandes floraciones algales y una manera de evitar esto, es reduciendo la abundancia de fitoplancton (Sánchez, 2018).

2.2.5.3. Nitritos

Son sales de ácido nitroso, el ion nitrito (NO_2^-). Los nitritos deben su formación a la oxidación de aminas y del amoniaco, este compuesto nitrogenado puede provocar disminución en el consumo de alimento por parte de los camarones y por ende retardo en el crecimiento acelerar el proceso de muda, así mismo cuando excede niveles permisibles durante la exposición provoca la muerte disminuyendo la supervivencia de camarones en el estanque (Sánchez, 2018).

2.2.5.4. Nitratos

Compuestos químicos inorgánicos siendo derivados del nitrógeno NO_3^-, se encuentran en pequeñas concentraciones del suelo, alimentos y aguas superficiales subterráneas, la mayoría de estanques de acuicultura acumulan nitratos, debido a que no contienen un filtro desnitrificante. Los filtros desnitrificantes ayudan a convertir el nitrato en nitrógeno (Cárdenas, 2012).

2.2.6. Reacciones químicas

2.2.6.1. Coagulación- floculación

Es una técnica química, la coagulación neutraliza cargas y forma una masa gelatinosa que une partículas, aumentando su tamaño de modo que puede quedar atrapada en el filtro o sedimentar. La floculación mueve suavemente o agita tales

partículas, haciendo que se unan formando masas mayores que sedimentan (Mazille, 2018).

2.2.6.2. Oxidación Avanzada

Los procesos químicos de oxidación avanzada usan oxidantes químicos para reducir los niveles DQO/DBO, y clarificar el agua. Los procesos pueden oxidar totalmente los materiales orgánicos como carbón, CO_2 y agua aunque no es a menudo necesario operar estos procesos hasta este nivel de tratamiento (Lenntech, 2017).

2.3. Marco legal

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador Asamblea Constituyente, Registro Oficial No. 449 del 20 de octubre de 2008.

Capítulo segundo Derechos del buen vivir; establece:

Art. 12.- "El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida".

Art. 14.- "Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay (…) y la recuperación de los espacios naturales degradados".

Art. 15.- "El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto".

Art. 73.- "El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de los ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales".

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos: 4. Recuperar y conservar la naturaleza (…) calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

Art. 395.- "Como principio ambiental que el Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado (…) regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras".

2.3.2. Convenio de Basilea

El literal b) del numeral 2 del artículo 4 del Convenio de Basilea, establece:

"Cada parte tomará las medidas apropiadas para establecer instalaciones adecuadas de eliminación para el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos (…) en la medida de lo posible, estará situado dentro de ella".

2.3.3 Ley de Gestión Ambiental

Art. 19.- "Las obras públicas, privadas o mixtas, y los proyectos de inversión públicos o privados que puedan causar impactos ambientales, serán calificados

previamente a su ejecución, por los organismos descentralizados de control, conforme el Sistema Único de Manejo Ambiental".

Art. 20.- "Para el inicio de toda actividad que suponga riesgo ambiental se deberá contar con la licencia respectiva, otorgada por el Ministerio del ramo".

2.3.4 Ley de prevención y control de la contaminación ambiental

El artículo 1 de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental prohíbe:

"Expeler hacia la atmósfera o descargar en ella, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, contaminantes, en sus respectivas áreas de competencia, puedan perjudicar la salud y vida humana, la flora, la fauna y los recursos (…)".

2.3.5 Reglamento ley recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua decreto ejecutivo 650. Registro oficial suplemento 483; Título segundo; capitulo primero: Acuicultura

Art. 101.- Autorización de aprovechamiento productivo de agua.- Quienes se dediquen a la actividad acuícola (…) deberán obtener de la respectiva Autoridad de cada Demarcación Hidrográfica o del correspondiente Centro de Atención al Ciudadano la respectiva autorización de uso productivo del agua y abonar las tarifas que estén establecidas.

Art. 102.- "Prohibición.- De acuerdo con lo previsto en el artículo 109 de la Ley, no se otorgarán autorizaciones de aprovechamiento productivo del agua para realizar actividades de acuicultura de los manglares, ni se cobrará tarifa por el referido uso".

2.3.6 Acuerdo Ministerial Nº 245, de fecha 29 de Diciembre del 2010, del Ministerio del Ambiente, donde se regulariza al sector de la industria acuícola.

Art. 5.- "Todas las granjas acuícolas con superficies totales mayores a 100 ha deberán regularizarse ambientalmente a través de la obtención de la licencia ambiental, a excepción de lo dispuesto en el siguiente inciso".

Las granjas acuícolas orgánicas de más de 100 ha. de superficie total se regularizarán con una ficha ambiental, previa presentación de la certificación internacional que respalde la actividad de cultivo orgánico y la información de la caracterización de sus procesos, que evidencien que no existen impactos ambientales significativos y que son manejados con la aplicación de mecanismos de producción limpia, debidamente demostrados y expuestos en un Plan de Manejo Ambiental.

2.3.7 Reglamento de seguridad para la construcción y obras públicas

Art. 150.- "Los constructores y contratistas respetarán las ordenanzas municipales y la legislación ambiental del país, la minimización de residuos en la ejecución de la obra (…) pueden representar un riesgo para la seguridad y salud".

Art. 151.- "Los constructores y contratistas son los responsables de la disposición e implantación de un plan de gestión de los residuos generados en la obra o centro de trabajo que garantice el cumplimiento legislativo y normativo vigente".

2.3.8 Reglamento interministerial para el saneamiento ambiental agrícola Acuerdo Ministerial 365.

Art. 44.- Es responsabilidad de la persona natural o jurídica, nacional o extranjera, que maneja agroquímicos, el tratamiento previo de los desechos

peligrosos de los agroquímicos (…) queda totalmente prohibida la quema a cielo abierto.

2.3.9 Reglamento General a la Ley de Pesca y Desarrollo Pesquero y Texto Unificado de Legislación Pesquera. Decreto Ejecutivo No. 3198, publicado en Registro Oficial 690 del 24 de octubre del 2002.

Este Reglamento establece en su Art. 77 las obligaciones de quienes se dediquen a la acuacultura:

a) Prestar las debidas facilidades para las inspecciones y comprobaciones que las autoridades estimen del caso realizar.

b) Vigilar y cuidar las áreas de manglares y zonas agrícolas colindantes y denunciar a las autoridades competentes los hechos atentatorios contra tales zonas.

c) Utilizar los sistemas previstos por los organismos competentes, para evitar la contaminación a la ecología del lugar.

d) Llevar los libros de registro de siembra, cosechas, producción y venta.

e) Tener semilleros o precriaderos naturales y/o artificiales para asegurar el abastecimiento de larvas o alevines para sus programas de producción.

f) Obtener la matrícula anual de ocupación de zona de playa, en caso de ser concesionario."

Adicionalmente, el Art. 78 prohíbe a los acuicultores lo siguiente:

a) Tapar esteros, ríos, canales u otras obras hidráulicas.

b) Destruir o afectar manglares.

c) Obstaculizar el libre tráfico de la navegación.

d) Construir o alterar las propiedades físico-químicas y microbiológicas de los suelos con aptitud agrícola, ganadera y/o forestal colindantes.

e) Conducir aguas servidas y residuales sin el empleo de medios técnicos que eviten la contaminación del medio.

f) Instalar viveros o piscinas en zonas declaradas como áreas, naturales del Estado.

g) Ser titular, a título personal, de más de una concesión de zonas de playa y bahía para actividades acuícolas.

2.3.10 Normas de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes: Anexo 1, Recurso Agua, del Libro VI de Calidad Ambiental.

En el numeral 4.2.1.5 prohíbe toda descarga de residuos líquidos a las vías públicas, canales de riego y drenaje o sistemas de recolección de aguas lluvias y aguas subterráneas. La Entidad Ambiental de Control (…) siempre que estas cumplan con las normas de descarga a cuerpos de agua.

El numeral 4.2.1.6, dispone que "Las aguas residuales que no cumplan previamente a su descarga, con los parámetros establecidos de descarga en la Norma, deberán ser tratadas mediante tratamiento convencional, sea cual fuere su origen: público o privado".

2.3.11 Normas INEN de calidad del agua Dentro de esta normativa se toman en cuenta 2 reglamentos:

a) **NTE INEN 2169:** Agua, calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.

b) **NTE INEN 2176:** Agua, calidad del agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo.

Estas normativas contienen lineamientos y directrices para evaluar la calidad de las aguas residuales.

3. Materiales y métodos

3.1. Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación.

El tipo de investigación de acuerdo al trabajo se detalló de la siguiente manera:

- Investigación de campo
- Investigación experimental

La investigación fue de campo ya que se tomó en cuenta que es una fuente primaria; por consiguiente, se recolectó las muestras de agua salidas de la compuerta de la piscina de la camaronera utilizando las herramientas de recolección de datos como es la ficha de observación; cuya ficha detalló los pasos y técnicas que se usó dentro de la camaronera de dicha descarga residual.

Por otro lado, fue experimental ya que se analizó los cambios en determinadas variables de estudio manipuladas que se pudieran dar conforme pasaba el tiempo, el cual se delimitó en 5, 10 y 15 días puesto que sirvió para controlar el aumento o disminución de esa variable y su eficiencia.

3.1.2 Diseño de investigación

Este trabajo de investigación se basó en un diseño experimental ya que se trabajó con ocho tratamientos. La recolección de la muestra se realizó a través de un muestreo aleatorio simple donde todas las combinaciones posibles de unidades de muestreo tuvieron la misma oportunidad de ser seleccionadas ya que el flujo de la piscina al salir de la compuerta es de gran porcentaje arrastrando sedimentos (Sepulveda, 2013). Se obtuvo una muestra puntual que se recogió manualmente.

3.2. Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1 Variable independiente.

- Cantidad de biomasa de *Chrysopogon zizanioides* (gr)
- Aireación

3.2.1.2 Variable dependiente.

- pH
- Color
- Temperatura
- Nitritos
- Nitratos

3.2.2 Tratamientos

Se realizaron 8 tratamientos; T1 hasta T6 fueron la muestra de agua residual y la planta *Chrysopogon zizanioides* con diferente peso de biomasa cabe mencionar que los esquejes se retiraron de una misma parcela es decir fueron cortadas uniformemente a estas se les incluyó aireación y sin aireación. Los controles C1 y C2 fueron la muestra testigo de agua residual sin biomasa añadiendo aireación y sin aireación. Se realizaron 3 mediciones en diferentes tiempos: 5, 10 y 15 días con 3 repeticiones para tratamientos y controles, excepto T7 y T8 (ver Tabla 1).

Los tratamientos T7 y T8 fueron las muestras de agua residual sin biomasa, sin aireación considerando dos tiempos, muestra inicial y final. En T7 se añadió coagulación-floculación pasando por un filtro de carbón activado haciendo 3 réplicas. En T8 se trabajó con oxidación avanzada pasando por un filtro de carbón activado haciendo 3 réplicas (ver **Tabla 2**)

Tabla 1. Descripción de los tratamientos

Trat.	Muestras	Biomasa dosis	Aireación	Mediciones	Tiempo (Días)	Réplicas
T1	*Chrysopogon zizanioides* + agua residual	17 g	SI	M1, M2, M3	5-10-15	x3
T2	*Chrysopogon zizanioides + agua residual*	26 g	SI	M1, M2, M3	5-10-15	x3
T3	*Chrysopogon zizanioides*+ agua residual	33 g	SI	M1, M2, M3	5-10-15	x3
T4	*Chrysopogon zizanioides* + agua residual	45 g	NO	M1, M2, M3	5-10-15	x3
T5	*Chrysopogon zizanioides*+ agua residual	55 g	NO	M1, M2, M3	5-10-1	x3
T6	*Chrysopogon zizanioides* + agua residual	66 g	NO	M1, M2, M3	5-10-15	x3
T7	Agua residual+Coagulante-Floculante	-	Filtro Carbón activado	M1, M2	0-1 hora	x3
T8	Agua residual+Oxidación avanzada	-	Filtro Carbón activado	M1, M2	0-1 hora	x3
C1	Agua residual	-	SI	M1, M2, M3	5-10-15	x3
C2	Agua residual	-	NO	M1, M2, M3	5-10-15	x3

Tamayo, 2020

Tabla 2. Descripción de tratamientos T7 y T8

Réplica	T8: Oxidación Avanzada		T7:Coagulación/floculación	
	Oxidante	**Acelerador**	**Coagulante**	**Floculante**
	Peróxido de hidrógeno	Carbón Activo	Sulfato de aluminio	Poliacrilamida
R1	70%	2 gr	4 gr	0,05%
R2	70%	4 gr	4 gr	0,05%
R3	70%	6 gr	4 gr	0,05%

El coagulante y floculante representan el acelerador de T7.
Tamayo, 2020

3.2.3 Diseño experimental.

Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) porque trata de comparar dos o más tratamientos, puesto que sólo considera dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio, se analiza si existe diferencia significativa entre los

tratamientos, para lo cual se compara si la “varianza del tratamiento” contra la “varianza del error” y se determina si la primera es lo suficientemente alta (ver Tabla **3**). A continuación, se detalla el Modelo Matemático a utilizar:

$$y_{ij} = \mu_i + \epsilon_{ij}$$

Tabla 3. Diseño completo al azar

Trat.	Descripción	Dosis	Observaciones		
T1	*Chrysopogon zizanioides* + agua residual	17 g	X_1	X_2	X_3
T2	*Chrysopogon zizanioides* + agua residual	26 g	X_1	X_2	X_3
T3	*Chrysopogon zizanioides* + agua residual	33 g	X_1	X_2	X_3
T4	*Chrysopogon zizanioides*+ agua residual	45 g	X_1	X_2	X_3
T5	*Chrysopogon zizanioides*+ agua residual	55 g	X_1	X_2	X_3
T6	*Chrysopogon zizanioides*+ agua residual	66 g	X_1	X_2	X_3
T7	Agua residual+Coagulante-Floculante	-	X_1	X_2	X_3
T8	Agua residual+Oxidación avanzada	-	X_1	X_2	X_3
C1	Agua residual	-	X_1	X_2	X_3
C2	Agua residual	-	X_1	X_2	X_3
Total de muestras		**30**			

Tamayo, 2020

3.2.4. Recolección de datos

3.2.4.1. Recursos Bibliográficos

- Libros
- Páginas web Científicas
- Revistas
- Folletos
- Investigaciones científicas

- Software (Excel, Word, InfoStat)

3.2.4.2. Recursos Materiales

- Planta Vetiver
- Color Assist Lite (Aplicación)
- Medidores de Ph, nitritos y nitratos (Merck)
- Termómetro
- Bomba de aire
- Guantes de látex
- Flotador
- Recipientes para agua

3.2.4.3. Métodos y técnicas.

Métodos

Una vez que se planteó este estudio experimental de la eficiencia de la planta vetiver al remover contaminantes como nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) en aguas residuales de la acuicultura (Ver Figura **7**, en Anexos) se desarrolló mediante el método de colorimetría Macherey Nagel (Merck) para el análisis (Ver Figura **8**, en Anexos). Detallando a continuación como se efectuó la investigación experimental en sus distintos usos del agua, cabe recalcar que fue necesario hacer varios procedimientos en base al manejo aplicado en la camaronera ya que se tuvo que esperar que sea la cosecha del camarón (Ver Figura **9**, en Anexos) para proceder a recoger la muestra respectiva (Ver Figura **10**, Figura **11** en Anexos). Esta investigación se ejecutó de la siguiente forma:

Son ocho tratamientos de los cuales están divididos en tres bloques.

1. La primera medición comenzó mediante colorimetría Macherey Nagel (Merck) (Ver Figura **12**, en Anexos) se procedió a analizar las variables

dependientes como pH, Temperatura (Ver Figura **13**, en Anexos), Color, nitritos (NO_2^-), nitratos y (NO_3^-), (Ver Figura **14**, en Anexos) el cual se efectuó en el primer bloque con la muestra de agua y diferente peso de biomasa (Kg) (Ver Figura **15**, en Anexos) planta vetiver *Chrysopogon zizanioides*, adicionándole aireación (Ver Figura **16**, en Anexos) y sin aireación. Cada tratamiento con 3 réplicas en tiempos de 5 días, 10 días y 15 días (Ver Figura **17**, Figura **18**, en Anexos). También se ejecutó la medición de ("Blancos") muestras que no tienen biomasa.

2. En el segundo bloque se calculó la eficiencia de cada uno de los tratamientos T1 hasta T6 con agua residual y especie vetiver (Ver Figura **19**,Figura **20** en Anexos). Los tratamientos T7 con coagulante-floculante (Ver Figura 21, en Anexos) y T8 con oxidación avanzada con sus 3 réplicas.
3. En el tercer bloque se comparó los tratamientos de fitorremediación y sus resultados obtenidos plasmándolos en gráficos estadísticos.

Técnicas

- **Ficha de Observación:** Técnica que sirve para conocer la manera como se desarrollan las actividades y los resultados de ellas (Ver Figura **23** en anexos). Las actividades que se realizan diariamente dentro de la camaronera son:
- Llenado de piscina (Bomba).
- Fertilización de agua y suelo de la piscina.
- Control de parámetros de la piscina.
- Recambio de agua (Carbonato de calcio, fertilizantes).

3.2.5. Análisis estadístico.

Se realizó análisis estadístico descriptivo e inferencial. El registro y tabulación de datos para el análisis descriptivo se realizó mediante el programa M. Office Excel 2016, y el análisis inferencial se efectuó a través del paquete estadístico Infostat.

3.2.5.1. Análisis descriptivo.

Se calcularon medidas de tendencia central como la media, mediana y moda; medidas de dispersión como la desviación estándar, también se realizaron diagramas de barras y gráficos de tendencia. Además, se utilizó la siguiente fórmula para estimar el porcentaje de remoción de los contaminantes:

$$\%\ \text{Remoción} = \frac{(V_{pi} - V_{pf})}{V_{pi}} \times 100$$

Dónde:

% Remoción= Porcentaje de remoción

V_{pi} = Valor de parámetro inicial (mg/L)

V_{pf} = Valor de parámetro final (mg/L)

3.2.5.2. Análisis inferencial.

Se realizó un análisis comparativo para las variables de estudio con el fin de demostrar si existía diferencia significativa entre tratamientos al inicio, mitad y al final del proceso; esto se comprobó mediante la prueba Kruskal-Wallis. Este es un test no paramétrico que se emplea cuando los datos no tienen homogeneidad de varianza o no siguen una distribución normal, así mismo las muestras deben ser al azar e independientes (Alcalá, 2013). Es la prueba de la suma de rangos para el caso de $k>2$ muestras (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012).

Esta prueba plantea las siguientes hipótesis:

Ho= Todas las medianas de los tratamientos son iguales.

Ha= Al menos una mediana de los tratamientos es diferente.

Procedimiento del cálculo del estadístico H:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^{k} \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

k= Número de grupos

n= Número total de datos

n_i= Número de datos en el grupo i

R= Rango

Se comprobaron las hipótesis mediante el análisis del p-valor con un nivel de significancia de 0.05, este análisis determinó si existe o no efecto de los tratamientos en el agua residual de la camaronera. En los casos que se obtuvo diferencia significativa se realizó comparaciones de a pares posibles para determinar cuál o cuáles tratamientos difieren de los otros (Berenson y Levine, 1996).

Infostat permitió solicitar comparaciones de apares entre las medianas de los rangos de tratamientos, el procedimiento que emplea para juzgar la significancia de las comparaciones múltiples y los contrastes postulados lo describe el autor en el año 1999 (Balzarini et al., 2008).

4. Resultados

4.1 Caracterización de las aguas residuales

Las muestras fueron tomadas de una piscina en la industria camaronera, en el cantón de El Oro. Se recaudó un total de 90 litros, correspondiendo tres litros a cada replica. Posterior, se trasladó las muestras para establecer las características físico-químicas de éstas aguas. El resultado del análisis de las medias de las muestras iniciales correspondiente a los tratamientos de fitorremediación, coagulación-floculación y oxidación avanzada se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de muestras iniciales para tratam. de fitorremediación

Trat.	Descripción	Dosis	pH	Nitratos (mg/l)	Nitritos (mg/l)	T(°C)	Color		
							I	II	II
T1	*C. zizanioides* + agua residual	17 g	8	50	10	21,67			
T2	*C. zizanioides* + agua residual	26 g	8	50	10	23,00			
T3	*C. zizanioides* + agua residual	33 g	8	50	10	23,00			
T4	*C. zizanioides* + agua residual	45 g	8	50	10	22,00			
T5	*C. zizanioides* + agua residual	55 g	8	50	10	19,00			
T6	*C. zizanioides* + agua residual	66 g	8	50	10	20,00			
T7	Agua residual + Coagulante-Floculante	-	8	50	10	22,67			
T8	Agua residual + Oxidación avanzada	-	8	50	10	22,67			
C1	Agua residual	-	8	50	10	22,33			
C2	Agua residual	-	8	50	10	22,00			

Tamayo, 2020

Se observa que no existen diferencias entre las medias muestras iniciales de los tratamientos, cabe indicar que por replica tampoco no se evidenció diferencias entre los valores de pH, nitritos NO_2^- y nitratos NO_3^-, pero si por un 1° o 2° C en el parámetro de temperatura, y leves diferencias de saturación en cuanto a color.

4.2 Eficiencia de remoción de contaminantes de tratamientos de fitorremediación y coagulación-floculación-oxidación

La eficiencia de remoción de contaminantes se estimó mediante la ecuación presentada en el apartado de análisis estadístico en metodología, la cual se aplica a parámetros de unidad (mg/l) como nitratos y nitritos.

4.2.1 Porcentaje de remoción de nitratos.

Se presentan los resultados de análisis para el parámetro nitratos en la Tabla 5, por muestra inicial y final correspondiente a cada tratamiento. Se detectó en la muestra inicial un valor máximo de 50 mg/l de nitratos en todos los tratamientos, luego de la aplicación de los tratamientos de fitorremediación- coagulación-floculación y oxidación, se observó que la mayor diferencia fue cincuenta en los tratamientos T3 al T6, lo que representa el 100% de remoción del compuesto.

Tabla 5. Resultado inicial y final de Nitratos por tratamiento

T.	Descripción	Dosis	A/F	Nitratos (mg/l)		
				Inicial	Final	Diferencia
T1	*C. zizanioides* + agua residual	17 g	A	50	10	40
T2	*C. zizanioides* + agua residual	26 g	A	50	10	40
T3	*C. zizanioides* + agua residual	33 g	A	50	0	50
T4	*C. zizanioides* + agua residual	45 g	NA	50	0	50
T5	*C. zizanioides* + agua residual	55 g	NA	50	0	50
T6	*C. zizanioides* + agua residual	66 g	NA	50	0	50
T7	Agua residual + Coagulante-Floculante	-	CA	50	50	0
T8	Agua residual + Oxidación avanzada	-	CA	50	50	0
C1	Agua residual	-	A	50	50	0
C2	Agua residual	-	NA	50	50	0

A: aireación, NA: no aireación; CA: Carbón activo
Tamayo, 2020

En la Figura 2 se presenta el porcentaje de remoción calculado para el parámetro nitratos por tratamiento, se observa que los tratamientos de fitorremediación T3, T4, T5, y T6 obtuvieron el mayor porcentaje remoción con 100%, lo cual indica que el compuesto se removió en totalidad. Mientras que los tratamientos T7 (coagulación-floculación), T8 (oxidación avanzada) y los tratamientos, control con y sin aireación, no presentaron remoción alguna de nitratos.

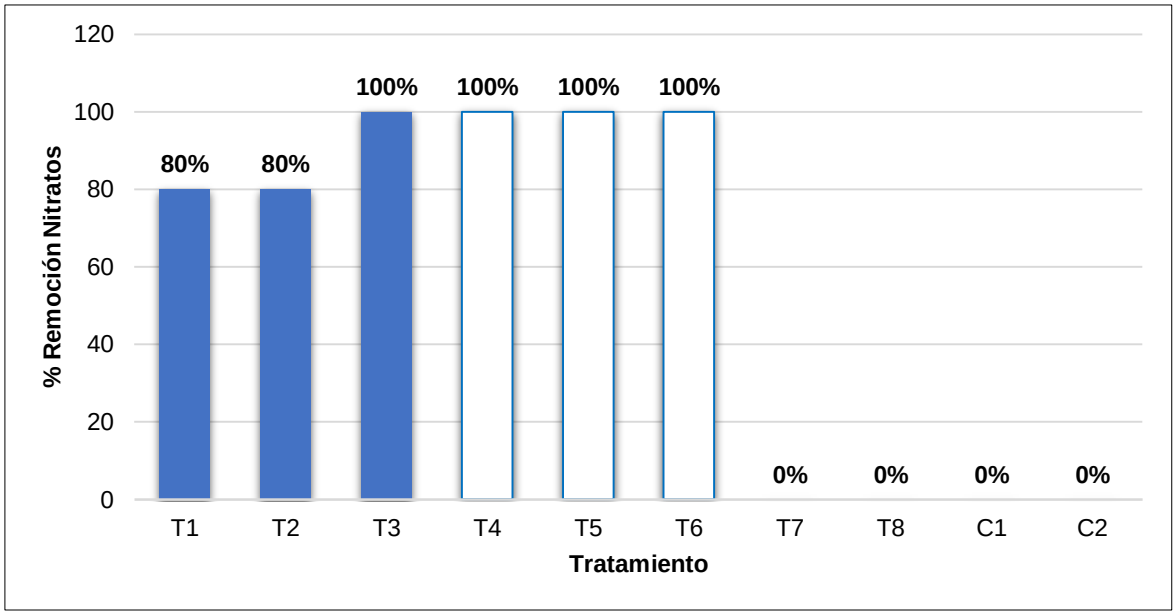


Figura 2. Porcentaje de remoción de nitratos por tratamiento
Nota: Barras rellenas: Trat. con aireación; No rellenas: Trat. sin aireación
Tamayo, 2020

Esto indica que a mayores dosis de biomasa de *C. zizanioides* y en condiciones de no aireación los tratamientos por fitorremediación para remoción de nitratos son más efectivos. Así como que los tratamientos que no emplean algún método de remediación no remueven los compuestos de nitratos.

4.2.2 Porcentaje de remoción de nitritos.

Se presentan los resultados de análisis para el parámetro nitritos en la Tabla 6, por muestra inicial y final correspondiente a cada tratamiento. Se detectó en la muestra inicial un valor máximo de 10 mg/l de nitritos en todos los tratamientos, luego de la aplicación de los tratamientos de fitorremediación- coagulación-

floculación y oxidación, se observó que la mayor diferencia fue diez en los tratamientos T3 al T6, lo que representa el 100% de remoción del compuesto.

Tabla 6. Resultado inicial y final de Nitritos por tratamiento

T.	Descripción	Dosis	A/F	Nitritos (mg/l)		
				Inicial	Final	Diferencia
T1	*C. zizanioides* + agua residual	17 g	A	10	1	9
T2	*C. zizanioides* + agua residual	26 g	A	10	1	9
T3	*C. zizanioides* + agua residual	33 g	A	10	0	10
T4	*C. zizanioides* + agua residual	45 g	NA	10	0	10
T5	*C. zizanioides* + agua residual	55 g	NA	10	0	10
T6	*C. zizanioides* + agua residual	66 g	NA	10	0	10
T7	Agua residual + Coagulante-Floculante	-	CA	10	10	0
T8	Agua residual + Oxidación avanzada	-	CA	10	10	0
C1	Agua residual	-	A	10	10	0
C2	Agua residual	-	NA	10	10	0

A: aireación, NA: no aireación; CA: Carbón activo
Tamayo, 2020

En la Figura 3 se presenta el porcentaje de remoción calculado para el parámetro nitritos por tratamiento, se observa que los tratamientos de fitorremediación T3, T4, T5, y T6 obtuvieron el mayor porcentaje remoción con 100%, lo cual indica que el compuesto se removió en totalidad. Mientras que los tratamientos T7 (coagulación-floculación), T8 (oxidación avanzada) y los tratamientos, control con y sin aireación, no presentaron remoción alguna de nitritos.

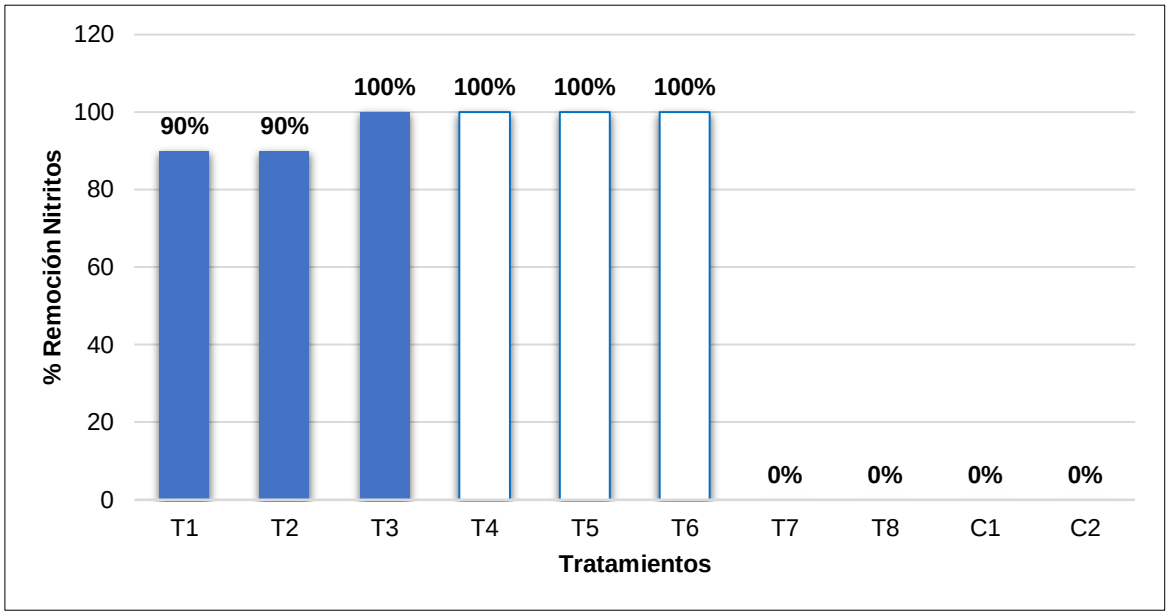


Figura 3. Porcentaje de remoción de nitritos por tratamiento
Barras rellenas: Trat. con aireación; No rellenas: Trat. sin aireación
Tamayo, 2020

Esto indica que a mayores dosis de biomasa de *C. zizanioides* y en condiciones de no aireación los tratamientos por fitorremediación para remoción de nitritos son más efectivos. Así como que los tratamientos que no emplean algún método de remediación no remueven los compuestos de nitritos.

4.3 Comparación de los tratamientos de fitorremediación y coagulación-floculación-oxidación de aguas residuales de la industria camaronera

Se presentan los resultados y análisis estadístico por periodos de evaluación (5-10-15 días) para cada variable dependiente propuesta, con excepción del parámetro color en cuanto análisis estadístico, así como la tendencia de los parámetros pH, nitratos y nitritos.

4.3.1 Resultados estadísticos de pH.

Dentro del parámetro pH no se evidenció reacción en ninguno de los tratamientos con el paso del tiempo (ver tabla 7). Los valores de pH para las 30 réplicas por cada tratamiento y periodo evaluado fue 8, por tanto, al no existir variación entre los datos no fue posible estimar medidas de dispersión ni realizar la prueba de Kruskal-Wallis

que establece diferencias entre tratamientos. De igual forma se dio en los tratamientos T7 (coagulación-floculación) y T8 (oxidación avanzada), su pH fue 8; sin embargo, no se representaron por poseer distinto periodo (dos mediciones) y tiempo de acción (1 hora).

Tabla 7. Medias de pH por tratamiento

T	Descripción	A/NA	Dosis	Días de evaluación			
				0	5	10	15
				pH	pH	pH	pH
T1	*C. zizanioides* + agua residual	A	17 g	8	8	8	8
T2	*C. zizanioides* + agua residual	A	26 g	8	8	8	8
T3	*C. zizanioides* + agua residual	A	33 g	8	8	8	8
T4	*C. zizanioides*+ agua residual	NA	45 g	8	8	8	8
T5	*C. zizanioides*+ agua residual	NA	55 g	8	8	8	8
T6	*C. zizanioides*+ agua residual	NA	66 g	8	8	8	8
C1	Agua residual	A	-	8	8	8	8
C2	Agua residual	NA	-	8	8	8	8

Tamayo, 2020

4.3.2 Resultados estadísticos de Nitratos.

4.3.2.1 Tendencia de Nitratos por tratamiento.

Dentro del parámetro Nitratos se evidenció disminución de los valores en los tratamientos de fitorremediación con el paso del tiempo (ver Figura 4). Se observa que, al cabo de 15 días, los tratamientos de fitorremediación que contienen mayores dosis de biomasa de *C. zizanioides* y en condiciones de no aireación presentan los menores valores de nitratos.

La muestra inicial se representa como 0 días, es decir, sin aplicación de tratamientos todavía. Inicialmente las réplicas y medias de nitratos fueron de 50 mg/L en todos los tratamientos, por no evaluarse aún el efecto de los tratamientos, no se realizó la prueba de Kruskal-Wallis en este periodo, si no a partir de los 5 días.

Los tratamientos T7 (coagulación-floculación) y T8 (oxidación avanzada) no se representaron por contener distintas mediciones (dos mediciones) y tiempo de acción (1 hora), sin embargo, su valor inicial de nitratos fue 50 mg/L por cada réplica, este valor se mantuvo una vez aplicado los tratamientos.

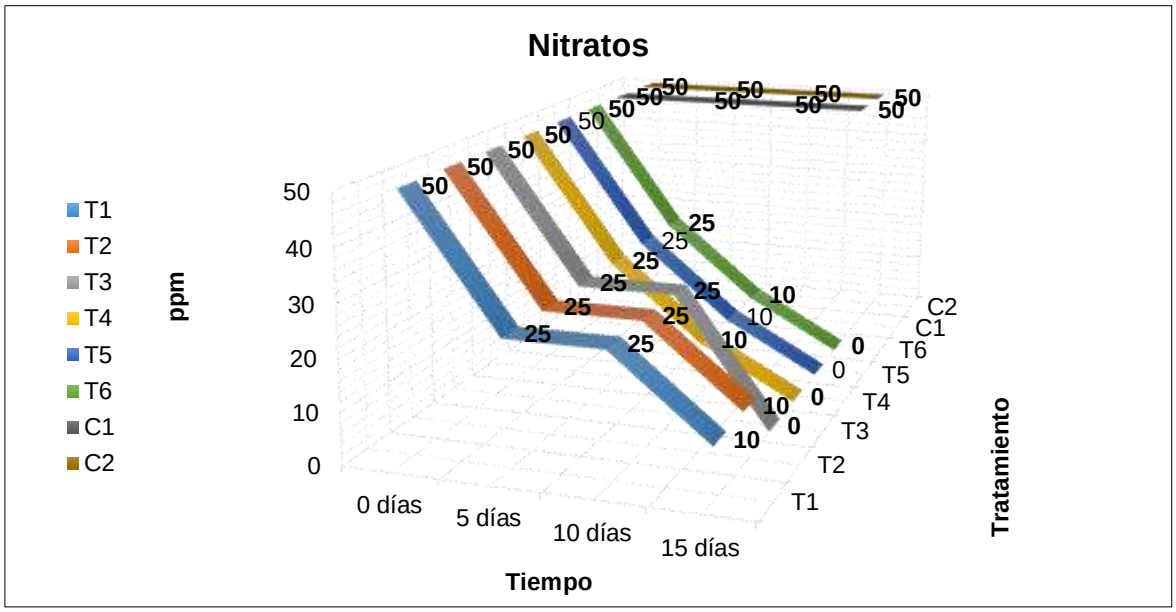


Figura 4. Tendencia de las medias de Nitratos por tratamiento
Tamayo, 2020

4.3.2.2 Prueba Kruskal-Wallis para nitratos a los 5 días

A los 5 días las medias de nitratos disminuyeron a 25 mg/L en todos los tratamientos de fitorremediación, siendo estos los valores más bajos, mientras que los valores de los tratamientos control se mantuvieron en 50 mg/L, siendo estos los valores más altos. Al presentarse variación entre los tratamientos se aplicó la prueba Kruskal-Wallis, el análisis se presenta en la Tabla 8 (ver resultados de Infostat en Figura 24, anexos).

Tabla 8. Prueba Kruskal-Wallis para nitratos a los 5 días

Condición	α	Valor p	Decisión
Sí $p \leq 0.05$ se rechaza la H_o a un nivel de confianza del 95%.	0,05	0,0017	*Se acepta hipótesis alternativa*. H_a= al menos una mediana de los tratamientos es diferente.

Tamayo, 2020

Se realizó la comparación de a pares por existir diferencia significativa entre tratamientos. En la Tabla 9 se observa que los tratamientos T1 al T6 no son significativamente diferentes entre sí, pero sí lo son de los tratamientos control. Esto indica que los tratamientos de fitorremediación tienen igual efecto en la remoción de nitratos del agua residual de la camaronera a los 5 días.

Tabla 9. Comparación de pares para nitratos a los 5 días

Trat.	Descripción	Dosis	A/F	Mediana	Rangos	Comparación	
T1	*C. zizanioides* + agua residual	17 g	A	25	9,5	**A**	
T2	*C. zizanioides* + agua residual	26 g	A	25	9,5	**A**	
T3	*C. zizanioides* + agua residual	33 g	A	25	9,5	**A**	
T4	*C. zizanioides* + agua residual	45 g	NA	25	9,5	**A**	
T5	*C. zizanioides* + agua residual	55 g	NA	25	9,5	**A**	
T6	*C. zizanioides* + agua residual	66 g	NA	25	9,5	**A**	
C1	Agua residual	-	A	50	21,5		**B**
C2	Agua residual	-	NA	50	21,5		**B**

Medianas con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)
Tamayo, 2020

4.3.2.3 Prueba Kruskal-Wallis para nitratos a los 10 días

A los 10 días las medias de nitratos de los tratamientos T4, T5 y T6 disminuyeron a 10 mg/L, siendo estos los valores más bajos, mientras que T1, T2 y T3 se mantuvieron en 25 mg/L. Por su parte los valores de nitratos de los tratamientos control se mantuvieron en 50 mg/L, siendo estos los valores más altos. Al presentarse variación entre los tratamientos se aplicó la prueba Kruskal-Wallis, el análisis se presenta en la Tabla 10 (ver resultados de Infostat en Figura 25, anexos).

Tabla 10. Prueba Kruskal-Wallis para nitratos a los 10 días

Condición	α	Valor p	Decisión
Sí $p \leq 0.05$ se rechaza la H_o a un nivel de confianza del 95%.	0,05	0,0017	*Se acepta hipótesis alternativa*. H_a= al menos una mediana de los tratamientos es diferente.

Tamayo, 2020

Se realizó la comparación de a pares por existir diferencia significativa entre tratamientos. En la Tabla 11 se observa que los tratamientos T1 al T6 no son significativamente diferentes entre sí, pero T4 al T6 sí lo son de los tratamientos control. Esto indica que los tratamientos T4 al T6 tienen mayor efecto en la remoción de nitratos del agua residual de la camaronera a los 10 días.

Tabla 11. Comparación de pares para nitratos a los 10 días

Trat.	Descripción	Dosis	A/F	Mediana	Rangos	Comparación	
T4	*C. zizanioides* + agua residual	45 g	NA	10	5	**A**	
T5	*C. zizanioides* + agua residual	55 g	NA	10	5	**A**	
T6	*C. zizanioides* + agua residual	66 g	NA	10	5	**A**	
T3	*C. zizanioides* + agua residual	33 g	A	25	14	**A**	**B**
T1	*C. zizanioides* + agua residual	17 g	A	25	14	**A**	**B**
T2	*C. zizanioides* + agua residual	26 g	A	25	14	**A**	**B**
C1	Agua residual	-	A	50	21,5		**B**
C2	Agua residual	-	NA	50	21,5		**B**

Medianas con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)
Tamayo, 2020

4.3.2.4 Prueba Kruskal-Wallis para nitratos a los 15 días

A los 15 días las medias de nitratos de los tratamientos T3, T4, T5 y T6 disminuyeron a 0, siendo estos los valores más bajos, mientras que T1 y T2 decrecieron a 10 mg/L. Por su parte los valores de nitratos de los tratamientos control se mantuvieron en 50 mg/L, siendo estos los valores más altos. Al presentarse variación entre los tratamientos se aplicó la prueba Kruskal-Wallis, el análisis se presenta en la Tabla 12 (ver resultados de Infostat en Figura 26, anexos).

Tabla 12. Prueba Kruskal-Wallis para nitratos a los 15 días

Condición	α	Valor p	Decisión
Sí $p \leq 0.05$ se rechaza la H_o a un nivel de confianza del 95%.	0,05	0,0017	*Se acepta hipótesis alternativa*. H_a= al menos una mediana de los tratamientos es diferente.

Tamayo, 2020

Se realizó la comparación de a pares por existir diferencia significativa entre tratamientos. En la Tabla 13 se observa que los tratamientos T1 al T6 no son significativamente diferentes entre sí, pero T3 al T6 sí lo son de los tratamientos control. Esto indica que los tratamientos T3 al T6 tienen mayor efecto en la remoción de nitratos del agua residual de la camaronera a los 15 días.

Tabla 13. Comparación de pares para nitratos a los 15 días

Trat.	Descripción	Dosis	A/F	Mediana	Rangos	Comparación	
T3	*C. zizanioides* + agua residual	33 g	A	0	6,5	**A**	
T4	*C. zizanioides* + agua residual	45 g	NA	0	6,5	**A**	
T5	*C. zizanioides* + agua residual	55 g	NA	0	6,5	**A**	
T6	*C. zizanioides* + agua residual	66 g	NA	0	6,5	**A**	
T1	*C. zizanioides* + agua residual	17 g	A	10	15,5	**A**	**B**
T2	*C. zizanioides* + agua residual	26 g	A	10	15,5	**A**	**B**
C1	Agua residual	-	A	50	21,5		**B**
C2	Agua residual	-	NA	50	21,5		**B**

Medianas con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)
Tamayo, 2020

4.3.3 Resultados estadísticos de Nitritos

4.3.3.1 Tendencia de Nitritos por tratamiento

Dentro del parámetro Nitritos se evidenció disminución de los valores en los tratamientos de fitorremediación con el paso del tiempo (ver Figura 5). Se observa que, al cabo de 15 días, los tratamientos de fitorremediación que contienen mayores dosis de biomasa de *C. zizanioides* y en condiciones de no aireación presentan los menores valores de nitritos.

La muestra inicial se representa como 0 días, es decir, sin aplicación de tratamientos todavía. Inicialmente las réplicas y medias de nitritos fueron de 10 mg/L en todos los tratamientos, por no evaluarse aún el efecto de los tratamientos,

no se realizó la prueba de Kruskal-Wallis en este periodo, si no a partir de los 5 días.

Los tratamientos T7 (coagulación-floculación) y T8 (oxidación avanzada) no se representaron por contener distintas mediciones (dos mediciones) y tiempo de acción (1 hora), sin embargo, su valor inicial de nitritos fue 10 mg/L por cada réplica, este valor se mantuvo una vez aplicado los tratamientos.

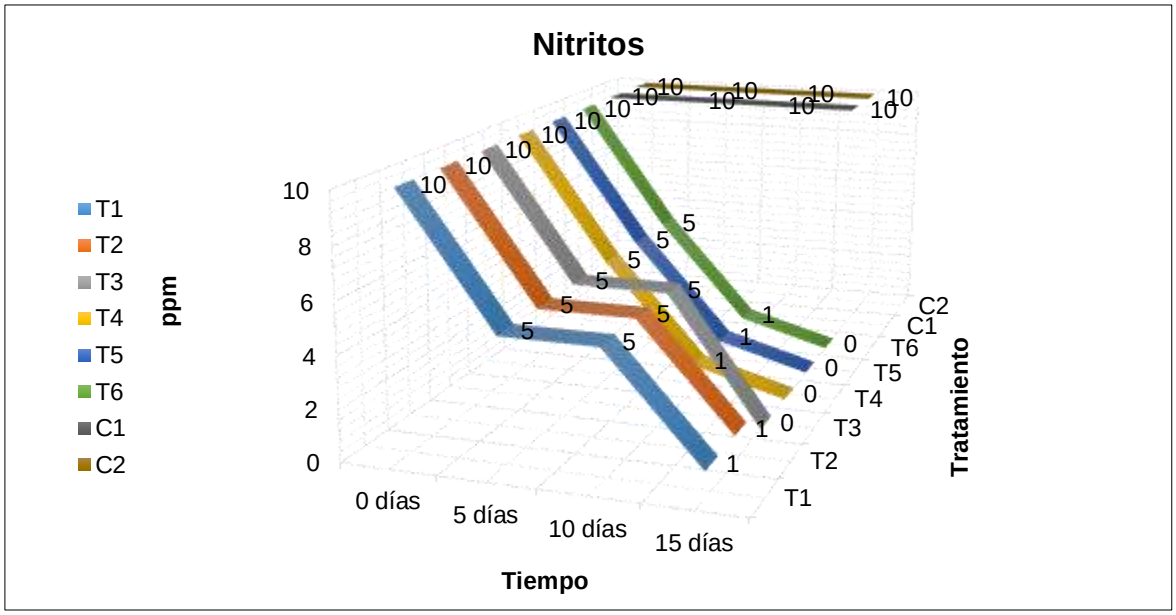


Figura 5. Tendencia de las medias de Nitritos por tratamiento
Tamayo, 2020

4.3.3.2 Prueba Kruskal-Wallis para nitritos a los 5 días

A los 5 días las medias de nitritos disminuyeron a 5 mg/L en todos los tratamientos de fitorremediación, siendo estos los valores más bajos, mientras que los valores de los tratamientos control se mantuvieron en 10 mg/L, siendo estos los valores más altos. Al presentarse variación entre los tratamientos se aplicó la prueba Kruskal-Wallis, el análisis se presenta en la Tabla 14 (ver resultados de Infostat en Figura 27, anexos).

Tabla 14. Prueba Kruskal-Wallis para nitritos a los 5 días

Condición	α	Valor p	Decisión
Sí *p ≤ 0.05* se rechaza la H_o a un nivel de confianza del 95%.	0,05	0,0017	*Se acepta hipótesis alternativa*. H_a= al menos una mediana de los tratamientos es diferente.

Tamayo, 2020

Se realizó la comparación de a pares por existir diferencia significativa entre tratamientos. En la Tabla 15 se observa que los tratamientos T1 al T6 no son significativamente diferentes entre sí, pero sí lo son de los tratamientos control. Esto indica que los tratamientos de fitorremediación tienen igual efecto en la remoción de nitritos del agua residual de la camaronera a los 5 días.

Tabla 15. Comparación de pares para nitritos a los 5 días

Trat.	Descripción	Dosis	A/F	Mediana	Rangos	Comparación	
T1	*C. zizanioides* + agua residual	17 g	A	5	9,5	**A**	
T2	*C. zizanioides* + agua residual	26 g	A	5	9,5	**A**	
T3	*C. zizanioides* + agua residual	33 g	A	5	9,5	**A**	
T4	*C. zizanioides* + agua residual	45 g	NA	5	9,5	**A**	
T5	*C. zizanioides* + agua residual	55 g	NA	5	9,5	**A**	
T6	*C. zizanioides* + agua residual	66 g	NA	5	9,5	**A**	
C1	Agua residual	-	A	10	21,5		**B**
C2	Agua residual	-	NA	10	21,5		**B**

Medianas con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)
Tamayo, 2020

4.3.3.3 Prueba Kruskal-Wallis para nitritos a los 10 días

A los 10 días las medias de nitritos de los tratamientos T4, T5 y T6 disminuyeron a 1 mg/L, siendo estos los valores más bajos, mientras que T1, T2 y T3 se mantuvieron en 5 mg/L. Por su parte los valores de nitritos de los tratamientos control se mantuvieron en 10 mg/L, siendo estos los valores más altos. Al presentarse variación entre los tratamientos se aplicó la prueba Kruskal-Wallis, el análisis se presenta en la Tabla 16 (ver resultados de Infostat en Figura 28, anexos).

Tabla 16. Prueba Kruskal-Wallis para nitritos a los 10 días

Condición	α	Valor p	Decisión
Sí $p \leq 0.05$ se rechaza la H_o a un nivel de confianza del 95%.	0,05	0,0017	*Se acepta hipótesis alternativa*. H_a= al menos una mediana de los tratamientos es diferente.

Tamayo, 2020

Se realizó la comparación de a pares por existir diferencia significativa entre tratamientos. En la Tabla 17 se observa que los tratamientos T1 al T6 no son significativamente diferentes entre sí, pero T4 al T6 sí lo son de los tratamientos control. Esto indica que los tratamientos T4 al T6 tienen mayor efecto en la remoción de nitritos del agua residual de la camaronera a los 10 días.

Tabla 17. Comparación de pares para nitritos a los 10 días

Trat.	Descripción	Dosis	A/F	Mediana	Rangos	Comparación	
T4	*C. zizanioides* + agua residual	45 g	NA	1	5	**A**	
T5	*C. zizanioides* + agua residual	55 g	NA	1	5	**A**	
T6	*C. zizanioides* + agua residual	66 g	NA	1	5	**A**	
T3	*C. zizanioides* + agua residual	33 g	A	5	14	**A**	**B**
T1	*C. zizanioides* + agua residual	17 g	A	5	14	**A**	**B**
T2	*C. zizanioides* + agua residual	26 g	A	5	14	**A**	**B**
C1	Agua residual	-	A	10	21,5		**B**
C2	Agua residual	-	NA	10	21,5		**B**

Medianas con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)
Tamayo, 2020

4.3.3.4 Prueba Kruskal-Wallis para nitritos a los 15 días

A los 15 días las medias de nitritos de los tratamientos T3, T4, T5 y T6 disminuyeron a 0, siendo estos los valores más bajos, mientras que T1 y T2 decrecieron a 1 mg/L. Por su parte los valores de nitritos de los tratamientos control se mantuvieron en 10 mg/L, siendo estos los valores más altos. Al presentarse variación entre los tratamientos se aplicó la prueba Kruskal-Wallis, el análisis se presenta en la Tabla 18 (ver resultados de Infostat en Figura 29, anexos).

Tabla 18. Prueba Kruskal-Wallis para nitritos a los 15 días

Condición	α	Valor p	Decisión
Sí $p \leq 0.05$ se rechaza la H_o a un nivel de confianza del 95%.	0,05	0,0017	*Se acepta hipótesis alternativa*. H_a= al menos una mediana de los tratamientos es diferente.

Tamayo, 2020

Se realizó la comparación de a pares por existir diferencia significativa entre tratamientos. En la Tabla 19 se observa que los tratamientos T1 al T6 no son significativamente diferentes entre sí, pero T3 al T6 sí lo son de los tratamientos control. Esto indica que los tratamientos T3 al T6 tienen mayor efecto en la remoción de nitritos del agua residual de la camaronera a los 15 días.

Tabla 19. Comparación de pares para nitritos a los 15 días

Trat.	Descripción	Dosis	A/F	Mediana	Rangos	Comparación	
T3	*C. zizanioides* + agua residual	33 g	A	0	6,5	**A**	
T4	*C. zizanioides* + agua residual	45 g	NA	0	6,5	**A**	
T5	*C. zizanioides* + agua residual	55 g	NA	0	6,5	**A**	
T6	*C. zizanioides* + agua residual	66 g	NA	0	6,5	**A**	
T1	*C. zizanioides* + agua residual	17 g	A	1	15,5	**A**	**B**
T2	*C. zizanioides* + agua residual	26 g	A	1	15,5	**A**	**B**
C1	Agua residual	-	A	10	21,5		**B**
C2	Agua residual	-	NA	10	21,5		**B**

Medianas con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)
Tamayo, 2020

4.3.4 Resultados estadísticos de Temperatura

4.3.4.1 Tendencia de temperatura por tratamiento

Dentro del parámetro temperatura no se evidenció cambio de los grados centígrados en los tratamientos con el paso del tiempo (ver Figura 6). La muestra inicial se representa como 0 días, es decir, sin aplicación de tratamientos todavía. Inicialmente el tratamiento que presentó la mayor temperatura fue el tratamiento T2

(*C. zizanioides* + agua residual - 26 g) con 23°C promedio, y el tratamiento de menor temperatura fue T5 (*C. zizanioides* + agua residual – 55 g) con 19°C promedio.

Los tratamientos T7 (coagulación-floculación) y T8 (oxidación avanzada) no se representaron por contener distintas mediciones (dos mediciones) y tiempo de acción (1 hora), sin embargo, su valor inicial y final de temperatura fue de 22,67°C por cada réplica.

Por no evaluarse aún el efecto de los tratamientos, no se realizó la prueba de Kruskal-Wallis en este periodo, si no a partir de los 5 días. Siendo este periodo el único en que se presentó diferencia significativa entre tratamientos.

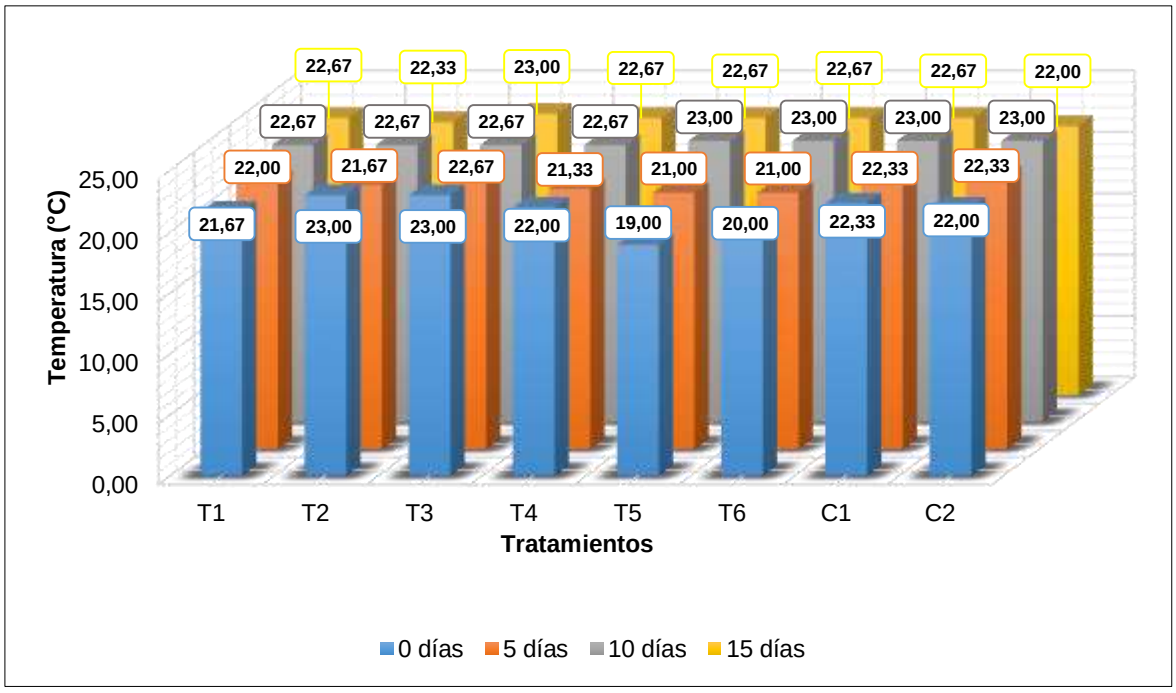


Figura 6. Tendencia de las medias de Temperatura por tratamiento
Tamayo, 2020

4.3.4.2 Prueba Kruskal-Wallis para temperatura a los 5 días

A los 5 días las medias de temperatura presentaron diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento que presentó la mayor temperatura fue el tratamiento T3 (*C. zizanioides* + agua residual - 33 g) con 22,67°C promedio, y los tratamientos de menor temperatura fueron T5 y T6 (*C. zizanioides* + agua residual – 55 y 66 g) con 21°C promedio. Al presentarse variación entre los tratamientos se

aplicó la prueba Kruskal-Wallis, el análisis se presenta en la Tabla 20 (ver resultados de Infostat en Figura 30, anexos).

Tabla 20. Prueba Kruskal-Wallis para temperatura a los 5 días.

Condición	A	Valor p	Decisión
Sí $p \leq 0.05$ se rechaza la H_o a un nivel de confianza del 95%.	0,05	0,0281	*Se acepta hipótesis alternativa*. H_a= al menos una mediana de los tratamientos es diferente

Tamayo, 2020

Se realizó la comparación de a pares por existir diferencia significativa entre tratamientos. En la Tabla 21 se observa que los tratamientos T1,T2 y T4 al T6 no son significativamente diferentes entre sí; pero T3 y los controles si difieren de T4 y T5. Esto indica que los tratamientos T4 y T5 tienen mayor efecto en la temperatura

Tabla 21. Comparación de pares para temperatura a los 5 días

Trat.	Descripción	Dosis	A/F	Mediana	Rangos	Comparación	
T5	*C. zizanioides* + agua residual	55 g	NA	21	5	**A**	
T6	*C. zizanioides* + agua residual	66 g	NA	21	5	**A**	
T4	*C. zizanioides* + agua residual	45 g	NA	22	10	**A**	**B**
T2	*C. zizanioides* + agua residual	26 g	A	22	11,33	**A**	**B**
T1	*C. zizanioides* + agua residual	17 g	A	22	14,5	**A**	**B**
C1	Agua residual	-	A	22	17,17		**B**
C2	Agua residual	-	NA	22	17,17		**B**
T3	*C. zizanioides* + agua residual	33 g	A	23	19,83		**B**

Medianas con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)
Tamayo, 2020

4.3.4.3 Prueba Kruskal-Wallis para temperatura a los 10 días

A los 10 días las medias de temperatura no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Los tratamientos que presentaron la mayor temperatura fueron T1 a T5 con 22,67°C promedio, y los tratamientos de menor temperatura fueron T6 (*C. zizanioides* + agua residual – 55 g) y los controles con 23°C promedio. Se aplicó

la prueba Kruskal-Wallis, el análisis se presenta en la Tabla 22 (ver resultados de Infostat en Figura 31, anexos).

Tabla 22. Prueba Kruskal-Wallis para temperatura a los 10 días.

Condición	A	Valor p	Decisión
Sí *p ≤ 0.05* se rechaza la H_o a un nivel de confianza del 95%.	0,05	0,7086	*Se acepta hipótesis nula*. H_o= Todas las medianas de los tratamientos son iguales.

Tamayo, 2020

4.3.4.4 Prueba Kruskal-Wallis para temperatura a los 15 días

A los 15 días las medias de temperatura no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento que presentó la mayor temperatura fue el tratamiento T3 (*C. zizanioides* + agua residual - 33 g) con 23°C promedio, y el tratamiento de menor temperatura fue el control dos (sin aireación) con 22°C promedio. Se aplicó la prueba Kruskal-Wallis, el análisis se presenta en la Tabla 23 (ver resultados de Infostat en Figura 32, anexos).

Tabla 23. Prueba Kruskal-Wallis para temperatura a los 15 días.

Condición	A	Valor p	Decisión
Sí *p ≤ 0.05* se rechaza la H_o a un nivel de confianza del 95%.	0,05	0,4055	*Se acepta hipótesis nula*. H_o= Todas las medianas de los tratamientos son iguales.

Tamayo, 2020

4.3.5 Resultados de color

En la Tabla 24 se presentan los resultados de la comparación del color aparente inicial (I) y final (F) por cada tratamiento y réplica. Para éste parámetro no fue posible estimar el porcentaje de remoción puesto que se trata de una comparación visual basada en el modelo cromático RGB que se realizó con la ayuda de la aplicación Color Assist Lite; permite enviar muestras de color RGB por correo electrónico con chips de color y fotos seleccionadas, muestra de 1x1 a 50x50 píxeles mostrando que conversiones de color mostrar.

Tabla 24. Resultados por réplica del color

T	Descripción	A/F	Dosis	Tiempo	R1		R2		R3	
					I	F	I	F	I	F
T1	*C. zizanioides* + agua residual	A	17 g	15 días						
T2	*C. zizanioides* + agua residual	A	26 g	15 días						
T3	*C. zizanioides* + agua residual	A	33 g	15 días						
T4	*C. zizanioides* + agua residual	NA	45 g	15 días						
T5	*C. zizanioides* + agua residual	NA	55 g	15 días						
T6	*C. zizanioides* + agua residual	NA	66 g	15 días						
T7	Agua residual + Coagulante-Floculante	CA	-	1 hora						
T8	Agua residual + Oxidación avanzada	CA	-	1 hora						
C1	Agua residual	A	-	15 días						
C2	Agua residual	NA	-	15 días						

A: aireación, NA: no aireación; CA: Carbón activo
Tamayo, 2020

En los tratamientos T1 al T3 y controles no se observa un cambio notable del patrón de color, al final de los tratamientos se tornó ligeramente intenso. En los tratamientos T4 al T6 se observa un cambio moderado del color. En cambio, en los tratamientos T7 y T8 se evidencia un cambio notable del patrón de color, al final de estos tratamientos se tornó más claro; se observa que T7 obtuvo mejores resultados que T8. Esto indicaría que los tratamientos de fitorremediación requieren de la aplicación posterior de tratamientos de coagulación-floculación u oxidación avanzada para un tratamiento de aguas más completo.

5. Discusión

Según Infante, 2017 en Colombia se utilizó la cascarilla de arroz y pasto vetiver *(C.Zizanioides)* para lograr un efluente de calidad óptima disminuyendo nitritos de 1,0 a 0,15. Así se demostró que hubo similitud en esta investigación reduciendo significativamente a los 15 días los tratamientos de fitorremediación T3, T4, T5, y T6 obtuvieron el mayor porcentaje remoción con 100%, lo cual indica que el compuesto se removió en totalidad.

Ruíz, 2018 constató en su estudio de la Universidad Central de Venezuela donde se midieron los niveles de nitrato en el agua cruda y en el sistema con vetiver hubo una reducción del mismo de aproximadamente un 100%, es decir se redujo de 8,8 mg/L hasta llegar a niveles de cero, semejante a lo que se obtuvo en esta investigación al cabo de 15 días, los tratamientos de fitorremediación que contienen mayores dosis de biomasa de *C. zizanioides* y en condiciones de no aireación presentan los menores valores de nitratos.

Así mismo lo comprobó Scavo, 2018 afirmando que la remoción de nitratos por vetiver disminuye gradualmente en el tiempo; para este caso la tasa de remoción fue de 19,89 ± 3,85 % en un tiempo de retención hidráulica de 4 días, Los tratamientos de fitorremediación T3, T4, T5, y T6 de este estudio se obtuvo el mayor porcentaje de remoción con 100%, lo cual indica que el compuesto se removió en totalidad. Mientras que los tratamientos T7 (coagulación-floculación), T8 (oxidación avanzada) y los tratamientos, control con y sin aireación, no presentaron remoción alguna de nitratos. Estos resultados comprueban los estudios encontrados por otros investigadores, los cuales señalan que la planta vetiver disminuye los niveles de nitratos en el agua y lo acumula en sus tejidos raíz y follaje.

La escuela Profesional de Ingeniería Ambiental hace mención de un tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver en humedales de flujo subsuperficial donde Rojas, 2018 expresó que se obtuvo resultados para la estabilización del pH de dicho sistema siendo de 83,95 %; comportamiento que no ocurrió en el mismo tratamiento sin vetiver dónde esta eficiencia fue de 78,53 %. De igual manera ocurrió en esta proyecto lo cual se pudo estabilizar el pH, las aguas que tienen un rango de pH que va de 6.5 a 9.0 son las más adecuadas para ser utilizadas para la producción de especies acuáticas según (Golabi & Duguies, 2013). No se evidenció reacción en ninguno de los tratamientos con el paso del tiempo. Los valores de pH para las 30 réplicas por cada tratamiento y periodo evaluado fue 8. Por lo tanto de la misma forma se dio en los tratamientos T7 (coagulación-floculación) y T8 (oxidación avanzada), su pH fue 8; sin embargo, no se representaron por poseer distinto periodo (dos mediciones) y tiempo de acción (1 hora).

Dentro del parámetro temperatura que se analizó en este proyecto no se evidenció cambio de los grados centígrados en los tratamientos con el paso del tiempo. Inicialmente el tratamiento que presentó la mayor temperatura fue el tratamiento T2 (*C. zizanioides* + agua residual - 26 g) con 23°C promedio, y el tratamiento de menor temperatura fue T5 (*C. zizanioides* + agua residual – 55 g) con 19°C promedio. Dando veracidad a los autores (Santana & Santos, 2016) dentro de su estudio utilizando modelo hidropónico flotante que tuvo lugar en Manabí –Ecuador obteniendo remoción de contaminantes y aumentando el oxígeno disuelto desde la primera semana reflejando su adaptabilidad y mejorando la calidad de agua de un río muerto se evidenció que la temperatura del agua aumentaba a partir del mediodía en adelante con datos de 22°C hasta los 25°C y

así se mantuvo hasta su ultimo tratamiento esto significa que no hubieron variaciones significativas ya que solo aumentaba o disminuía 1°C o 2°C.

Gallo & Torres, 2015 en su sistema de flotación con el pasto vetiver en las aguas superficiales de Bogotá añadiendo coagulación/floculación se dieron resultados de fosfatos 8 mg/l. (63%), color (RGB) con un aclarado de agua de 75% y nitratos 2mg/l. (82%) a 193 días. En esta investigación para éste parámetro no fue posible estimar el porcentaje de remoción puesto que se trata de una comparación visual basada en el modelo cromático RGB. En cambio, en los tratamientos T7 y T8 se evidencia un cambio notable del patrón de color, al final de estos tratamientos se tornó más claro; donde T7 obtuvo mejores resultados que T8.

6. Conclusiones

En el presente estudio de titulación la especie Vetiver *(Chrysopogon zizanioides)* cumple la hipótesis de que si disminuye los niveles de nitritos $NO2^-$ y nitratos $NO3^-$ en aguas residuales presentes en una camaronera, provincia de El Oro. Cabe recalcar que se desarrolló mediante el método de colorimetría Macherey Nagel (Merck) para el análisis del agua midiendo nitritos $NO2^-$ y nitratos $NO3^-$ los cuales en sus rangos iniciales de medida instrumental es de 10mg/L nitrato y 0,5 mg/L nitrito y en rango de medida visual comienza nitrato $NO3^-$ con 0 y nitrito $NO3^-$ igual 0. Para el cumplimiento del primer objetivo los tratamientos se midieron al inicio y final empezando con 0, 5, 10 y 15 días. Una de las variables que no obtuvo variación alguna fue la del potencial de hidrógeno con un pH de 8. Así mismo para la variable color donde su patrón fue la gran diferencia en los tratamientos T7 coagulación/floculación y T8 oxidación avanzada. La variable temperatura estuvo en un rango entre 19°C - 23°C.

Para el cumplimiento del segundo objetivo quedó demostrado que las raíces de la especie *(C. zizanioides)* permitió remover un 100% nitritos $NO2^-$ y nitratos $NO3^-$ en los tratamientos T3, T4 T5 y T6 cumpliendo con los requerimientos necesarios conforme a la normativa internacional y al límite de descarga a un cuerpo de agua dulce- Acuerdo ministerial 097-A, 2015. En el caso del tercer objetivo específico se realizó una comparación de fitorremediación especie vetiver *(Chrysopogon zizanioides)* y tratamientos de coagulación- floculación- oxidación por lo tanto a mayor biomasa y sin compañía de aireación su eficiencia es efectiva por consiguiente para un mejor efecto se complementa con tratamiento secundario (químico) el cual clarifique el agua y este tenga una mejor respuesta para su posterior descarga a través de las compuertas de la piscina camaronera.

7. Recomendaciones

Es necesario realizar análisis de parámetros físico-químicos pH, salinidad, temperatura, color, nitritos NO_2^- y nitratos NO_3^- del agua utilizada en los estanques antes de su disposición final. Investigar alternativas orgánicas y ambientalmente sustentables como reemplazo de las sustancias químicas actualmente utilizadas; así los propietarios de las camaroneras tengan más control en las sales solubles que le vierten a las aguas de sus piscinas ya que al momento de desfogue del agua estos sedimentos salinos son arrastrados por el agua y terminan en el río alterando la biota de la zona y una posible eutrofización.

Antes de comenzar con el proceso de coagulación en el diseño experimental se observen otras bibliografías para que puedan proceder con una dosificación y concentración ya adecuadas en otros tratamientos.

Debido a los parámetros que se analizaron el cual donde no todos se pudieron comparar con la normativa vigente en el Ecuador se puede tomar en cuenta la revisión de la normativa internacional para comparar con los límites permitidos.

Al hacer uso de la disposición final de la planta vetiver *(Chrysopogon zizanioides)* en el caso de ser plantada no tendría problema alguno ya que es una planta estéril, es decir su semilla sexual no germina, barrera viva entre los cultivos para evitar la erosión causada por la escorrentía del agua de lluvia o de riego. Esta condición favorece además que no ocurra una contaminación como maleza y no causará un problema, por consiguiente si se utiliza para artesanía sus hojas previamente tratadas se logran fabricar piezas, como cestas, tejido de muebles, techos con fibra de vetiver adornos de todas las formas según la creatividad del artesano.

8. Bibliografía

Alcalá, G. (2013). Métodos de Geología y Agronomía. *GeoAp*, 66-89.

Arencibia, G. (2012). Recircular el agua en el cultivo de camarón, más que una tendencia debe ser una prioridad | Veterinaria.org. Recuperado 13 de febrero de 2019, de http://www.veterinaria.org/5347-Baul-veterinaria-recircular-el-agua-en-el-cultivo-de-camar%EF%BF%BDn--m%EF%BF%BDs-que-una-tendencia--debe-ser-una.html#.XGTrSlxKjIU

Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, E., Casanoves, F., Di Rienzo, J., Robledo, C. (2008). *Infostat, versión 2008. Manual del Usuario* (Primera ed.). Grupo Infostat FCA, Universidad Nacional de Córdoba: Editorial Brujas Argentina.

Berenson, M. y Levine, D. (1996). *Estadística Básica en Administración: Conceptos y aplicaciones.* (Sexta ed.) México: Pearson.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2013, mayo 3). El innovador sistema que permitirá reutilizar aguas contaminadas en Chile - Programa Asia Pacifico :Garcés

Bravo, E. (Ed). (2014). *CASO 2: LA INDUSTRIA CAMARONERA EN ECUADOR.* Madrid. España

Campos, A. (2017). El vetiver para la protección de taludes en los invernaderos. *TecnologyTimes*, 15-19.

Camposano, D. (2016). Uso del Vetiver como modelo Hidropónico . *FIA Fundación para la Innovación Agraria*, 5(3)14-15.

Cárdenas, R. (2012). Nitrato y Nitrito Recuperado 11 de marzo de 2019, de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts204.html

Casios, L. M. (2015). Tratamiento con vetiver en Humedales artificiales. *VetiverCol*, 7-10.

Chuquimboques, J. (2019). OPTIMIZACIÓN DE LA REMOCIÓN SIMULTÁNEA DE NITRATO Y NITRITOS EN AGUAS MUNICIPALES. *Sociedad Química Perú.*, 10-12.

Danh, L. T. (2014). VETIVER PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AGUA. *Vetiver Network International*, 18-26.

Díaz, M. Y., & Purihuamán, C. N. (2018). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CON LA ESPECIE VETIVER (chrysopogon zizanioides) EN HUMEDALES. *SimpecVetiveria*, 2(5) 17-18.

Estrada, R. (2018). Fitodepuración de las propiedades microbiológicas de las aguas domésticas con pasto vetiver. En *Un camino a la fitodepuración* (págs. 25-33). Caracas, Venezuela: Editorial VetiveriaSinc.

FAO, (2010). SEGUNDO INFORME SOBRE BIOECONOMIA. Recuperado 13 de febrero de 2019, de http://www.fao.org/docrep/field/003/U7163S/U7163S04.htm

FAO, (2013). FAO Fisheries & Aquaculture - Visión general del sector acuícola nacional - Ecuador. Recuperado 13 de febrero de 2019, de http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_ecuador/es

Fernández Cruz, S., Ocaña Borrego, F., & Zayas, C. R. (2008). Red de Monitoreo Ambiental de las aguas interiores en la camaronera «Guajaca», Frank País. Holguín. *Ciencias Holguín*, *XIV*(1). Recuperado de http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=181515031008

Forero, E. C. (2018). Eficiencia de (chrysopogon zizanioides) en la remoción de metales pesados. *CientificVetiver*, 14-15.

Flores, P. (2015). Vetiver Consult Ecuador. Recuperado 19 de febrero de 2019, de http://vetiver.bospas.org/

Galván, C. L., Pérez, C. A., & Oviedo, R. A. (2017). Evaluación de la efectividad en la recuperación de aguas contaminadas por hidrocarburos, mediante la técnica de Fitorremediación utilizando Pasto Vetiver. *Santander UDEI*, 14(8) 3-5.

Gallo, E. T. J., & Torres, S. M. V. (Ed.).(2015). *EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL CAÑO COLA DE PATO UBICADO EN EL SECTOR RURAL DEL MUNICIPIO DE ACACIAS DEPARTAMENTO DEL META*. Lima, Perú :Editorial Sáenz.

Golabi, M. H., & Duguies, M. (Ed.). (2013). *Application of the Vetiver System for Wastewater Treatment: An Innovative Nutrient Removal Technology for Sewage Water Treatment in Southern Guam*. Chile, Santiago de Chile. Discurso.

González, D. (2014). La vida del Vetiver. Recuperado 9 de febrero de 2019, de http://www.sld.cu/fitomed/vetiver.htm

Haro, F. (2013). RIZOFILTRACIÓN. Recuperado 27 de febrero de 2019, de https://sites.google.com/site/biorgabinetedeinformatica/rizofiltracion

Infante, S. K. H. (2017). Biofiltro con cascarilla de arroz y pasto vetiver (C. Zizanioides) para el tratamiento del efluente de la PTAR del INPEC – Yopal, Casanare, Colombia. *RIAA*, *8*(1), 107-118.

Lenntech. (2017). Oxidación avanzada. Recuperado 10 de agosto de 2019, de https://www.lenntech.es/oxidacion-avanzada.htm

Limsuwan, C. (Ed.). (2016). *CULTIVO INTENSIVO DE CAMARON TIERRA ADENTRO*. Quito, Ecuador. Holguín.

Mazille, F. (2018). Coagulación, floculación y separación | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management! Recuperado 10 de agosto de 2019, de,https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n%2C-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n

Méndez, A. (2011). Turbidez | La Guía de Química. Recuperado 11 de marzo de 2019, de https://quimica.laguia2000.com/propiedades/turbidez

Ministerio de Acuacultura y Pesca. (2010). Sistemas de recirculación de camaroneras Recuperado 26 de febrero de 2019, de http://www.acuaculturaypesca.gob.ec/

Montano, D., & Vargas, J. (2015). *Fitodepuración de las propiedades físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales con pasto vetiver (Chrysopogon zizanioides) de la planta de Tratamiento de San Luis Talpa, LaPaz.*Recuperadode:https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43871011/ICV4-Roco_Fonseca.pdf

Moreno, L. L., & Fernández, E. (2007). MANEJO AGROECOLÓGICO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN LA HABANA. *Agroecología*, 25(12) 13-14.

Orihuela, J. (2013). Información Técnica Sobre Pasto Vetiver. *Agropasto*, 15-23.

Ortíz, G. (2016). Ecosistemas costeros. Recuperado 13 de febrero de 2019, de http://www.accionecologica.org/component/content/article/496-ecosistemas-costeros-como-operan-las-camaroneras

Palta, G. H., & Velasco, S. M. (2013). FITODEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(5) 57-85.

Pulgar, S. L. (2017). *Sistema de vetiver para descontaminación de aguas.* Revista ProAgro, Bio systems, 10(5), 95-120.

RALCEA. (2013). *Fitotecnologías para el tratamiento de efluentes*. Recuperado de https://fch.cl/wp-content/uploads/2013/09/3_Fitotecnolog_as.pdf

Sáenz, D. E. (2015). VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PASTO VETIVER PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES. *Ingentied*, 18(9) 7-14.

Santana, X., & Santos, J. (2016). *EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (Chrysopogon zizanioides) ex – situ EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS, CASO DE ESTUDIO RÍO MUERTO, CANTÓN MANTA*. Recuperado de http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/281/1/TMA82.pdf

Sepúlveda, N. (2013). *DESARROLLO DE UN PROTOCOLO PARA LA RIZOFILTRACIÓN DE EFLUENTES CONTAMINADOS CON MERCURIO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE FILTROS VEGETALES CON LA ESPECIE VETIVER (Vetiveria zizainodes)*. Revista digital de medio ambiente, BioAgronomía, 110(56), 124-220

Silva, R. (2014). Sistema Vetiver uso y aplicaciones para el tratamiento de aguas residuales TAR. *AgrarioFim*, 10-12.

Solís, W. (2015). HIDROPONÍA: ¿EN QUÉ CONSISTE EL SISTEMA DE RAÍZ FLOTANTE? Recuperado 27 de febrero de 2019, de http://hidroponia.mx/hidroponia-en-que-consiste-el-sistema-de-raiz-flotante/

Rodriguez, O. (2003). Vetiveria- Red latinoamericana. *Boletín Vetiver*, 25-33.

Rojas, S. (2016). Enseñanza del uso de vetiveria aplicado a aguas residuales . *VetiverGroum*, 2-4.

Rosse, D. (2018). Pasto vetiver modificado al uso de aguas . *Cenvet*, 14-23.

Ruíz, C. (Agosto de 2018). Remoción de contaminantes provenientes de la acuicultura mediante la fitorremediación. *Agrotec*, 6-10.

Sáenz, D. E. (2015). VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PASTO VETIVER PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES. *Ingentied*, 18(9) 7-14.

Scavo, M. (2018). Vetiver y su contacto con las aguas resduales. *InfoAgro*, 3-12.

Truong, P. (2018). Vetiver facilidad para mejoramiento de aguas . *Veticon*, 53-65.

Ullauri, L. (2017). *Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (Chrysopogon zizanioides) .* Madrid, España: Campana.

Vargas et al.(Ed). (2013). Comportamiento de la vetiveria (Chrysopogon zizanioides L. Roberty) como extractora de metales pesados en suelos contaminados. *Departamento de Edafología, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España: Editorial Ibéricas.*

Walpole, R., Myers, R., Myers, S., & Ye, K. (2012). Probabilidad y estadística para Ingeniería y Ciencias (Novena ed.). México: Pearson.

9. Anexos

9.1. Anexo 1. Criterios de calidad admisibles reforma 097-A

Tabla 25. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

PARÁMETROS	EXPRESADOS COMO	UNIDAD	CRITERIOS DE CALIDAD	
			Agua dulce	Agua marina
Aluminio(1)	Al	**mg/l**	0,1	1,5
Amoniaco Total(2)	NH3	mg/l	-	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos	PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Policlorados	B	mg/l	0,75	5,0
Boro	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cadmio	CN	mg/l	0,01	0,001
Cianuros	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cinc	Cl_2	mg/l	0,01	0,01
Cloro residual total	-	mg/l	0,05	0,05
Clorofenoles	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobalto	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cobre	Cr	mg/l	0,032	0,05
Cromo total	Sn	mg/l	-	2,00
Estaño	Expre. como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Feno. monohídricos	Sust. solub. en	mg/l	0,3	0,3
Aceites y grasas	Hexano	mg/l	0,5	0,5
Hidroc. T. petróleo	TPH	mg/l	0,3	0,3
Hierro	Fe	mg/l	0,1	0,1
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
M.de O.Antropico	Visible	-	Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxigeno disuelto	OD	%de Saturación	>80	>60
Piretroides	Concentr.piretroides	mg/l	0,05	0,05
Plagu.Organoclor.	Organoclorados	µg/l	10,0	10,0
Plaguic. organofosf.	Organofosforados	µg/l	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l	0,001	0,001
Poten. Hidrógeno	pH	Unid.de pH	6,5-9	6,5-9,5
Selenio	Se	mg/l	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustan. azul Metile.	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	NO_2	mg/l	0,2	-
Nitratos	NO_3	mg/l	13	200
DQO	DQO	mg/l	40	-
DBO5	DBO_5	mg/l	20	-
Sólidos suspendi.	SST	mg/l	Max 10%	-

Acuerdo ministerial 097-A, 2015

Tabla 26. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. Solubles hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio	-	mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	Cn	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. Carbón Clorofor.	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Color real	Color real	Unid. Color	Inaprec. en disol.1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr	mg/l	0,5
Demanda B. O (5 dias)	DBO_5	mg/l	100
Demanda Quim. de O	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarb. De Petroleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia Flot.	Visibles	-	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Niquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrogeno total Kjecdal	N	mg/l	50,0
Comp. Organoclorados	Organoclorados Tot.	mg/l	0,05
Comp. Organofoforados	Organofosforados Tot.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrogeno	Ph	-	6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Solidos Susp. Total	SST	mg/l	130
Solidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO_4	mg/l	1000
Sulfuros	S^2	mg/l	0,5
Temperatura	°C	-	Cond.natural ±3
Tensoactivos	Sust. Azul metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de C.	Tetracloruro de C	mg/l	1,0

Acuerdo ministerial 097-A, 2015

9.2 Anexo 2. Procesos que se realizaron para el trabajo de titulación

Figura 7. Zona a muestrear
Tamayo, 2020

Figura 8. Colorimetría Merck, termómetro de temperatura y pH
Tamayo, 2020

Figura 9. Día de la cosecha del camarón
Tamayo, 2020

Figura 10. Recolección de la muestra de agua residual
Tamayo, 2020

Figura 11. Embalado y traslado de muestras
Tamayo, 2020

Figura 12. Medición inicial colorimetría Merck
Tamayo, 2020

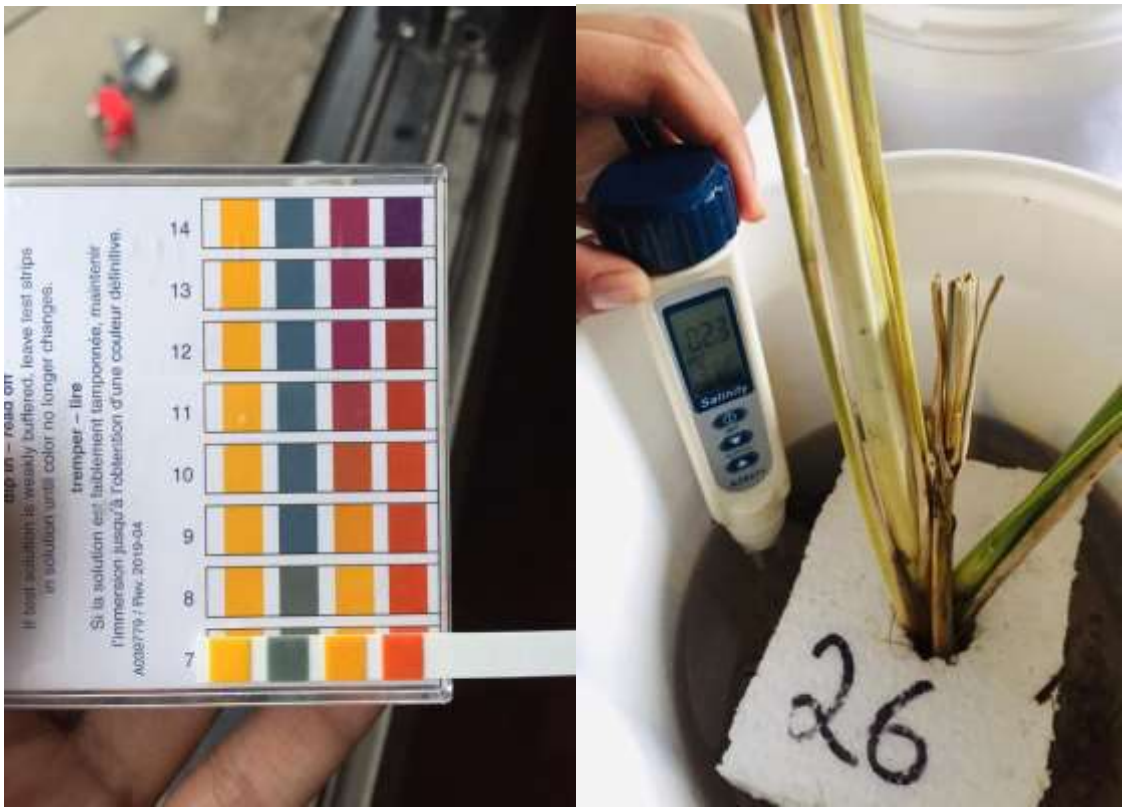


Figura 13 . Medición de pH y temperatura
Tamayo, 2020

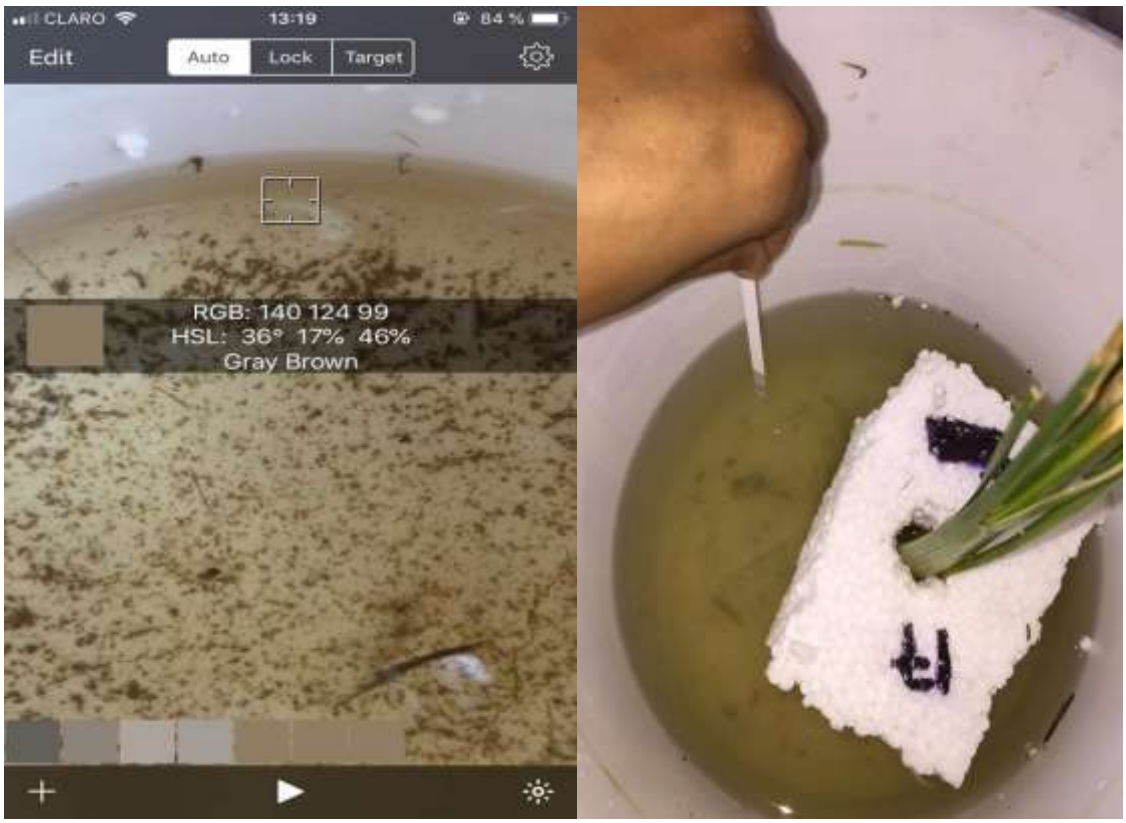


Figura 14. Medición de color y nitritos y nitratos
Tamayo, 2020

Figura 15. Peso de Biomasa (gr)
Tamayo, 2020

Figura 16. Aireación en los tres primeros tratamientos
Tamayo, 2020

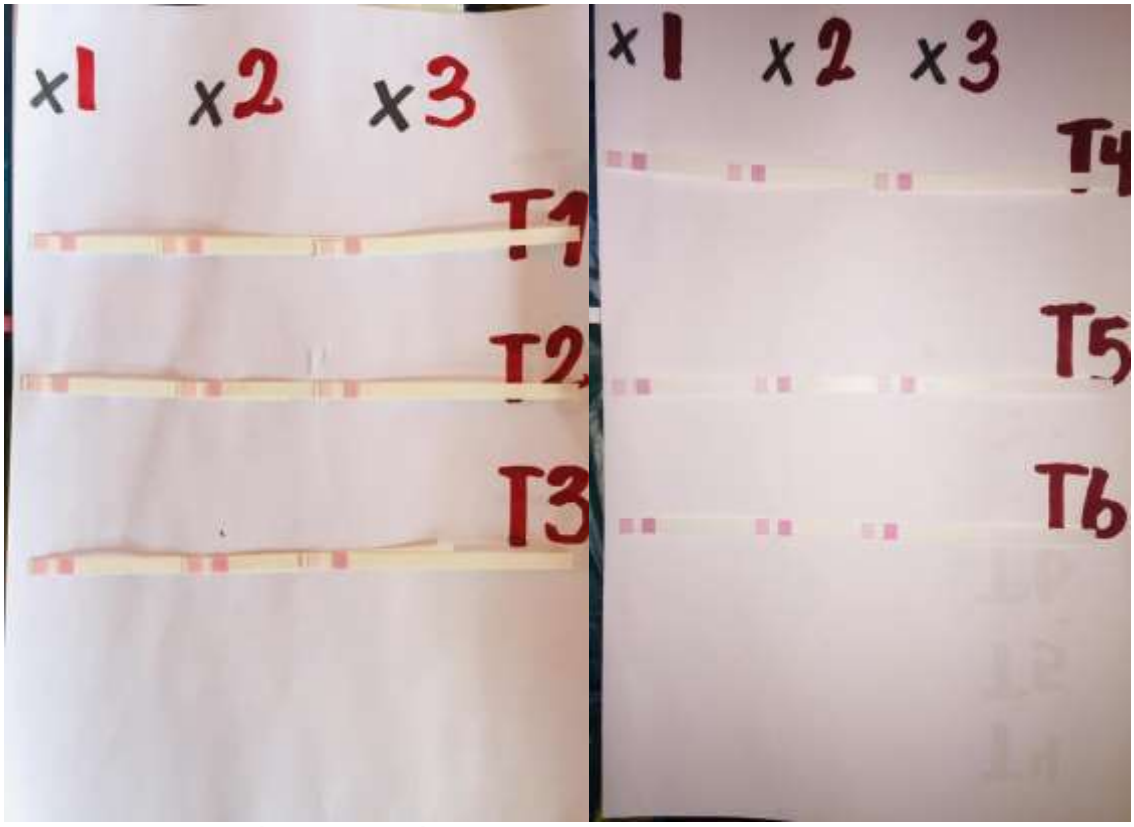


Figura 17. Medición a los 5 días de Nitritos y Nitratos
Tamayo, 2020

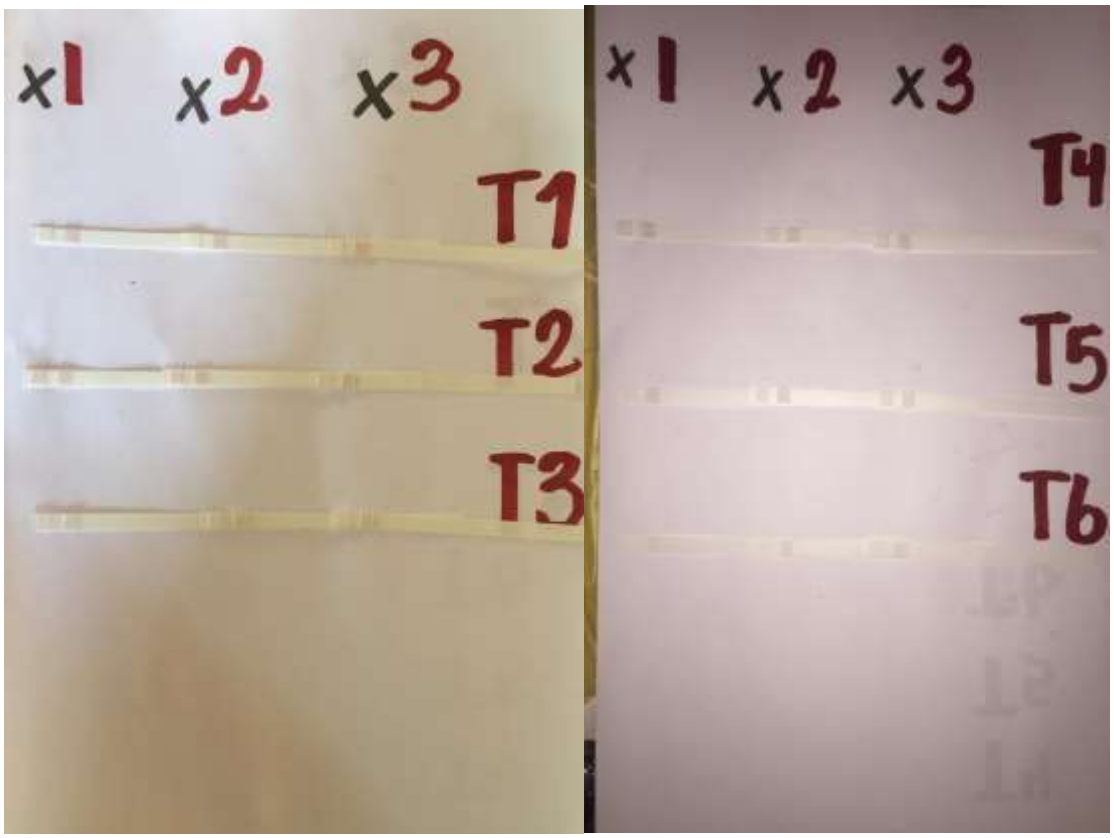


Figura 18. Medición final a los 15 días de Nitritos y Nitratos
Tamayo, 2020

Figura 19. Tratamientos con sus respectivas réplicas
Tamayo, 2020

Figura 20. Eficiencia de Nitritos y nitratos en inicial, 5, 10 y 15 días
Tamayo, 2020

Figura 21. Peso de Sulfato de aluminio y muestras de T7 y T8
Tamayo, 2020

Figura 22. Proyecto Integral Comunitario en San Felipe-Venezuela Tejido de Cestas y techos, con fibra de Vetiver.
Bioingeniería y Artesanía con Vetiver, 2015

Universidad Agraria Del Ecuador
Facultad Ciencias Agrarias
Carrera Ingeniería Ambiental

Objetivo: Identificar las actividades programadas dentro de la camaronera "San José" mediante la ficha de observación.

Responsable: Eliana Tamayo Chilàn

Fecha: 28-11-19 / 28-12-19

Actividades:	**Comentarios:**
Preparación del Suelo	Se realiza un análisis de agua y suelo; según ese análisis se le la afectación de suelo o que le falta. Se aplicó carbonato de calcio o hidróxido de calcio y fertilizantes según la necesidad del suelo.
Preparación de Agua, Siembra y alimentación de larvas	Al agua se le aplica fertilizantes (silicatos, Nitratos y bacterias positivas) a los 8 días. Los primeros 15 días se aplica balanceado (artificial) por día y así va aumentando.
Monitoreo del agua	Al mes se realiza un análisis de de Fitoplancton y zooplancton para observar la calidad del agua ya que éstos son el (alimento natural) También se mide la turbidez del agua (disco secchi) (25-30cm) si pasa de 30cm el agua está pobre se aplica fertilizantes.
Recambio de Agua	(Silicato acuícola y Muriato de Potasio) Al mes en el cultivo se hace Recambio de agua por descomposición, polución por flujo continuo o bajar Nivel o subir, de ahí cada 15 días.

Figura 23. Ficha de Observación
Tamayo, 2020

9.3 Anexo 3. Resultados estadístico mediante el programa infostat

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Nitratos	C1 - Testigo (aireación)	3	50,00	0,00	50,00	12,96	0,0017
Nitratos	C2 - Testigo	3	50,00	0,00	50,00		
Nitratos	T1 - Chrysopogon zizanioid..	3	25,00	0,00	25,00		
Nitratos	T2 - Chrysopogon zizanioid..	3	25,00	0,00	25,00		
Nitratos	T3 - Chrysopogon zizanioid..	3	25,00	0,00	25,00		
Nitratos	T4 - Chrysopogon zizanioid..	3	25,00	0,00	25,00		
Nitratos	T5 - Chrysopogon zizanioid..	3	25,00	0,00	25,00		
Nitratos	T6 - Chrysopogon zizanioid..	3	25,00	0,00	25,00		

Trat.	Ranks		
T3 - Chrysopogon zizanioid..	9,50	A	
T4 - Chrysopogon zizanioid..	9,50	A	
T5 - Chrysopogon zizanioid..	9,50	A	
T6 - Chrysopogon zizanioid..	9,50	A	
T1 - Chrysopogon zizanioid..	9,50	A	
T2 - Chrysopogon zizanioid..	9,50	A	
C1 - Testigo (aireación)	21,50		B
C2 - Testigo	21,50		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Figura 24. Resultados de Kruskal-Wallis para Nitratos a los 5 días
Tamayo, 2020

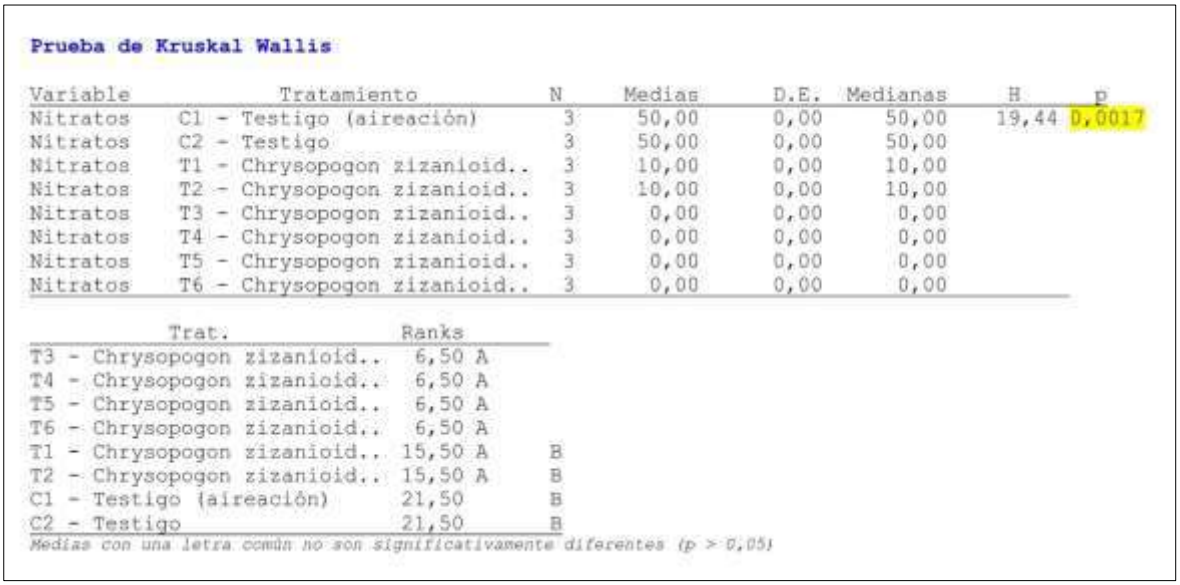
Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Nitratos	C1 - Testigo (aireación)	3	50,00	0,00	50,00	20,25	0,0017
Nitratos	C2 - Testigo	3	50,00	0,00	50,00		
Nitratos	T1 - Chrysopogon zizanioid..	3	25,00	0,00	25,00		
Nitratos	T2 - Chrysopogon zizanioid..	3	25,00	0,00	25,00		
Nitratos	T3 - Chrysopogon zizanioid..	3	25,00	0,00	25,00		
Nitratos	T4 - Chrysopogon zizanioid..	3	10,00	0,00	10,00		
Nitratos	T5 - Chrysopogon zizanioid..	3	10,00	0,00	10,00		
Nitratos	T6 - Chrysopogon zizanioid..	3	10,00	0,00	10,00		

Trat.	Ranks		
T4 - Chrysopogon zizanioid..	5,00	A	
T5 - Chrysopogon zizanioid..	5,00	A	
T6 - Chrysopogon zizanioid..	5,00	A	
T3 - Chrysopogon zizanioid..	14,00	A	B
T1 - Chrysopogon zizanioid..	14,00	A	B
T2 - Chrysopogon zizanioid..	14,00	A	B
C1 - Testigo (aireación)	21,50		B
C2 - Testigo	21,50		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Figura 25. Resultados de Kruskal-Wallis para Nitratos a los 10 días
Tamayo, 2020



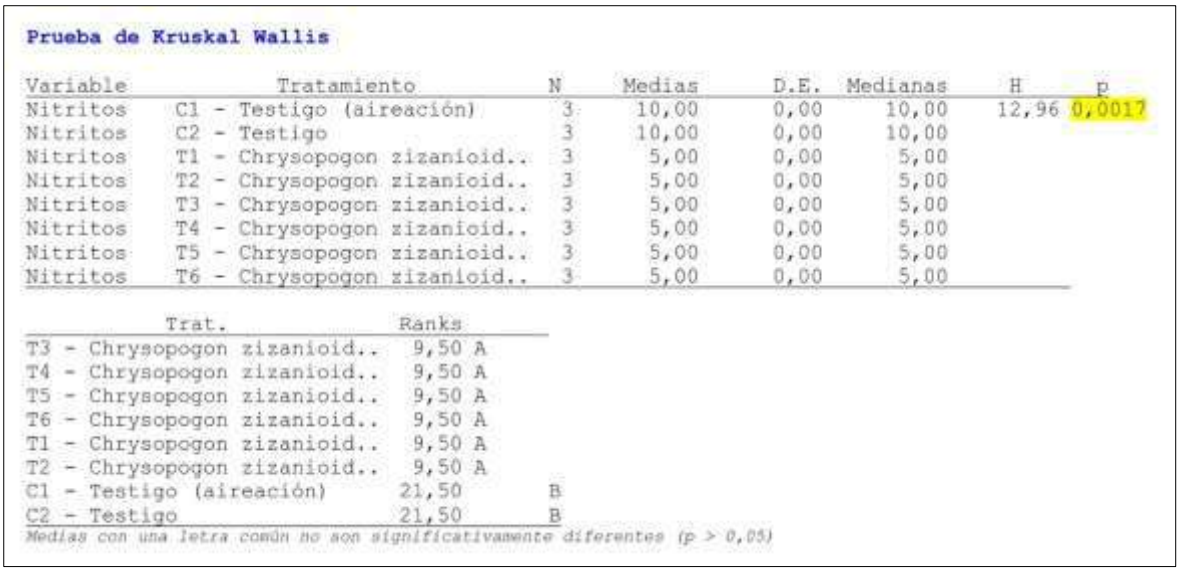
Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Nitratos	C1 - Testigo (aireación)	3	50,00	0,00	50,00	19,44	0,0017
Nitratos	C2 - Testigo	3	50,00	0,00	50,00		
Nitratos	T1 - Chrysopogon zizanioid..	3	10,00	0,00	10,00		
Nitratos	T2 - Chrysopogon zizanioid..	3	10,00	0,00	10,00		
Nitratos	T3 - Chrysopogon zizanioid..	3	0,00	0,00	0,00		
Nitratos	T4 - Chrysopogon zizanioid..	3	0,00	0,00	0,00		
Nitratos	T5 - Chrysopogon zizanioid..	3	0,00	0,00	0,00		
Nitratos	T6 - Chrysopogon zizanioid..	3	0,00	0,00	0,00		

Trat.	Ranks	
T3 - Chrysopogon zizanioid..	6,50	A
T4 - Chrysopogon zizanioid..	6,50	A
T5 - Chrysopogon zizanioid..	6,50	A
T6 - Chrysopogon zizanioid..	6,50	A
T1 - Chrysopogon zizanioid..	15,50	A B
T2 - Chrysopogon zizanioid..	15,50	A B
C1 - Testigo (aireación)	21,50	B
C2 - Testigo	21,50	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Figura 26. Resultados de Kruskal-Wallis para Nitratos a los 15 días
Tamayo, 2020



Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Nitritos	C1 - Testigo (aireación)	3	10,00	0,00	10,00	12,96	0,0017
Nitritos	C2 - Testigo	3	10,00	0,00	10,00		
Nitritos	T1 - Chrysopogon zizanioid..	3	5,00	0,00	5,00		
Nitritos	T2 - Chrysopogon zizanioid..	3	5,00	0,00	5,00		
Nitritos	T3 - Chrysopogon zizanioid..	3	5,00	0,00	5,00		
Nitritos	T4 - Chrysopogon zizanioid..	3	5,00	0,00	5,00		
Nitritos	T5 - Chrysopogon zizanioid..	3	5,00	0,00	5,00		
Nitritos	T6 - Chrysopogon zizanioid..	3	5,00	0,00	5,00		

Trat.	Ranks	
T3 - Chrysopogon zizanioid..	9,50	A
T4 - Chrysopogon zizanioid..	9,50	A
T5 - Chrysopogon zizanioid..	9,50	A
T6 - Chrysopogon zizanioid..	9,50	A
T1 - Chrysopogon zizanioid..	9,50	A
T2 - Chrysopogon zizanioid..	9,50	A
C1 - Testigo (aireación)	21,50	B
C2 - Testigo	21,50	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Figura 27. Resultados de Kruskal-Wallis para Nitritos a los 5 días
Tamayo, 2020

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Nitritos	C1 - Testigo (aireación)	3	10,00	0,00	10,00	20,25	0,0017
Nitritos	C2 - Testigo	3	10,00	0,00	10,00		
Nitritos	T1 - Chrysopogon zizanioid..	3	5,00	0,00	5,00		
Nitritos	T2 - Chrysopogon zizanioid..	3	5,00	0,00	5,00		
Nitritos	T3 - Chrysopogon zizanioid..	3	5,00	0,00	5,00		
Nitritos	T4 - Chrysopogon zizanioid..	3	1,00	0,00	1,00		
Nitritos	T5 - Chrysopogon zizanioid..	3	1,00	0,00	1,00		
Nitritos	T6 - Chrysopogon zizanioid..	3	1,00	0,00	1,00		

Trat.	Ranks		
T4 - Chrysopogon zizanioid..	5,00	A	
T5 - Chrysopogon zizanioid..	5,00	A	
T6 - Chrysopogon zizanioid..	5,00	A	
T3 - Chrysopogon zizanioid..	14,00	A	B
T1 - Chrysopogon zizanioid..	14,00	A	B
T2 - Chrysopogon zizanioid..	14,00	A	B
C1 - Testigo (aireación)	21,50		B
C2 - Testigo	21,50		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Figura 28. Resultados de Kruskal-Wallis para Nitritos a los 10 días
Tamayo, 2020

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Nitritos	C1 - Testigo (aireación)	3	10,00	0,00	10,00	19,44	0,0017
Nitritos	C2 - Testigo	3	10,00	0,00	10,00		
Nitritos	T1 - Chrysopogon zizanioid..	3	1,00	0,00	1,00		
Nitritos	T2 - Chrysopogon zizanioid..	3	1,00	0,00	1,00		
Nitritos	T3 - Chrysopogon zizanioid..	3	0,00	0,00	0,00		
Nitritos	T4 - Chrysopogon zizanioid..	3	0,00	0,00	0,00		
Nitritos	T5 - Chrysopogon zizanioid..	3	0,00	0,00	0,00		
Nitritos	T6 - Chrysopogon zizanioid..	3	0,00	0,00	0,00		

Trat.	Ranks		
T3 - Chrysopogon zizanioid..	6,50	A	
T4 - Chrysopogon zizanioid..	6,50	A	
T5 - Chrysopogon zizanioid..	6,50	A	
T6 - Chrysopogon zizanioid..	6,50	A	
T1 - Chrysopogon zizanioid..	15,50	A	B
T2 - Chrysopogon zizanioid..	15,50	A	B
C1 - Testigo (aireación)	21,50		B
C2 - Testigo	21,50		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Figura 29. Resultados de Kruskal-Wallis para Nitritos a los 15 días
Tamayo, 2020

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Temperatura C1	Testigo (aireación)	3	22,33	0,58	22,00	13,29	0,0281
Temperatura C2	Testigo	3	22,33	0,58	22,00		
Temperatura T1	Chrysopogon zizanioid..	3	22,00	0,00	22,00		
Temperatura T2	Chrysopogon zizanioid..	3	21,67	0,58	22,00		
Temperatura T3	Chrysopogon zizanioid..	3	22,67	0,58	23,00		
Temperatura T4	Chrysopogon zizanioid..	3	21,33	1,15	22,00		
Temperatura T5	Chrysopogon zizanioid..	3	21,00	0,00	21,00		
Temperatura T6	Chrysopogon zizanioid..	3	21,00	0,00	21,00		

Trat.	Ranks		
T5 - Chrysopogon zizanioid..	5,00	A	
T6 - Chrysopogon zizanioid..	5,00	A	
T4 - Chrysopogon zizanioid..	10,00	A	B
T2 - Chrysopogon zizanioid..	11,33	A	B
T1 - Chrysopogon zizanioid..	14,50	A	B
C1 - Testigo (aireación)	17,17		B
C2 - Testigo	17,17		B
T3 - Chrysopogon zizanioid..	19,83		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Figura 30. Resultados de Kruskal-Wallis para Temperatura a los 5 días
Tamayo, 2020

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Temperatura C1	Testigo (aireación)	3	23,00	0,00	23,00	1,92	0,7086
Temperatura C2	Testigo	3	23,00	0,00	23,00		
Temperatura T1	Chrysopogon zizanioid..	3	22,67	0,58	23,00		
Temperatura T2	Chrysopogon zizanioid..	3	22,67	0,58	23,00		
Temperatura T3	Chrysopogon zizanioid..	3	22,67	0,58	23,00		
Temperatura T4	Chrysopogon zizanioid..	3	22,67	0,58	23,00		
Temperatura T5	Chrysopogon zizanioid..	3	23,00	0,00	23,00		
Temperatura T6	Chrysopogon zizanioid..	3	23,00	0,00	23,00		

Figura 31. Resultados de Kruskal-Wallis para Temperatura a los 10 días
Tamayo, 2020

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Temperatura C1	Testigo (aireación)	3	22,67	0,58	23,00	5,28	0,4055
Temperatura C2	Testigo	3	22,00	0,00	22,00		
Temperatura T1	Chrysopogon zizanioid..	3	22,67	0,58	23,00		
Temperatura T2	Chrysopogon zizanioid..	3	22,33	0,58	22,00		
Temperatura T3	Chrysopogon zizanioid..	3	23,00	0,00	23,00		
Temperatura T4	Chrysopogon zizanioid..	3	22,67	0,58	23,00		
Temperatura T5	Chrysopogon zizanioid..	3	22,67	0,58	23,00		
Temperatura T6	Chrysopogon zizanioid..	3	22,67	0,58	23,00		

Figura 32. Resultados de Kruskal-Wallis para Temperatura a los 15 días
Tamayo, 2020