



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**TRATAMIENTOS FISICOQUÍMICOS PARA LA REMOCIÓN DE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL AGUA RESIDUAL DEL HATO
PORCINO DE LA ESPAM MFL**

AUTORA:

ROSA AMELIA JARAMILLO MANZABA

TUTOR:

ING. CARLOS LUIS BANCHÓN BAJAÑA, M.Sc.

CALCETA, JULIO DE 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **ROSA AMELIA JARAMILLO MANZABA**, con cédula de ciudadanía 1316631033, declaro bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **TRATAMIENTOS FÍSICOQUÍMICOS PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL AGUA RESIDUAL DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL** es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedo a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a mi favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



ROSA A. JARAMILLO MANZABA
CC: 1316631033

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

ROSA AMELIA JARAMILLO MANZABA, con cédula de ciudadanía 1316631033 autorizo a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución el Trabajo de Integración Curricular titulado: **TRATAMIENTOS FISICOQUÍMICOS PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL AGUA RESIDUAL DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.



ROSA A. JARAMILLO MANZABA
CC: 1316631033

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Ing. CARLOS LUIS BANCHÓN BAJAÑA, M.Sc., certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **TRATAMIENTOS FÍSICOQUÍMICOS PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL AGUA RESIDUAL DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL**, que ha sido desarrollado por **ROSA AMELIA JARAMILLO MANZABA**, previo la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL** de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. CARLOS L. BANCHÓN BAJAÑA, M. Sc.
CC: 0918059189
TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **TRATAMIENTOS FÍSICOQUÍMICOS PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL AGUA RESIDUAL DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL**, que ha sido desarrollado **ROSA AMELIA JARAMILLO MANZABA**, previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

M.Sc. MARÍA FERNANDA PINCAY CANTOS
CC: 0921757282
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

M.Sc. JONATHAN G. CHICAIZA INTRIAGO
CC:1312111923
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

M.Sc. SERGIO S. ALCÍVAR PINARGOTE
CC:1308973799
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es y lo justa que puede llegar a ser; a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

ROSA A. JARAMILLO MANZABA

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a: A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy.

A mis padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcarme el ejemplo del esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está con nosotros siempre. Carlos y Marina mi inspiración para cumplir todas metas propuestas.

ROSA A. JARAMILLO MANZABA

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
CONTENIDO GENERAL	viii
CONTENIDO DE TABLAS.....	xi
CONTENIDOS DE FIGURA	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. HIPÓTESIS	4
1.4.1. HIPÓTESIS NULA.....	4
1.4.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. PORCICULTURA	5
2.1.1. PRODUCCIÓN PORCINA EN ECUADOR	5
2.1.2. EFECTOS AMBIENTALES RELACIONADOS A LA PORCICULTURA	6
2.2. RESIDUOS PORCINOS	6

2.2.1. TIPOS DE RESIDUOS PORCINOS	7
2.3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR RESIDUOS PORCINOS	8
2.3.1. MATERIA ORGÁNICA PRESENTE EN AGUA RESIDUAL DE FINCAS PORCINAS	9
2.4. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	10
2.4.1. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	10
2.4.1.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	11
2.5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	13
2.5.1. TRATAMIENTOS FISICOQUÍMICOS	13
2.5.2. OXIDACIÓN AVANZADA	14
2.5.3. TEST DE JARRAS	15
2.6. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL PARA DESCARGAS A CUERPOS DE AGUA DULCE	16
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	19
3.1. UBICACIÓN	19
3.2. DURACIÓN	19
3.3. VARIABLES	19
3.3.1. VARIABLES INDEPENDIENTES	19
3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTES	20
3.4. MÉTODOS	20
3.4.1. MÉTODO DEDUCTIVO	20
3.4.2. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO	20
3.4.3. MÉTODO ESTADÍSTICO	20
3.5. TÉCNICAS	21
3.5.1. OBSERVACIÓN DIRECTA	21
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL	21
3.7. PROCEDIMIENTOS	23

3.7.1. FASE I. CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA ANTES Y DESPUÉS DE LOS TRATAMIENTOS DE REMEDIACIÓN FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA RESIDUAL DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.....	23
3.7.2. FASE II. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS FÍSICOQUÍMICOS EN LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.....	24
3.7.3. FASE III. PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN AMBIENTAL PARA EL MANEJO DE AGUA RESIDUAL DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.....	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA ANTES Y DESPUÉS DE LOS TRATAMIENTOS DE REMEDIACIÓN FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA RESIDUAL DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL	26
4.2. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS FÍSICOQUÍMICOS EN LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL	31
4.2.1. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE EL pH	31
4.2.2. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE TURBIDEZ	35
4.2.3. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	39
4.2.4. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE SÓLIDOS DISUELTOS	43
4.2.5. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE SÓLIDOS SUSPENDIDOS	47
4.2.6. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE EL COLOR.....	50
4.3. PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN AMBIENTAL PARA EL MANEJO DEL AGUA RESIDUAL DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.....	54
4.3.1. INTRODUCCIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN	54

4.3.2. OBJETIVOS DEL PLAN DE ACCIÓN	54
4.3.3. EJES ESTRATÉGICOS DE INTERVENCIÓN	55
4.3.4. EJE DE EDUCACIÓN AMBIENTAL	56
4.3.5. EJE TÉCNICO-CIENTÍFICO.....	57
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
5.1. CONCLUSIONES.....	59
5.2. RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	75

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1. Características fisicoquímicas típicas de las aguas residuales porcinas.....	9
Tabla 2.2. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	17
Tabla 3.1. Detalle del factor dosis de coagulante.....	21
Tabla 3.2. Detalle de los tratamientos.....	22
Tabla 3.3. Detalle del factor dosis de cloro.....	22
Tabla 4.1. Características del agua residual del hato porcino de la ESPAM MFL antes de los tratamientos	26
Tabla 4.2. Caracterización del agua tratada mediante oxidación a diferentes dosis de cloro....	27
Tabla 4.3. Comparación de los resultados con el TULSMA	29
Tabla 4.4. Resultados de pH luego de tratamiento de coagulación-floculación.....	31
Tabla 4.5. ANOVA parámetro de pH	32
Tabla 4.6. Test Tukey para el pH	33
Tabla 4.7. Cuadro de ANOVA para el tratamiento de oxidación avanzada en función del pH ...	34
Tabla 4.8. Prueba Tukey para pH.....	35
Tabla 4.9. ANOVA parámetro de turbidez	36
Tabla 4.10. Cuadro de Test Tukey para turbidez	37
Tabla 4.11. ANOVA para el tratamiento de oxidación avanzada en función de la turbidez	39
Tabla 4.12. Prueba Tukey para turbidez	39
Tabla 4.13. ANOVA parámetro de conductividad eléctrica	40
Tabla 4.14. Cuadro de Test Tukey para conductividad eléctrica	41
Tabla 4.15. Cuadro de ANOVA para el tratamiento de oxidación avanzada en función de conductividad eléctrica.....	42
Tabla 4.16. Prueba Tukey para conductividad eléctrica	42
Tabla 4.17. ANOVA parámetro de sólidos disueltos.....	44
Tabla 18. Test Tukey para sólidos disueltos.....	45
Tabla 4.19. Cuadro de ANOVA para el tratamiento de oxidación avanzada en función de sólidos disueltos.....	46

Tabla 4.20. Prueba Tukey para sólidos disueltos	46
Tabla 4.21. ANOVA para sólidos suspendidos	48
Tabla 4.22. Test Tukey para sólidos suspendidos	48
Tabla 4.23. ANOVA para sólidos suspendidos	49
Tabla 4.24. Prueba Tukey para sólidos suspendidos	49
Tabla 4.25. ANOVA para color	51
Tabla 4.26. Prueba Tukey para color	52
Tabla 4.27. ANOVA para color	53
Tabla 4.28. Prueba Tukey para color	53
Tabla 4.29. Planificación en el eje político	55
Tabla 4.30. Planificación en el eje de educación ambiental	56
Tabla 4.31. Planificación en el eje técnico-científico	57

CONTENIDOS DE FIGURA

Figura 2.1. Contaminación generada por excreta del ganado porcino.....	7
Figura 3.1. Mapa de georreferenciación del área de estudio.....	19
Figura 4.1. Valores finales de pH luego de tratamientos de coagulación-floculación.....	32
Figura 4.2. Efecto del pH con la adición de dosis de cloro (ppm).	34
Figura 4.3. Valores finales de turbidez luego de tratamientos de coagulación-floculación.	36
Figura 4.4. Efecto de la turbidez con la adición de dosis de cloro (ppm).	38
Figura 4.5. Valores finales de conductividad eléctrica luego de tratamientos de coagulación-floculación.....	40
Figura 4.6. Efecto de la conductividad eléctrica con la adición de dosis de cloro (ppm).	42
Figura 4.7. Valores finales de sólidos disueltos luego de tratamientos de coagulación-floculación.	44
Figura 4.8. Efecto de los sólidos disueltos con la adición de dosis de cloro (ppm).....	46
Figura 4.9. Valores finales de sólidos suspendidos luego de tratamientos de coagulación-floculación.....	47
Figura 4.10. Efecto de los sólidos suspendidos con la adición de dosis de cloro (ppm). ... ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 4.11. Valores finales de color luego de tratamientos de coagulación-floculación.	51
Figura 4.12. Efecto de color con la adición de dosis de cloro (ppm).....	53
Figura 4.13. Relación entre problemas, objetivos, competencias y ejes de intervención	55

RESUMEN

La industria porcina contribuye con más del 60% de la producción mundial de carne; sin embargo, los procesos realizados en este sector generan serios problemas ambientales debido a la descarga de aguas residuales. Esta investigación se llevó a cabo para evaluar la capacidad de remoción de los sólidos suspendidos en el agua residual del hato porcino de la ESPAM MFL. Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 4 tratamientos y 4 repeticiones. Los factores estudiados incluyeron dosis de FeCl_3 y Poliacrilamida (PAM) para el DCA bifactorial, y dosis de hipoclorito de sodio para el unifactorial. En la etapa de coagulación-floculación, todos los tratamientos con cloruro férrico y PAM lograron valores de pH entre 6 y 9, cumpliendo con la normativa ambiental. El tratamiento T3, con 1000 ppm de cloruro férrico y 5 ppm de PAM, fue el más eficaz en la reducción de 99,5% de turbidez, 77,2% de color, y 63,7% de sólidos suspendidos. En la etapa de oxidación, la adición de 1 ppm de hipoclorito de sodio redujo la turbidez en un 48,5%, los sólidos suspendidos en un 78,8% y el color en un 34,2%, aunque el pH se elevó a niveles alcalinos cercanos a 12. Finalmente, se presentó un plan de acción ambiental para ofrecer una solución sostenible al manejo del agua residual del hato porcino, con ejes estratégicos de intervención ambiental y técnico-científica.

Palabras clave: análisis fisicoquímicos, contaminación de agua, producción porcina, residuos porcinos

ABSTRACT

The swine industry contributes more than 60% of the world's meat production; however, the processes carried out in this sector generate serious environmental problems due to the discharge of wastewater. This research was conducted to evaluate the capacity for removing suspended solids from the wastewater of the ESPAM MFL pig farm. A Completely Randomized Design (CRD) with 4 treatments and 4 repetitions was employed. The factors studied included doses of FeCl_3 and Polyacrylamide (PAM) for the bifactorial CRD, and doses of sodium hypochlorite for the unifactorial. In the coagulation-flocculation stage, all treatments with ferric chloride and PAM achieved pH values between 6 and 9, complying with environmental regulations. Treatment T3, with 1000 ppm of ferric chloride and 5 ppm of PAM, was the most effective, reducing turbidity by 99.5%, color by 77.2%, and suspended solids by 63.7%. In the oxidation stage, the addition of 1 ppm of sodium hypochlorite reduced turbidity by 48.5%, suspended solids by 78.8%, and color by 34.2%, although the pH increased to alkaline levels close to 12. Finally, an environmental action plan was presented to offer a sustainable solution for managing the pig farm's wastewater, with strategic intervention axes focused on environmental and technical-scientific aspects.

Keywords: physicochemical analysis, water contamination, swine production, swine waste

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial, la producción porcina contribuye un tercio de la producción cárnica (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2022). Los países en desarrollo contribuyen con más del 60% a la producción mundial de carne de cerdo; pero los procesos realizados en dichas granjas porcinas presentan problemas ambientales debido a la descarga sin control de sus excretas (Rodríguez et al., 2019). Como ejemplo de las afectaciones Cárdenas et al. (2018) resaltan los malos olores (generados por la descomposición de la materia orgánica), proliferación de vectores biológicos, salinización de los suelos y la alteración de los recursos naturales por la presencia de aguas residuales que contienen alta carga de materia orgánica.

Según Maisonnave et al. (2019), en América Latina, se registra, que cada cerdo con un peso de 70 kg, genera de 4 a 5 kg de excretas al día, siendo el 90% heces y el 10 % de orina. Según Pié (2017) y Rojas y Vallejo (2016), por cada 100 kg de peso vivo de cerdo se produce 0,25 kg de demanda biológica de oxígeno [DBO] y 0,75 kg de demanda química de oxígeno [DQO] en el agua residual. Esto representa un riesgo de contaminación para los cuerpos de agua.

En Ecuador, el Sistema de Información Pública Agropecuaria [SIPA] (2022) indicó que, según el censo agropecuario realizado en el año 2019, la crianza y venta de cerdos son las actividades que se efectúan a mayor escala por pequeños grupos familiares como un sustento económico. Por tal motivo, esta actividad conlleva mayores problemas de contaminación a los cuerpos de agua al no contar con ningún tipo de tratamiento.

En Manabí, las aguas residuales provenientes de los hatos porcinos es un tema carente de información. En el cantón Bolívar; cabecera cantonal Calceta, se

encuentra ubicada la Escuela Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la cual cuenta con un hato porcino que genera altas cantidades de aguas residuales (aproximadamente 5000 L semanalmente) provenientes de las actividades de los cerdos, en visitas técnicas, se han detectado que no se realiza el correspondiente tratamiento físico, químico y biológico.

El hato porcino de la ESPAM no cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales [PTAR]; y, por ende, el agua residual se descarga sin tratamiento alguno a un pozo séptico. Los problemas ambientales se originan debido a actividades antropogénicas y alto contenido de heces fecales no estabilizadas. La porción fecal de la excreta porcina contiene altos niveles de nitrógeno y fósforo (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2021). Por tanto, en el presente trabajo se postula la solución al presente problema ambiental, desde el punto de vista fisicoquímico.

Con base a lo descrito anteriormente, se formula la siguiente problemática: ¿Cuál es la eficiencia de tratamientos fisicoquímicos en la remoción de sólidos suspendidos en el agua residual del hato porcino de la ESPAM MFL?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo justifica su aplicación dada la necesidad de tecnologías de bajo coste, y de baja complejidad en hatos porcinos. En específico, se ha seleccionado el estudio de tecnologías químicas de coagulación/floculación porque su aplicación es de máximo 2 horas, mientras que las tecnologías biológicas requieren de largos tiempos de adaptación y degradación de hasta 6 meses. Además, la población circundante al hato porcino de la ESPAM-MFL ha manifestado su descontento con la generación de malos olores y contaminación ambiental.

Arias et al. (2017) sustentan que el agua es esencial para la vida. En el aspecto ambiental, el hato porcino contribuirá de manera sostenible implementando nuevas prácticas de manejo de sólidos suspendidos que se generan a diario.

Aprovechando los recursos existentes del lugar para contribuir exclusivamente al desarrollo del hato porcino. Conjuntamente, se prevé disminuir los impactos generados hasta transportarlos a su disposición final (Arroyo, 2013).

En relación a lo anterior, López et al. (2021) señalan que la aplicación de un proceso de oxidación avanzada ha demostrado ser eficiente en el tratamiento de aguas residuales, debido a las ventajas que presenta, como la alta eficiencia de oxidación y no produce contaminantes secundarios (Saraviano et al., 2022; Lodh et al., 2023). De la misma manera, Quintero (2017) detalla que el método de coagulación brinda la posibilidad de reducir la contaminación de aguas residuales con elevada carga orgánica.

En el ámbito social, busca promover el desarrollo de actividades productivas de forma responsable, innovadora y sostenible, siendo un ejemplo para los grandes y pequeños centros de cría de cerdos a nivel local y regional. Constituyendo así al objetivo N° 6 de los Objetivos del Desarrollo Sostenible estipulados en la Agenda 2030. Que ayuda a mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

Se contribuirá a que exista un manejo adecuado que minimice el impacto ambiental generado por el agua residual del hato porcino, teniendo en cuenta que conforme a López (2021) el manejo inadecuado de las aguas residuales causa la degradación del suelo. A su vez, el autor destaca que el nitrógeno y el fósforo en altas concentraciones en aguas residuales generan contaminación.

Por otro lado, se beneficiará a la población en general, especialmente al hato porcino de la ESPAM MFL, destacando que se logrará contar con un tratamiento previo de coagulación y oxidación avanzada, evitando así la contaminación de las aguas superficiales de los alrededores. En el presente trabajo, se aborda la problemática ambiental relacionada con las aguas residuales descargadas del hato porcino de la ESPAM MFL.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de los tratamientos fisicoquímicos en la remoción de sólidos suspendidos en el agua residual del hato porcino de la ESPAM MFL.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la calidad del agua antes y después de la aplicación de los tratamientos de remediación fisicoquímicos del agua residual del hato porcino de la ESPAM MFL.
- Determinar la eficiencia de los tratamientos fisicoquímicos en la remoción de sólidos suspendidos en las aguas residuales del hato porcino de la ESPAM MFL.
- Proponer un plan de acción para el manejo del agua residual del hato porcino de la ESPAM MFL.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. HIPÓTESIS NULA

Los tratamientos fisicoquímicos no mejoran la remoción de sólidos suspendidos del agua residual del hato porcino de la ESPAM MFL.

1.4.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA

La aplicación de tratamientos fisicoquímicos mejorará la remoción de sólidos suspendidos del agua residual del hato porcino de la ESPAM MFL.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. PORCICULTURA

La porcicultura se basa en la crianza, reproducción y producción de los porcinos (cerdos) y comprende todo el manejo sanitario y genético para obtener carne de cerdo de buena calidad para el consumo humano. Es un sistema sostenible donde el consumidor, comerciante y productor ganan, debido a que el cerdo es un animal de fácil domesticación, crecimiento rápido; su carne y derivados son muy apetecidos a nivel mundial, y su producción es el doble en comparación con la de bovinos y de pollos (Muñoz et al., 2020).

Conforme a Giácoman et al. (2019) la porcicultura es una de las actividades de mayor productividad que se ha intensificado en los últimos años a nivel mundial, debido al creciente consumo. El crecimiento en este ramo agropecuario ha generado una gran cantidad de desechos tanto sólidos como líquidos, que al ser vertidos a cuerpos receptores sin un adecuado tratamiento son altamente perjudiciales para el medio ambiente, debido al tipo de composición de los mismos, contaminan el suelo, el agua y el aire.

2.1.1. PRODUCCIÓN PORCINA EN ECUADOR

Según Segarra et al. (2018) en noviembre de 2010 se realizó en el país el Primer Censo de Granjas Porcícolas. Según los resultados de este censo en el país se crían 310.607 cerdos en 1.737 granjas. La producción porcina se divide entre un pequeño grupo de grandes fincas tecnificadas con sistemas. La producción intensiva solo representa el 3% y un gran grupo de pequeñas y medianas equivale a un 97% de granjas.

Rodríguez et al. (2019) sustentan que los sistemas de producción porcina en el país, durante el año 2016 produjeron aproximadamente 1,14 millones de toneladas métricas de gas metano (CH₄) y 23,97 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono (CO₂). El metano entérico representa el 30% de las emisiones a nivel mundial, este, por tratarse de un contaminante de vida corta, su reducción puede resultar de mucha utilidad para mitigar el cambio climático.

En el Ecuador durante el año 2017, se reportaron un total de 1.115.473 cabezas de ganado porcino, de estas, 109.560 fueron producidas en la provincia de El Oro (Rodríguez et al., 2019).

2.1.2. EFECTOS AMBIENTALES RELACIONADOS A LA PORCICULTURA

A nivel mundial la porcicultura presenta profundos problemas ambientales que se han venido desarrollando con frecuencia, entre los cuales se destacan: la contaminación del agua superficial y del subsuelo por el nitrógeno y fósforo contenido en las excretas y el deterioro de la calidad del aire por la generación de gases tóxicos (Rodríguez et al., 2019).

A su vez, sobre los daños o impactos provocados por las granjas porcinas, Cárdenas et al. (2018) resaltan como más comunes y significativos los siguientes: malos olores generados por la descomposición de la materia orgánica, proliferación de vectores biológicos como moscas, salinización de los suelos por los altos valores de conductividad en los efluentes, otras formas de contaminación de los suelos, alteración de las características naturales de las aguas, deterioro del paisaje y significativo uso de las aguas subterráneas.

Es importante detallar que, por lo general este tipo de agroindustria no tiene un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado para disminuir el impacto ambiental que genera en su proceso de cría, engorda y sacrificio del cerdo. La razón de esto es el elevado costo de instalación y operación que tienen las plantas de tratamiento convencionales. La mayor parte de las microempresas no cuentan con registros que puedan comprobar el desagüe diario que producen, por esta misma razón no tienen la obligación legal a tratar toda el agua residual generadas durante sus procesos (Sandoval et al., 2020).

2.2. RESIDUOS PORCINOS

López (2021) declara que, para entender sobre los residuos en explotaciones porcinas, es necesario aclarar que la explotación porcina, como toda explotación crea estos restos. Los residuos animales se forman como consecuencia de una

ganadería intensiva o generalizada en cualquiera de sus tipologías. En este punto es importante destacar que conforme a Martínez (2020), los residuos de los cerdos tienen un poder contaminante de 100 veces mayor que el hombre, y que cada matriz de ciclo completo produce aproximadamente 100 litros por día de deyecciones.

Los residuos de fincas porcinas tienen un alto potencial contaminante, pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas, el suelo y el aire (emisiones de gases nocivos y malos olores). La figura 2.1 muestra la contaminación generada por la excreta del ganado porcino (Cruz, 2021).

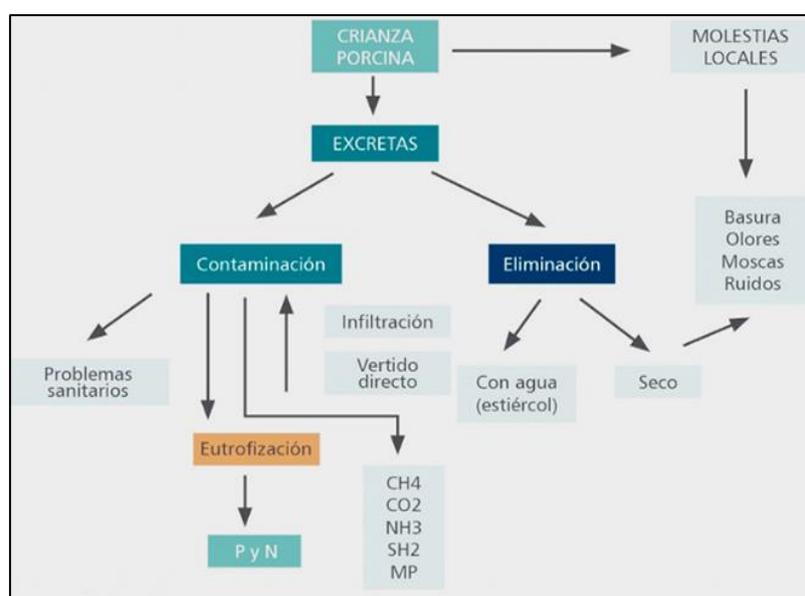


Figura 2.1. Contaminación generada por la excreta del ganado porcino.
Fuente: Cruz (2021)

2.2.1. TIPOS DE RESIDUOS PORCINOS

Los tipos de residuos porcinos conforme a Martínez (2020) son heces, orina, agua desperdiciada por los bebederos y de higienización, residuos de ración, vellos, polvo y otros materiales derivados del proceso de crianza de los cerdos. Orrala (2021) añade que la estructura es dependiente del peso, el estado fisiológico del animal, el sistema de producción en donde está, la dieta, el estado de los bebederos, tipo de depósito, tiempo de residencia del efluente, producción de agua usada en el aseo y la época del año.

Además, el autor destaca que existe una enorme variabilidad en la composición fisicoquímica del efluente porcino dependiendo del sistema de producción, tipo

de explotación, la edad del animal, la dieta y el manejo de las granjas porcinas (tipo de bebedero, manejo del agua, etc.).

2.3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR RESIDUOS PORCINOS

Como se indicó, el hato porcino de la ESPAM MFL no dispone de una planta de tratamiento, el agua residual se maneja de diferentes formas. En primera instancia, el agua se descarga directamente al canal que conecta con el río presente en el sitio El Limón; o se evacúan a un pozo séptico; y la otra parte, se receipta en lechos de 1 m. de profundidad compuestos de cascarillas de arroz que absorben la materia fecal, orina que el ganado porcino genera. Según información extraída de los reportes del hato porcino, cuenta con 3 galpones de cama profunda con 37 animales destinada para animales en crecimiento y gestación. Se estima que, en el hato porcino de la ESPAM MFL los cerdos generan a diario 200 m³ de agua residual.

La contaminación del agua es uno de los problemas más graves a nivel mundial debido a que afecta directamente a los ecosistemas, tanto acuáticos como terrestres, incluyendo la salud pública (Guachamin, 2021). Este problema ambiental ha sido reportado en gran medida por el crecimiento de las pequeñas comunidades y al aumento del número de pequeños empresarios, así como por la falta de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales que forman parte de una familia alternativa de métodos de tratamiento sustentables (Sandoval et al., 2020).

Es importante destacar que conforme a Neciosup et al. (2019) el agua de características fisicoquímicas y biológicas deterioradas es una fuente de riesgos patológicos para el humano y puede cuestionar no sólo la sostenibilidad y la perennidad de las actividades humanas sino también el buen estado de este recurso, que es necesario para las funciones medioambientales.

En lo que respecta a las aguas residuales porcinas, Álvarez et al. (2019) expresan que están formadas por material sólido y líquido acarreado por el agua de lavado. Los principales componentes son una mezcla de excretas (heces y orina), agua y alimento no utilizado. Existen diferentes factores que determinan las tasas de excreción de heces y orina como la edad del animal, madurez

fisiológica, cantidad y calidad del alimento ingerido, volumen del agua consumida y clima.

Las granjas porcinas pueden ser catalogadas en base a los rangos de cantidad de cerdos presentes (chica 0 - 2 500 cerdos, mediana 2 500 – 8 000 cerdos, grande > 8 000 cerdos) y proceso productivo (maternidad, destete, engorda, mezcla). Se ha encontrado que las granjas más grandes tienen un consumo promedio de agua menor que el consumo registrado en granjas pequeñas, lo que indica la diferencia en las prácticas de manejo del agua. Esto impacta de manera directa en la concentración de los componentes del agua residual generada (Álvarez et al., 2019).

Es importante destacar que los componentes principales de las aguas residuales porcinas poseen valores muy variados (tabla 2.1), poniendo de manifiesto que existen diferentes prácticas utilizadas.

Tabla 2.1. Características fisicoquímicas típicas de las aguas residuales porcinas.

Parámetro	Valor
pH	6.5 – 7.5
DQO total (g/L)	6.0 – 50
DQO soluble (g/L)	4.2 – 21.8
DBO (g/L)	5.1 – 15.6
N-total (g/L)	2.1 – 4.8
N-HN ₄ ⁺ (g/L)	1.2 – 3.3
P-total (g/L)	1.5 – 4.3
Sólidos totales (g/L)	8.5 – 53.9
Sólidos suspendidos totales (g/L)	8.2 – 42.5
Sólidos suspendidos volátiles (g/L)	2.5 – 31.9

Fuente: Álvarez et al. (2019)

2.3.1. MATERIA ORGÁNICA PRESENTE EN AGUA RESIDUAL DE FINCAS PORCINAS

Narváez (2020) sustenta que los efluentes provenientes de fincas porcinas contienen alta carga de materia orgánica, la misma que está representada por la concentración de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) presentes en el efluente. Los nutrientes que se encuentran

en mayor cantidad son el nitrógeno y el fósforo, que generalmente se identifican como NT y PT, respectivamente.

De la misma manera, Coloma (2017) destaca que el agua residual porcina presenta un alto contenido de materia orgánica, macronutrientes y micronutrientes, su descomposición genera olores desagradables y permiten que se proliferen vectores de enfermedades que afectan la salud pública y los ecosistemas. Es importante mencionar también los daños paisajísticos por la presencia de pozos sépticos o el almacenamiento inadecuado de los residuos en la zona donde se encuentran las fincas dedicadas a esta actividad.

2.4. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Castillo (2021) señala que la caracterización es fundamental para la determinación de la calidad y componentes del agua. A su vez, el autor destaca que esta actividad permite la implementación de medidas de mejora o tratamientos que contribuyan a la remoción de materia orgánica o cualquier otro contaminante. En relación a lo anterior, Velasco et al. (2019) sostienen que toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándares que aseguren precisión y exactitud en los resultados.

Además, los autores detallan que, aunque existen caracterizaciones típicas de aguas residuales, las cuales son importantes como referencia de los parámetros de importancia por analizar y de su magnitud, hay que recordar que cada agua residual es única, por lo que, es esencial realizar la caracterización de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, los mismos que son principales contaminantes.

2.4.1. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Entre los parámetros fisicoquímicos más importantes de un agua residual se pueden describir los sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, coliformes totales y fecales, demanda química de oxígeno,

entre otras como olor, pH, temperatura, densidad, turbidez (Mocha y Moreira, 2021).

2.4.1.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica natural biodegradable en condiciones aerobias. En condiciones normales de laboratorio, esta demanda se cuantifica a 20°C y el ensayo estándar se realiza a cinco días de la incubación y se conoce convencionalmente como DBO₅. Este parámetro es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales tóxicas a la vida biológica (Velasco et al., 2019).

2.4.1.2. SÓLIDOS TOTALES

Los sólidos totales disueltos son los residuos remanentes después de evaporar una muestra de agua a 103°C - 105°C. En general, la presencia de estos sólidos produce la turbiedad del agua. Incluye los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos totales, los sólidos disueltos totales y los coloidales (Guachamin, 2021). La diferencia entre uno y otro es el tamaño de partícula, siendo los de mayor tamaño los sólidos sedimentables con un diámetro mayor a 10 µm; y los más pequeños los sólidos disueltos totales [SDT], con un diámetro menor a 0.001 µm. Estos últimos son una medida de la concentración total de iones en solución, principalmente de sales minerales (Jibaja, 2021).

2.4.1.3. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal que requiere usualmente oxidación biológica, coagulación y sedimentación para su remoción (Velasco et al., 2019). Es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro-granular, que contiene el agua. Un indicador de SST es la turbidez y color del agua, estos al estar a un valor mayor a 1000 mg/l afectan la vida acuática debido a que dificultan la entrada de luz al agua y transportan sustancias tóxicas (Mocha y Moreira, 2021).

2.4.1.4. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

El pH es la medida de la concentración del ion hidrógeno, resulta un parámetro importante para verificar la calidad de aguas tanto naturales como residuales. Se considera un intervalo adecuado de 6-9 para aguas residuales que sean descargadas a cuerpos de agua dulce (Mocha y Moreira, 2021).

2.4.1.5. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica del agua no es más que la capacidad que tienen las sales inorgánicas presentes en el agua para conducir corriente eléctrica. Por ello, la conductividad eléctrica es un excelente indicador de la cantidad de sales disueltas en el agua, pues a mayor cantidad de éstas, mayor será la conductividad del agua (Jibaja, 2021).

2.4.1.6. COLOR

Martínez y Osorio (2018) sustentan que el color del agua se debe a la presencia de materia orgánica natural [MON] como son las sustancias húmicas [SH] procedentes de los ácidos húmicos y fúlvicos, así como por la presencia de ciertos metales como hierro, manganeso, cobre, que se encuentran disueltos o en suspensión. Por lo cual, es un importante parámetro a evaluar en el ámbito ambiental.

2.4.1.7. TURBIDEZ

De acuerdo con Martínez et al. (2020) la turbidez refleja la presencia de sustancias coloidales, minerales u orgánicas en el agua, por lo que, puede ser indicio de contaminación, en el agua representa un riesgo microbiológico para el ser humano. En este sentido, es importante mencionar que según un informe de UNICEF (2021) en Ecuador, la diarrea causada por mala calidad en el agua de consumo es la segunda causa de muerte en los menores de 5 años en los países en desarrollo, y se ha comprobado que es uno de los principales determinantes de la desnutrición crónica.

2.5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Martínez (2020) detalla que el tratamiento de las aguas residuales es una práctica que, si bien se lleva realizando desde la antigüedad, hoy resulta esencial para mantener la calidad de vida. Estas cada vez exigentes a regulaciones que se deben cumplir, por ello, se han abierto paso a la aplicación de nuevas tecnologías de tratamiento de agua, algunas incluso dan un valor importante al residuo que se genera. En este punto, es importante destacar que conforme a Mocha y Moreira (2021) un sistema de tratamiento es una combinación de procesos cuyo objetivo es la modificación de las características del residuo para garantizar una disposición final sin el riesgo de causar impactos al medio y a la salud humana. Entre los tratamientos que actualmente más se emplean son los fisicoquímicos.

2.5.1. TRATAMIENTOS FISICOQUÍMICOS

2.5.1.1. COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Este tratamiento es el más eficaz para la eliminación de material coloidal en el agua (Alcedo et al., 2020). Carrasquero et al. (2019) mencionan que este proceso se añade un coagulante al volumen de agua a tratar, para poder aglomerar entre sí los sólidos en suspensión y formar partículas de mayor tamaño y mayor peso, denominadas flóculos, los cuales sedimentan, logrando así reducir los valores de turbidez y color, cumpliendo así con lo establecido en la normativa sanitaria vigente.

Otros autores como Ramírez y Jaramillo (2015) argumentan que existe una amplia variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas y emplearse como coagulante-floculante en el pretratamiento de las aguas residuales, siendo el alumbre (sulfato de aluminio) y las sales de hierro (cloruro férrico) las más utilizados. En el caso de las sustancias inorgánicas, los polímeros sintéticos (usualmente poliácridamidas) son los más empleados, debido a su fácil obtención en el mercado y bajo costo.

2.5.1.2. CLORURO FÉRRICO

El cloruro férrico se utiliza en tratamiento de agua residuales, debido a su capacidad de reaccionar en el agua a una solución corrosiva y ácida. Su elevado poder de floculación lo destaca como un muy eficiente coagulante en el tratamiento del agua potable y de efluentes sanitarios e industriales, y su habilidad para coagular en un amplio rango de pH lo convierte en una herramienta de mayor utilidad que otros productos químicos utilizados con los mismos propósitos (Alcedo et al., 2020).

Conforme a Medina (2018) es un compuesto que forma parte de las alternativas utilizadas en el tratamiento de efluentes, en comparación con el sulfato de aluminio se requiere una cantidad menor de cloruro férrico. Por esa razón, se utiliza como coagulante en la potabilización del agua debido a que minimiza los residuos de aluminio en el agua tratada, evitando cierta toxicidad por este metal y la consiguiente preocupación por parte de las comunidades médicas de investigación.

2.5.1.3. POLIACRILAMIDA

Es una especie de polielectrolito soluble en agua, insípido, pero fácilmente insoluble en disolventes orgánicos, tales como etanol y acetona. La cadena molecular es flexible, los pesos moleculares relativos son constantes, la distribución iónica es uniforme. La velocidad de separación y la formación de masa coagulada son rápidas con alto efecto de deshidratación (García, 2019).

2.5.2. OXIDACIÓN AVANZADA

De acuerdo con López et al. (2021) en las últimas décadas, las tecnologías de oxidación avanzada se han consolidado como una alternativa eficiente en la destrucción de sustancias tóxicas, incluyendo las orgánicas, inorgánicas, metales o patógenos. En general, en el tratamiento de aguas las tecnologías de oxidación avanzada se utilizan cuando los efluentes contaminados tienen una alta estabilidad química o una baja biodegradabilidad. Es cada vez más común el uso de la oxidación avanzada en los tratamientos terciarios y, especialmente, en las plantas depuradoras de ciertas industrias.

2.5.2.1. OXIDANTE

Desde el punto de vista de Reyes (2019) la acción biocida de los agentes oxidantes interfiere con la síntesis de la proteína en las células, resultando en la muerte de los microorganismos. En este grupo están el cloro, bromo, yodo, dióxido de cloro, ozono, peróxido de hidrógeno, juntamente con algunas sales halógenas y de peróxido.

Esto debido a que según Fernández (2017) los agentes oxidantes operan por contacto, su aplicación preferencial es en sistemas limpios bajo condiciones de tratamiento que aseguren mantenerse limpios para que la acción biocida se mantenga efectiva. La acción de los oxidantes sobre la biopelícula es únicamente en la superficie, manteniendo el interior de esta masa microbiológicamente activa. El uso de oxidantes conjuntamente con tensoactivos incrementa su efectividad sustancialmente a un costo relativamente bajo.

2.5.2.2. CLORO

Según García (2022) el cloro es un compuesto químico destinado como insumo de desinfección para tratamiento de agua potable y residual; asimismo, este compuesto químico suele conocerse como cal clorada, siendo un químico demandado y solicitado por instituciones públicas y privadas. Reyes (2019) añade que es un oxidante fuerte que se suministra en forma gaseosa o como soluciones de hipoclorito de sodio o de calcio y reacciona con el agua para formar Ácido Clorhídrico [HCl] y ácido hipocloroso [HOCl], este último es el principal agente desinfectante.

2.5.3. TEST DE JARRAS

En base a lo reportado por Mendoza y Santana (2021) esta prueba es importante para el control de procesos de coagulación química de aguas, este proceso requiere como datos previos valores de pH, turbidez, color y alcalinidad del agua. En esta prueba se utiliza variación de dosis de coagulante y floculantes en cada jarra dando la disminución de coloides y materia orgánica suspendida además permite realizar el ajuste en el pH de cada muestra hasta llegar a los valores en los que el tratamiento de 24 floculación y coagulación alcanza sus mejores

resultados, lo cual dependerá del tipo de reactivo a utilizar, se maneja generalmente un pH que oscila entre 7,3 o 7.6.

Medina (2018) destaca que la prueba de jarras es una simulación a nivel de laboratorio de cómo funcionan las plantas de tratamiento en la clarificación del agua. Sirven para determinar las dosis óptimas de los productos químicos y otros parámetros como: pH, temperatura, concentración de coagulante, secuencia de aplicación de sustancias químicas, grado de agitación y tiempo de sedimentación.

2.6. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL PARA DESCARGAS A CUERPOS DE AGUA DULCE

En la actualidad, existe un gran impacto negativo en el medio ambiente producido por la actividad industrial, razón por la cual ha sido necesario implementar normativas ambientales cada día más estrictas para las descargas de los efluentes residuales de las industrias, tal como es el caso de los hatos de cría de porcinos, cuyos efluentes presentan elevadas concentraciones de materia orgánica y sólidos totales, que pueden causar la contaminación de las aguas naturales (Isea et al., 2017).

En Ecuador se han implementado leyes, ordenanzas y acuerdos que permiten que las personas, empresas, fábricas, se someta a la regulación de sus descargas líquidas, sólidas y gaseosas. El Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE] y las entidades de seguimiento y control ambiental, son las encargadas de verificar el cumplimiento de las leyes ambientales, que rigen para cada una de las actividades que se desarrollan en el país. De acuerdo a la facultad legislativa otorgada por la Constitución del Ecuador dentro de su jurisdicción, ciertos gobiernos municipales han creado regulaciones ambientales y normativas propias con base en la Constitución y en la Ley de Gestión Ambiental (Landi, 2018).

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ambiente TULSMA (2015) menciona que instaura los valores máximos permitidos para descargas a cuerpos de agua dulce, los cuales se encuentran en la tabla doce de la

normativa. Es importante destacar que los criterios pertenecen a valores medios diarios, los mismos se pueden observar a continuación en la tabla 2.2:

Tabla 2.2. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro Total	B	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	50
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	100
Estaño	Sn	mg/l	5
Fluoruros	F	mg/l	5
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10
Hidrocarburos Totales de petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	2
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2

Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄	mg/l	1000
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Fuente: TULSMA (2015)

En lo que respecta a la presente investigación, se tomaron en consideración los criterios de turbidez, pH, conductividad eléctrica, color, sólidos totales, esto debido a la estrecha relación que tienen estos con la presencia de materia orgánica en aguas residuales, a su vez, por el tiempo en consideración para el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se desarrolló en el Hato Porcino de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” (ESPAM MFL) sitio el Limón del cantón Bolívar, provincia de Manabí, situada geográficamente en las coordenadas Este - Norte: 591467.00 m E y una altitud de 9909143.00 m S.

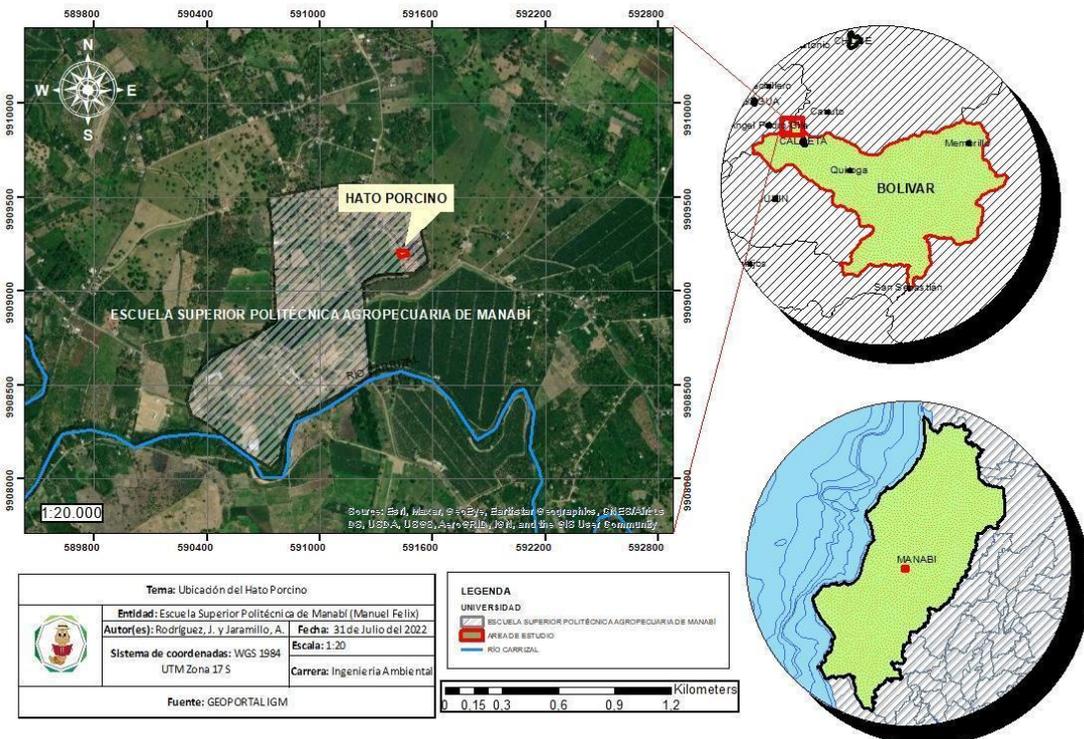


Figura 3.1. Mapa de georreferenciación del área de estudio.

Fuente: Google Maps (2022)

3.2. DURACIÓN

El experimento tuvo una duración de seis meses, dando cumplimiento a los objetivos y actividades establecidas.

3.3. VARIABLES

3.3.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Dosis de FeCl_3

- Dosis de PAM (poliacrilamida)

3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTES

- % remoción de contaminantes
- Parámetros de calidad del agua (turbidez, pH, conductividad eléctrica, color, sólidos totales)

3.4. MÉTODOS

El estudio fue de carácter experimental y documental (bibliográfico). Se realizó una revisión de la literatura para proponer un plan de acción para mejoras del Hato Porcino de la ESPAM-MFL. En consecuencia, para alcanzar los objetivos de la investigación se utilizaron los siguientes métodos:

3.4.1. MÉTODO DEDUCTIVO

El método deductivo se desarrolló con base en hechos particulares, para llegar a organizar fundamentos teóricos; es un método de razonamiento que va de lo general a lo particular (Prieto, 2017). En el presente caso, toda la información que se obtuvo mediante el desarrollo práctico sirvió como base para determinar la contribución de los tratamientos fisicoquímicos en la remoción de sólidos suspendidos.

3.4.2. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO

Este método se aplicó para la búsqueda de información en fuentes confiables establecidas por Gómez et al. (2014) para el desarrollo de la presente investigación se consultaron varias opiniones de varios autores con base a la investigación, obteniendo datos verídicos que aborden soluciones para este trabajo; además, se utilizó para la búsqueda de información que permitió elaborar el plan de acción.

3.4.3. MÉTODO ESTADÍSTICO

Son un conjunto de estrategias, técnicas y herramientas de investigación enfocadas en las mediciones objetivas y el análisis estadístico, matemático o numérico de los datos recogidos a través de sondeos, cuestionarios y encuestas,

o mediante el uso de datos estadísticos preexistentes (Neill y Cortez, 2017). Por medio de este método se realizaron mediciones cuantitativas a las que se aplicó un DCA bifactorial (dosis de FeCl_3 y de poliacrilamida) y uno unifactorial (dosis de color), para medir los parámetros de calidad del agua (pH, turbidez, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y color) antes y después de los tratamientos aplicados, a los cuales se les realizó un ANOVA y gráficos de barra.

3.5. TÉCNICAS

3.5.1. OBSERVACIÓN DIRECTA

La observación directa es cuando el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que trata de investigar (Díaz, 2011). La observación directa se empleó para el levantamiento de información preliminar, permitiendo la orientación del lugar de estudio y la georreferenciación; además, se observó la calidad del sedimento formado en las aguas residuales del hato porcino de la ESPAM MFL.

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el presente trabajo, se aplicó un Diseño Completamente al Azar, esto se justifica en que se deseaba determinar cómo influyen los tratamientos fisicoquímicos de coagulación-floculación y oxidación en las variables dependiente la dosis de cloro. A su vez, se empleó para establecer las diferencias estadísticas entre los diferentes niveles de dosis de coagulante y oxidante. Valderrama et al. (2017) sostienen que este diseño analiza el efecto de factores y de la interacción entre ellos. Para la aplicación del diseño, se experimentaron con 2 niveles y 2 factores; por tanto, se realizaron 4 experimentos, con 4 réplicas.

Tabla 3.1. Detalle del factor dosis de coagulante

Ítem	Variable independiente	Nivel bajo	Nivel alto
X ₁	Dosis de FeCl_3	100 mg/L	1000 mg/L
X ₂	Dosis de PAM (poliacrilamida)	5 mg/L	20 mg/L

A continuación, se presentan los tratamientos ejecutados según los niveles de coagulante y floculante propuestos. Los indicadores a medir en este proceso fueron: color, turbidez, sólidos totales, pH, conductividad eléctrica, y sólidos totales suspendidos.

Tabla 3.2. Detalle de los tratamientos

Tratamientos experimentales	X ₁	X ₂	Unidad	Respuesta
T1	100	5	ppm	Y1
T2	100	20	ppm	Y2
T3	1000	5	ppm	Y3
T4	1000	20	ppm	Y4

Posterior a la aplicación del coagulante y floculante, se realizó el proceso de oxidación avanzada, se aplicaron dosis de cloro para remover los sólidos suspendidos. En el presente diseño, se efectuaron 4 repeticiones:

Tabla 3.3. Detalle del factor dosis de cloro

Ítem	Variable independiente	Dosis	Respuesta
X ₃	Dosis de cloro	1 mg/L	Y1
		10 mg/L	Y2
		50 mg/L	Y3
		100 mg/L	Y4

Las variables dependientes analizadas como respuestas (Y1, Y2, Y3, Y4) fueron: color, turbidez, sólidos totales, pH, conductividad eléctrica, y sólidos totales suspendidos.

3.7. PROCEDIMIENTOS

Para el desarrollo del experimento se consideraron los objetivos específicos, y en función de estos se aplicó DCA en la fase 1 y en la fase 2 de la investigación.

3.7.1. FASE I. CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA ANTES Y DESPUÉS DE LOS TRATAMIENTOS DE REMEDIACIÓN FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA RESIDUAL DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL

Actividad 1. Caracterización del agua residual

Se realizó la caracterización del agua residual para previamente tratarla, se tomaron en consideración los parámetros de calidad como turbidez, pH, conductividad eléctrica, color y sólidos totales; mismos que fueron realizados en el laboratorio de química de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Actividad 2. Caracterización del agua tratada

En esta etapa se procedió a realizar dos pruebas estadísticas: un diseño bifactorial y unifactorial; para analizar y comparar los cambios significativos en los parámetros del agua residual después de haber realizado el proceso de coagulación, floculación y oxidación avanzada. Posteriormente, se escogió la mejor dosis a aplicar de cada químico (el coagulante cloruro férrico y oxidante cloro) (Galindo et al., 2020). En base a lo descrito, una vez aplicados los coagulantes-floculante y oxidante se realizó la respectiva comparación de los parámetros evaluados para evaluar su eficacia (turbidez, pH, conductividad eléctrica, color y sólidos totales). Asimismo, teniendo como referencia lo establecido por el TULSMA (2015) anexo 1 - tabla 12. Esta actividad de caracterización del agua se tomó en cuenta las actividades 4 y 5.

3.7.2. FASE II. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS FISCOQUÍMICOS EN LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL

Actividad 3. Toma de muestra

La muestra de agua residual fue recolectada del pozo séptico del hato porcino de la ESPAM MFL, tomando como base el procedimiento presentado por la norma INEN 2176 (2013), donde se procedió a recolectar mediante el método de succión el agua residual del hato porcino de la ESPAM MFL, para posteriormente almacenarlo en tanques de 20 L para sus correspondientes tratamientos. Una vez recolectada se transportó al laboratorio de química de la ESPAM MFL para la aplicación de los tratamientos. Es importante mencionar que el transporte de la muestra se realizó teniendo en cuenta las indicaciones determinadas por la norma INEN 2169 (2013) (manejo y conservación de muestras).

Actividad 4. Test de jarras de coagulación-floculación

Como punto inicial se midió el pH del agua y seguido de aquello, se calcularon las dosis de coagulantes y oxidante, en base a la formulación correspondiente a cada uno de los tratamientos. Es importante mencionar que la adición de coagulantes y floculantes es intensa (aprox. 200 rpm) durante 5 min; la floculación se realizó mediante una mezcla de 50 rpm durante 20 minutos. En lo que corresponde a la sedimentación se tomó un tiempo de 30 min a 0 rpm, este procedimiento se desarrolló con base a lo propuesto por (Acosta, 2006).

Actividad 5. Pruebas de oxidación avanzada

En el experimento para tratar el agua residual del hato porcino de la ESPAM, se utilizó el tratamiento más óptimo, para así añadirle diferentes dosis de hipoclorito de sodio y luego obtener como resultados principales la primera réplica. Los parámetros a medir en esta prueba de oxidación avanzada son: color, turbidez, sólidos totales, pH, conductividad eléctrica, y sólidos totales suspendidos.

3.7.3. FASE III. PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN AMBIENTAL PARA EL MANEJO DE AGUA RESIDUAL DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL

Actividad 6. Diseño de un Plan Acción

Se diseñó un Plan de Acción dirigido al tratamiento de aguas residuales y manejo eficiente de los residuos del hato porcino de la ESPAM MFL. Para ello, se plantearon estrategias preventivas y correctivas que contribuyan al cuidado del medio ambiente. La estructura del plan se basó en la investigación de Toinga (2016), la cual cuenta con los siguientes epígrafes:

- Introducción
- Alcance
- Definiciones
- Estrategias del Plan de Acción
- Recomendación

Actividad 7. Socialización del plan de acción

Los datos obtenidos en el desarrollo de esta investigación, se socializaron en las instalaciones del hato porcino de la ESPAM MFL, en presencia del personal administrativo y operativo del área. Esta actividad fue realizada por medio de una presentación en Power Point (anexo 2-D), mediante la cual se dio a conocer a los asistentes sobre los beneficios que tiene el manejo adecuado de aguas residuales; además; se les adjudicó el respectivo Plan de Acción para el hato porcino.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA ANTES Y DESPUÉS DE LOS TRATAMIENTOS DE REMEDIACIÓN FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA RESIDUAL DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL

En la tabla 4.1., se muestran los resultados obtenidos sobre la caracterización de la calidad del agua residual del hato porcino de la ESPAM MFL.

Tabla 4.1. Características del agua residual del hato porcino de la ESPAM MFL antes de los tratamientos

Parámetros	Unidad	Valor obtenido
pH	-	7,47
Turbidez	NTU	1000
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	2361
Sólidos disueltos	mg/L	1180
Sólidos suspendidos	mg/L	70,97
Color	Pt/Co	500

La tabla 4.1., exhibe que el potencial de hidrógeno se encuentra en un estado neutro (7,47), valor que concuerda con el obtenido por Intriago y Vergara (2024) en la misma área de estudio, con un intervalo entre 7,20 y 7,35. Por su parte, Mocha y Moreira (2021) alcanzaron un pH ligeramente ácido (6,64). Cárdenas et al. (2018) afirman que las aguas residuales porcinas presentan valores de pH que varían entre 6 y 8, que pueden verse influenciado por el estado de las excretas.

Asimismo, se exponen los resultados con respecto a la turbidez con un valor de 1000 NTU, mismo que es superior al obtenido por Intriago y Vergara (2024) ya que, varían entre 665 a 681 NTU; esto debido a una evidente presencia de sólidos suspendidos en el agua residual. Por otra parte, se evidenció una conductividad eléctrica de 2361 $\mu\text{S/cm}$, indicando que existen altas cantidades de sales solubles, que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente acuático (Pinaffi et al., 2020).

Los sólidos disueltos mostraron una concentración alta de 1180 mg/L, mientras que, los sólidos suspendidos tuvieron un valor de 70,97 mg/L. Autores como

Boursier et al. (2005) y Cervantes et al. (2007) han manifestado que las aguas residuales provenientes de granjas porcinas llegan a alcanzar concentraciones relativamente altas que van desde 8200 mg/L a 42500 mg/L. En relación al color se registró un valor de 500 Pt/Co.

A continuación, se exponen los resultados luego de haber aplicado dosis de hipoclorito de sodio al mejor tratamiento obtenido de la coagulación (tratamiento 3), en el que se obtuvo la mejor remoción en comparación con los demás tratamientos (Ver anexo 1).

Tabla 4.2. Caracterización del agua tratada mediante oxidación a diferentes dosis de cloro

Dosis de cloro (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad eléctrica (μ S/cm)	Sólidos totales disueltos (mg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)	Color (Pt-Co)
0	9,17	5,30	1351,0	677,25	25,75	114
1	12,17	2,73	4,59	2,17	15	75
10	12,08	3,44	4,54	2,14	21	88
50	11,84	3,15	3,60	1,85	30	35
100	11,95	3,53	3,41	1,49	80	34

En la tabla 4.2, se indica que los tratamientos con hipoclorito de sodio permitieron una reducción del color del agua residual inicial, turbidez, sólidos disueltos y suspendidos. Se evidencia que a menor concentración de hipoclorito de sodio existió una mejor remoción; es así que, a 1 mg/L de hipoclorito de sodio, la turbidez exhibió valores de 2,73 NTU, sólidos disueltos 2,17 mg/l, sólidos suspendidos 15 mg/L.

No obstante, los parámetros como la conductividad eléctrica (4,59 mS/cm), pH (12,17) y color (75 Pt-Co) que presentaron valores inferiores en relación con las dosis más altas (50 y 100 mg/L).

Nieto y Huamán (2019) obtuvieron resultados óptimos para los parámetros operacionales en los tratamientos de las aguas residuales de un camal porcinos mediante oxidación avanzada, alcanzando una remoción del 83% de materia orgánica y 96% de remoción en sólidos suspendidos, permitiendo así que las aguas tratadas cumplieran con la normativa ambiental vigente. Qian et al. (2020) afirman que las concentraciones elevadas y posibles toxicidades de antibióticos en las aguas residuales porcinas impulsan a explorar métodos de tratamientos

eficaces para minimizar los impactos ambientales provenientes de esta actividad.

La reducción en los tratamientos se relaciona con la oxidación de los sólidos suspendidos, debido a la reacción entre el cloro disponible y las sustancias orgánicas que se encuentran en el medio. El aumento en el pH y la disminución en la conductividad eléctrica al agregar cloro al agua tratada pueden explicarse por varias reacciones químicas que ocurren simultáneamente. El cloro, al ser añadido al agua, reacciona para formar ácido hipocloroso (HOCl) e ion hipoclorito (OCl⁻), es decir, las especies dominantes formadas dependen del pH de la solución (Kim et al., 2006). A un pH de 12, el agua es altamente alcalina, lo que significa que tiene una alta concentración de iones hidróxido (OH⁻) (Zhang et al., 2015).

Además, debido a la presencia de materia orgánica natural (MON), como ocurre en el presente caso en donde se trabaja con aguas residuales de un hato porcino, existen varios tipos de compuestos orgánicos que pueden actuar como promotores en la producción de radicales OH, pero que también pueden actuar como atrapadores de radicales, lo que podría causar reacciones en cadena con el cloro y, por tanto, conducir a un mayor consumo de HOCl. Un alto consumo de HOCl puede afectar el equilibrio ácido-base del agua, lo que pueda provocar cambios significativos en el pH (Devi et al., 2021). Esto, a su vez, pueden influir en la eficacia de la reacción y en la formación de otros subproductos químicos. En el caso de agua residual del hato porcino, en donde existen concentraciones de urea, amonio, nitritos y nitratos, se potenciaría la formación de cloraminas (Jim et al., 2011).

Por su parte, la disminución en la conductividad eléctrica puede atribuirse a la formación de ion hipoclorito (OCl⁻), que es un electrólito más débil en comparación con el ion cloruro (Cl⁻). Dado que la conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de una solución para conducir electricidad, la disminución en la concentración de iones cloruro conduce a una disminución en la conductividad eléctrica.

La adición de una solución de cloro en el agua residual incrementa el potencial de oxidación reducción (ORP). Este aumento inicial se estabiliza debido a la

formación de NH_2Cl , producto de la oxidación del NH_4 , lo que implica una dominancia en el estado redox del agua. Luego, simultáneamente, el pH experimenta un aumento atribuido a la generación de iones hidróxido (OH^-) a partir del NaOCl (Kim et al., 2006).

La tabla 4.3 muestra la comparación de los resultados del agua residual del hato porcino antes y después de la aplicación de los tratamientos con los límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce establecido en la tabla 12, anexo 1 del TULSMA.

Tabla 4.3. Comparación de los resultados con el TULSMA

Parámetros	Unidad	Valor antes del tratamiento	Valor después del tratamiento	Límites máximos permisibles
pH	-	7,47	12,17	5 - 9
Turbidez	NTU	1000	2,73	No específica
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2361	4,59	No específica
Sólidos disueltos	mg/L	1180	2,17	No específica
Sólidos suspendidos	mg/L	70,97	15	130 mg/L
Color	Pt/Co	500	75	1/20

Los parámetros estudiados indican que los sólidos suspendidos cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en el anexo 1, tabla 12 del TULSMA para descargas a un cuerpo de agua dulce, antes y después de la aplicación de los tratamientos. Por su parte, el pH del agua residual inicial se encuentra dentro de los límites establecidos en la normativa, con un valor de 7,47, no obstante, este parámetro después de los tratamientos sufre un incremento a niveles alcalinos indicando la formación de sustancias alcalinas debido a alguna reacción a la materia orgánica.

Estos resultados son similares a los encontrados en la investigación de Mocha y Moreira (2021) en el hato porcino de la ESPAM MFL; los sólidos suspendidos presentaron un total de 580 mg/L valor superior al establecido por la normativa. Parra y Zambrano (2021) también indicaron que los sólidos suspendidos alcanzaron un valor de 132,20 mg/L en el agua residual de porcina, superando el límite indicado en la normativa.

Mocha y Moreira (2021) afirman que el cuerpo de agua cercano al hato porcino se ve afectado a causa de las descargas del agua residual proveniente del hato

porcino, ya que, esta agua no recibe ningún tipo de tratamiento, únicamente se realiza la separación de las excretas y las vierten al suelo, generando contaminación de suelo. De acuerdo con Verdugo (2021) la producción porcina conlleva problemas que causan afectaciones al medio ambiente, debido a que, degradan los recursos naturales como el agua, suelo y aire, ocasionados por los residuos que genera esta actividad. Arias et al. (2010) expone que los impactos ambientales más grave son la transmisión de microorganismos patógenos que contaminan las aguas superficiales y subterráneas.

4.2. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS FÍSICOQUÍMICOS EN LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL

4.2.1. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE EL pH

A continuación, en la tabla 4.4, se presentan los resultados del parámetro pH luego de aplicarse el tratamiento de coagulación-floculación utilizado diferentes dosis de coagulante cloruro férrico entre 100 y 1000 mg/L y floculante poliacrilamida entre 5 y 20 mg/L.

Tabla 4.4. Resultados de pH luego de tratamiento de coagulación-floculación

Tratamiento	Dosis de coagulante (mg/L)	Dosis de floculante (mg/L)	pH
T1	100	5	8,07
	100	5	7,55
	100	5	8,33
	100	5	7,89
	100	20	8,35
T2	100	20	8,40
	100	20	8,43
	100	20	7,56
	1000	5	9,09
T3	1000	5	8,54
	1000	5	9,45
	1000	5	9,61
	1000	20	8,50
T4	1000	20	7,53
	1000	20	7,72
	1000	20	7,54

En la figura 4.1, se presentan los valores promedio del pH para los tratamientos de coagulación. De acuerdo con la tabla 4.4., y figura 4.1., el T1 presentó un rango de fluctuación en los valores de pH que abarcó desde 7,55 hasta 8,33. En contraste, el T2 se observa una variación en los valores de pH entre 7,56 y 8,43 con un promedio de 8,19. En el T3, que involucra 1000 ppm de coagulante y 5 ppm de floculante, se observa una variación en los valores de pH que oscilan entre 8,54 y 9,61 con un promedio de 9,17. Para el T4 se observa una variación en los valores de pH entre 7,53 y 8,5 con un promedio de 7,82.

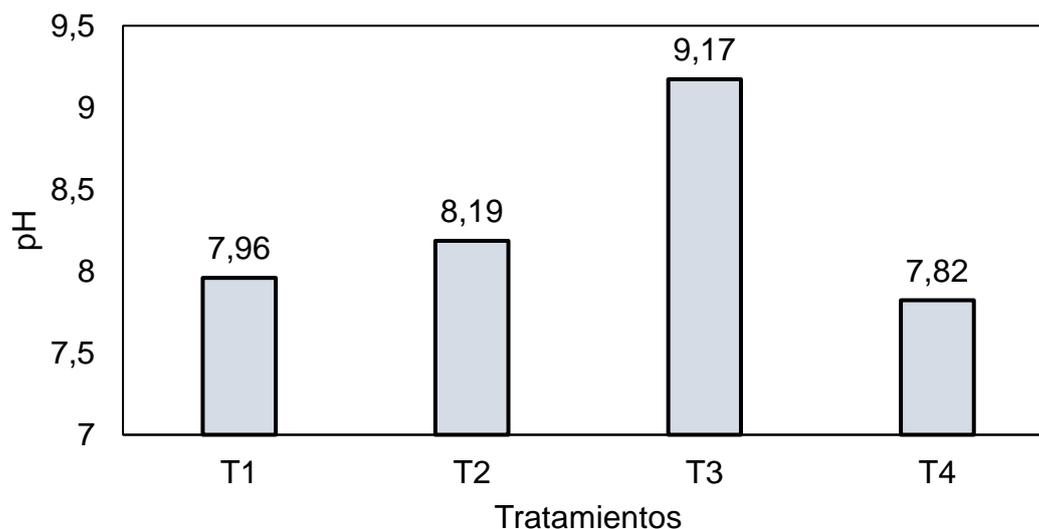


Figura 4.1. Valores finales de pH luego de tratamientos de coagulación-floculación.

La tabla 4.5 presenta los resultados del ANOVA, en donde las variables dosis de coagulante y dosis de floculante en función de la respuesta pH fueron evaluadas. Según los p-valores, la dosis de coagulante no tuvo efecto estadísticamente significativo ($p > 0,05$) sobre el pH, en contraste con la dosis de floculante que sí tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$). En cambio, la interacción de los dos factores sí generó un efecto significativo ($p < 0,05$), destacando la importancia de utilizar floculante en este proceso para generar un cambio en el pH. Según la Tabla 4.4, todos los valores de pH se encuentran entre 6-9, en función de la normativa ambiental ecuatoriana (Tabla 12 TULSMA – Descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce).

Tabla 4.5. ANOVA parámetro de pH

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Coagulante	1	0.7225	0.7225	4.021	0.06803 (.)
Floculante	1	1.2656	1.2656	7.043	0.02102 (*)
Coag:Floc	1	2.4806	2.4806	13.805	0.00295 (**)
Error	12	2.1563	0.1797		
Total	15	6.625			

Códigos de significancia: 0 (***) 0.001 (**) 0.01 (*) 0.05 (.) 0.1 (-) 1

Tabla 4.6. Test Tukey para el pH

Factor	Dosis (ppm)	Medias	Error	Grupo
Coagulante	1000	8.4970	0.1797	A
	100	8.0725		A
Floculante	5	8.56625	0.1797	A
	20	8.00375		B

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

Muestras de purín, mezcla líquida de heces y orina de animales, particularmente de ganado como cerdos y vacas, analizado de una granja de cerdos situada en Alhama de Murcia, en la región sureste de España, fueron tratadas con coagulante cloruro de hierro. En este trabajo, el pH del sobrenadante disminuyó de manera constante a medida que se incrementaban las dosis de cloruro de hierro, desde 7.63 hasta valores entre 5.5 y 6.4. Esta reducción en el pH se puede atribuir al carácter ácido del Fe^{3+} (ácido de Lewis), que reacciona con los iones OH^- del purín de cerdo, formando un precipitado de hierro en la forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$. En cambio, el pH inicial del agua residual del hato porcino de la ESPAM-MFL fue de 7.47; no obstante, según los resultados obtenidos el pH incrementó a valores hasta 9,61.

Según Oumaima et al. (2021), dependiendo de la situación, la adición de cationes de hierro podría provocar indirectamente un aumento del pH. Un mecanismo es mediante la reacción con iones hidróxido, y el otro mecanismo un efecto buffer.

- **Reacción con iones hidróxido (OH^-):** Si la solución ya contiene iones hidróxido (OH^-), los cuales contribuyen a un pH básico, los cationes de hierro podrían reaccionar con ellos para formar hidróxidos de hierro. Esto reduce la cantidad de iones OH^- libres, provocando una disminución leve de la basicidad (el pH podría aumentar ligeramente).
- **Efecto buffer:** Ciertos compuestos de hierro pueden actuar como buffers. Los buffers resisten los cambios de pH reaccionando con pequeñas cantidades de iones H^+ u OH^- agregados. En algunos casos, si la solución

tiende a ser ligeramente ácida, agregar un buffer de hierro podría consumir algunos iones H^+ , provocando un aumento leve del pH (Weiss et al., 2021).

Para la oxidación avanzada, se seleccionó el mejor tratamiento de la coagulación-floculación. En el presente caso, el mejor tratamiento en términos de turbidez fue el tratamiento 3 (1000 ppm de cloruro férrico y 5 ppm de floculante).

El efecto de la dosis de hipoclorito de sodio, en la oxidación avanzada, en función del pH se presentan en la siguiente Figura 4.2, en donde el pH inicial del mejor tratamiento de coagulación fue 9,20.

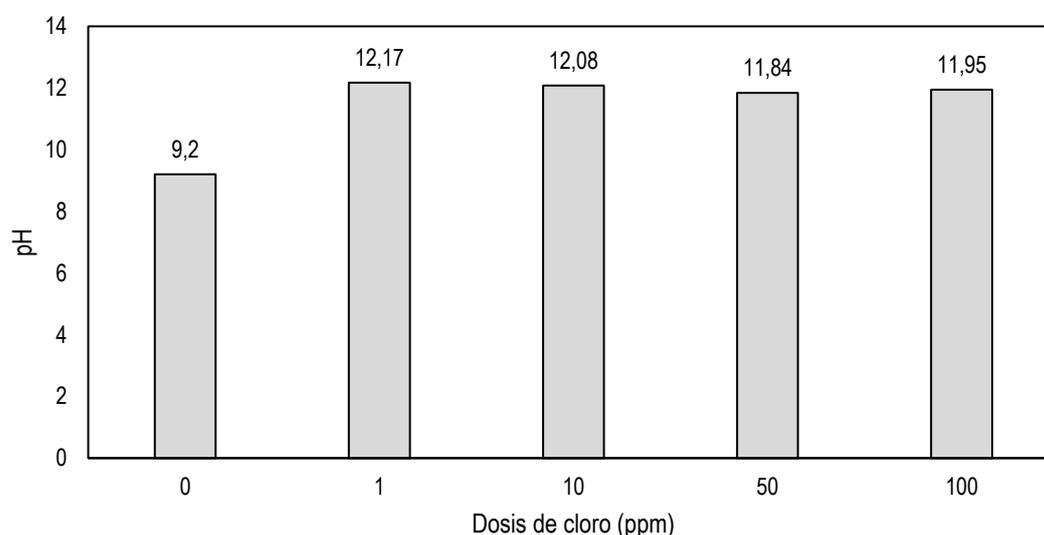


Figura 4.2. Efecto del pH con la adición de dosis de cloro (ppm).

A continuación, en la tabla 4.7., se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para el tratamiento de oxidación avanzada con dosis de cloro.

Tabla 4.7. Cuadro de ANOVA para el tratamiento de oxidación avanzada en función del pH

F.V.	GI	SC	CM	F	p-valor
Dosis de cloro	1	2.369	2.369	0.501	0.53 (-)
Error	3	14.183	4.728		
Total	4	16.552			

Códigos de significancia: 0 (***) 0.001 (**) 0.01 (*) 0.05 (.) 0.1 (-) 1

Tabla 4.8. Prueba Tukey para pH

Dosis de cloro (ppm)	Diferencia de medias	Desv. Error	Grupo
1	,32750*	,01146	A
10	,25750*	,01146	A
50	-,25750*	,01146	A
100	-,15250*	,01146	A

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

En función del parámetro pH, se evidencia que no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos evaluados con dosis de cloro. Esto se puede observar en los resultados donde el valor F de 0,501 y una significancia de 0,53, indicando que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis alternativa, de que algunos de los tratamientos con cloro tienen efecto significativo en el pH.

Además de los resultados cuantitativos mencionados, es relevante considerar las posibles implicaciones prácticas y teóricas de estas variaciones de pH en el contexto ambiental, ya que estos datos podrían tener implicaciones directas en la salud y biodiversidad de los ecosistemas involucrados; así como en los procesos químicos y biológicos que ocurren en dichos entornos (Jean et al., 2018). De acuerdo al análisis de Tukey para el parámetro de pH (Tabla 4.8), no se evidencian diferencias significativas.

4.2.2. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE TURBIDEZ

En la figura 4.3., el T1 varió en un rango comprendido entre 31,6 y 45,6, con un promedio de 36,775 NTU. En cuanto al T2, la turbidez presentó un rango de fluctuación que osciló entre 38,9 a 59,0 NTU, con un promedio de 51,225 NTU. Por otra parte, los datos del T3 presentaron una distribución relativamente simétrica en un rango de variación de 4,9 hasta 5,9 NTU y un promedio de turbidez de 5,27. Finalmente, el T4 también tuvo una distribución relativamente simétrica, con un rango de variación de 13,7 a 17,7 NTU, y un promedio de 15,8 NTU.

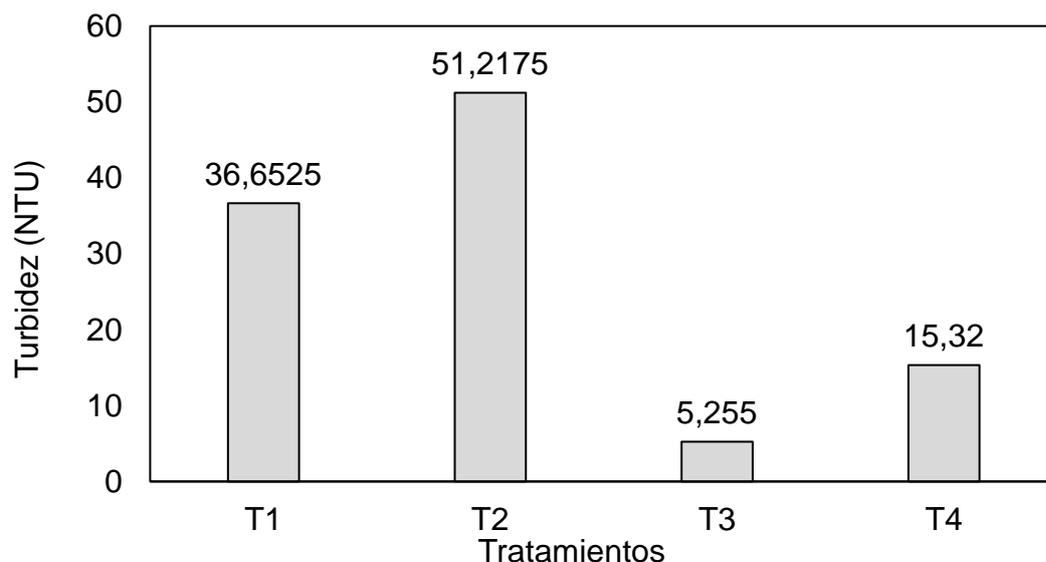


Figura 4.3. Valores finales de turbidez luego de tratamientos de coagulación-floculación.

En consecuencia, a partir de una turbidez de 1000 NTU, el T3 se destacó entre los tratamientos como el más eficaz para reducir 99,5% de turbidez, con valores que se mantuvieron constantemente en un rango estrecho cercano a 5 NTU, muy por debajo del límite permisible de 10 NTU.

Esto demuestra que el método utilizado para tratar T3 proporciona una excelente claridad al agua y cumple con los estándares de calidad especificados para la eliminación de sólidos en suspensión. Yanza et al. (2019) exponen que, en términos de turbiedad, los tratamientos que emplean FeCl_3 + PAC alcanzan una remoción de hasta el 78%. No obstante, estos tratamientos generan mayores cantidades de lodos (Cornwell et al. 2010).

Tabla 4.9. ANOVA parámetro de turbidez

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	
Coagulante	1	4533	4533	150.52	0.000000	(***)
Floculante	1	604	604	20.05	0.00076	(***)
Coag:Floc	1	20	20	0.68	0.42569	(-)
Error	12	361	30			
Total	15	5518				

Códigos de significancia: 0 (***) 0.001 (**) 0.01 (*) 0.05 (.) 0.1 (-) 1

El ANOVA aplicado al parámetro turbidez (NTU) (tabla 4.9), evidencia diferencias significativas entre los tratamientos evaluados; es decir, que los tratamientos si

tienen efecto significativo en la turbidez. Por lo tanto, la comprensión detallada de estas fluctuaciones puede ser fundamental para la toma de decisiones informadas en la planificación y gestión de estrategias de conservación y restauración ambiental (Ruiz, 2017). Vásquez (2023) señala que los resultados de turbidez proporcionan una idea de la cantidad de sólidos suspendidos en el agua residual.

Tabla 4.10. Cuadro de Test Tukey para turbidez

Factor	Dosis (ppm)	Medias	Error	Grupo
Coagulante	1000	10.2875	30.114	A
	100	43.95		B
Floculante	5	20.975	30.114	A
	20	33.2625		B

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

La tabla 4.10., muestra que las comparaciones con diferencias significativas son menores a 0,05. Sin embargo, las dosis altas (100 ppm y 20 ppm) presentan tener un efecto negativo en la turbidez, debido a que todas las diferencias significativas, presentan la disminución de la turbidez en comparación con la dosis de 1000 ppm.

Para la oxidación avanzada (tabla 4.4), se seleccionó el mejor tratamiento de la coagulación- floculación. En este caso, la turbidez luego de este tratamiento fue de 5,3 NTU. Y de este valor, luego de la adición de cloro, se redujo a valores entre 3,53 y 2,73 NTU.

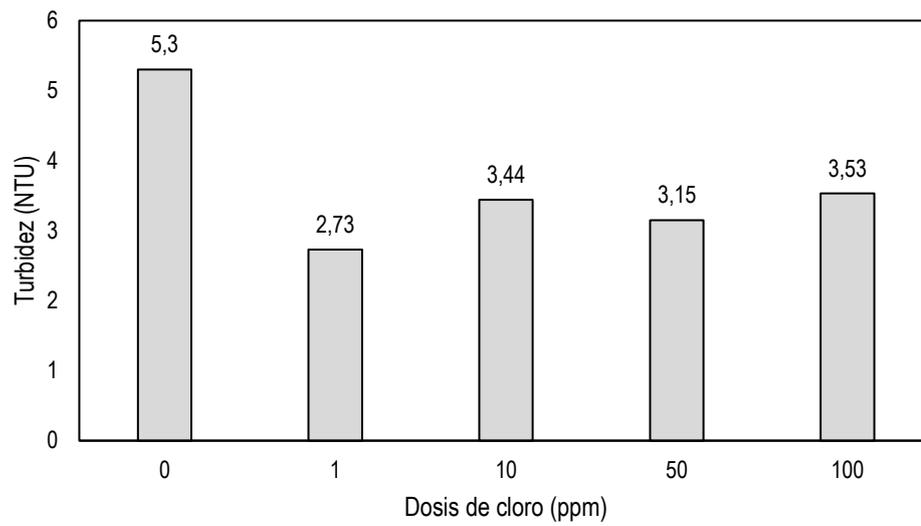


Figura 4.4. Efecto de la turbidez con la adición de dosis de cloro (ppm)

A continuación, en la Tabla 4.11., se presenta el análisis de varianza para el tratamiento oxidación avanzada con dosis de cloro:

Tabla 4.11. ANOVA para el tratamiento de oxidación avanzada en función de la turbidez

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	
Dosis de cloro	1	0.183	0.1826	0.148	0.726	(-)
Error	3	3.693	1.2309			
Total	4	3.876				

Códigos de significancia: 0 (***) 0.001 (**) 0.01 (*) 0.05 (.) 0.1 (-) 1

Tabla 4.12. Prueba Tukey para turbidez

Dosis (ppm)	Medias	Error	Grupo
1	2.7300	1.23094	A
10	3.44	1.23094	A
50	3.15	1.23094	A
100	3.53	1.23094	A

En función del parámetro de turbidez, se evidencia que no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos evaluados con dosis de cloro. Esto se puede observar en los resultados donde el valor F de 0,148 y una significancia de 0.726, indicando que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis alternativa, de que algunos de los tratamientos con cloro tienen efecto significativo con la turbidez.

Según el análisis de Tukey, la adición de cloro entre 1 ppm y 100 ppm prácticamente no genera diferencia estadísticamente significativa en la turbidez. Es decir, cualquier adición de cloro en este rango no produce reducción ni aumento de la turbidez, tomando como referencia la turbidez inicial de 5,3 NTU.

4.2.3. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

En la figura 4.5., los datos del tratamiento T1 presentaron un rango de variación desde 1410 hasta 3418 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un promedio de 2350,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En cambio, los datos obtenidos en el T2 presentaron un rango de fluctuación de 2037 unidades, que varían desde 1298 hasta 3335 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un promedio es

1868,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El T3 mostró una fluctuación desde 1324 y 1375 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un promedio es 1351 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por último, el T4 presentó un rango de variación que va desde 1463 hasta 3415 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un promedio de 2891 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Según estos datos, el T3 tuvo menor promedio que los tratamientos 1 y 2, lo que indica que el T3 fue el tratamiento más eficiente en la reducción de sales y minerales.

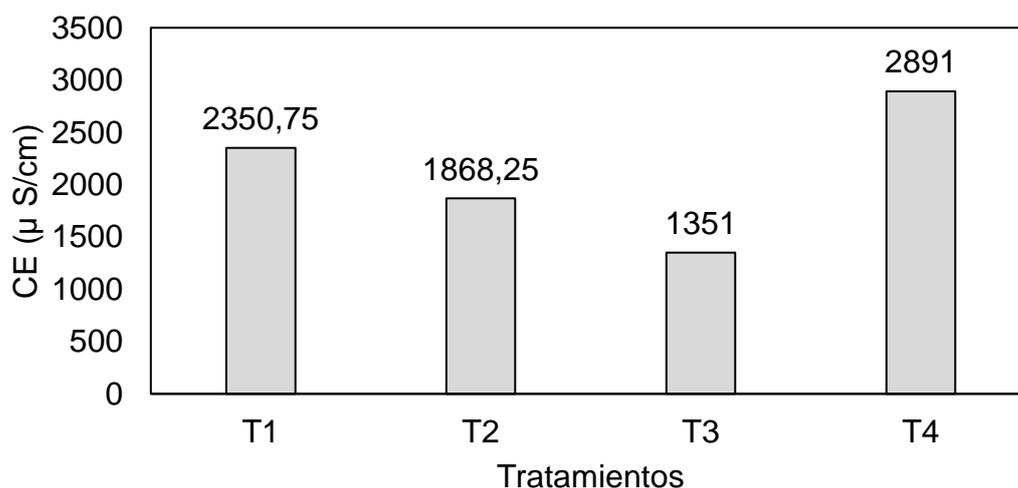


Figura 4.5. Valores finales de conductividad eléctrica luego de tratamientos de coagulación-floculación

Bazán (2022) indica que la conductividad eléctrica del estudio efectuado varía considerablemente con valores que oscilan entre 2645 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 2965 $\mu\text{S}/\text{cm}$, datos que son similares a los obtenidos en esta investigación. No obstante, Pinaffi et al. (2020) señalan que, en los tratamientos realizados en su investigación, no obtuvieron remoción con respecto a la conductividad eléctrica.

Tabla 4.13. ANOVA parámetro de conductividad eléctrica

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Coagulante	1	529	529	0.001	0.977500
Floculante	1	1118306	1E+06	1.757	0.2097
Coag:Floc	1	4090506	4E+06	6.426	0.0262 (*)
Error	12	7639228	636602		
Total	15	5518			

Códigos de significancia: 0 (***) 0.001 (**) 0.01 (*) 0.05 (.) 0.1 (-) 1

El análisis de varianza aplicado al parámetro conductividad eléctrica (mS/cm) presenta los resultados de la tabla 4.13., donde las variables dosis de coagulante

y dosis de floculante en función de la respuesta conductividad eléctrica fueron evaluadas. Según los p-valores, la dosis de coagulante no tuvo efecto estadísticamente significativo ($p>0,05$), en contraste con la dosis de floculante tampoco tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p>0,05$), En cambio, la interacción de los dos factores sí generó un efecto significativo ($p<0,05$). Esto sugiere que se necesitan más datos o de nuevas combinaciones de tratamientos para obtener resultados más eficaces (Mora et al., 2015; Marín y Arriojas, 2020). Acosta (2023) afirma que mediante la combinación de tratamientos se pueden alcanzar resultados óptimos de remoción.

Tabla 4.14. Cuadro de Test Tukey para conductividad eléctrica

Factor	Dosis (ppm)	Medias	Error	Grupo
Coagulante	1000	2121.000	636602	A
	100	2109.500		A
Floculante	5	2379.625	636602	A
	20	1850.875		A

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

De acuerdo al análisis de Tukey para el parámetro conductividad eléctrica (tabla 4.14) se evidencia que no existieron diferencias significativas ($p>0,05$) entre los tratamientos evaluados con dosis de cloro. Sin embargo, las dosis altas (5 ppm y 1000 ppm) muestran un aumento significativo en este parámetro en comparación con la dosis de 20 ppm. En conclusión, la dosis de 20 ppm afecta en menor medida a la conductividad eléctrica, en comparación con las dosis altas.

Para la oxidación avanzada (tabla 4.6), se seleccionó el mejor tratamiento de la coagulación- floculación. En este caso, la conductividad eléctrica luego de este tratamiento fue de 1351 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Y de este valor, luego de la adición de cloro, se obtuvo un descenso entre 4,59 y 3,41 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

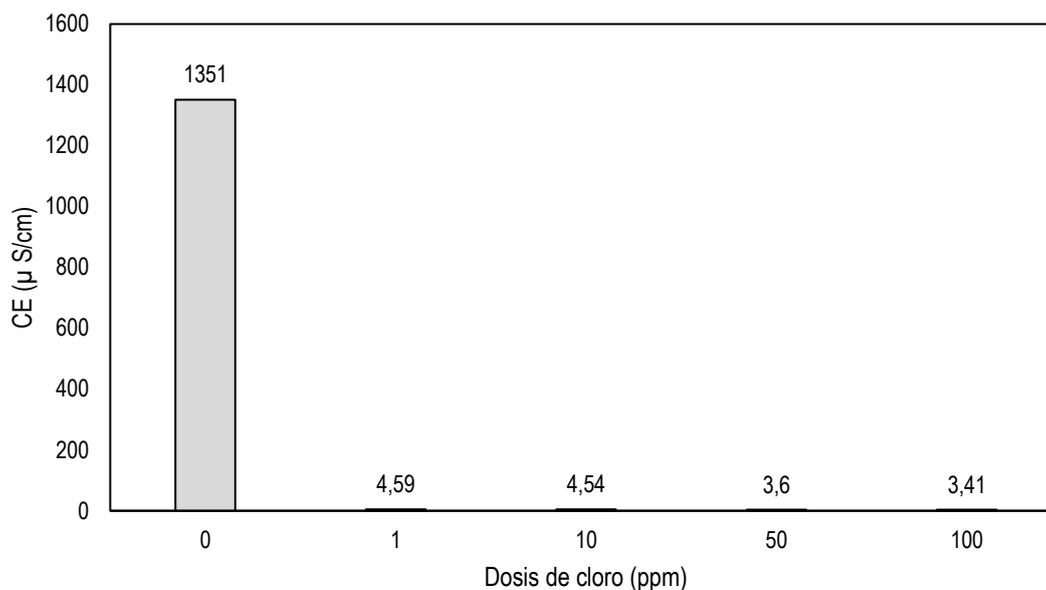


Figura 4.6. Efecto de la conductividad eléctrica con la adición de dosis de cloro (ppm).

En el estudio de Acosta (2023) también se demostró que en los tratamientos no presentaron disminución en la carga salina del agua residual en ninguno de los tratamientos, con excepción, del segundo, tercero y cuarto donde se visualizó una disminución mínima. Asimismo, Vásquez (2023) afirma que en su investigación no existió diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 4.15. Cuadro de ANOVA para el tratamiento de oxidación avanzada en función de conductividad eléctrica

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Dosis de cloro	1	254555	254555	0.638	0.483
Error	3	1196898	398966		
Total	4	1451453			

Códigos de significancia: 0 (***) 0.001 (**) 0.01 (*) 0.05 (.) 0.1 (-) 1

Tabla 4.16. Prueba Tukey para conductividad eléctrica

Dosis (ppm)	Medias	Error	Grupo
0	1351.00	398966	A
1	4.59	398966	A
10	4.54	398966	A
50	3.60	398966	A
100	3.41	398966	A

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

Tabla 4.15., la adición de cloro no genera un efecto estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos evaluados con dosis de cloro. Esto se puede observar en los resultados donde el valor F de 0,638 y una significancia de 0,483, indicando que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis alternativa, de que algunos de los tratamientos con cloro tienen efecto significativo en la conductividad eléctrica.

Según el análisis de Tukey (tabla 4.16) , la dosis de 1 ppm a 100 ppm prácticamente no genera diferencia estadísticamente significativa. Tomando como referencia de conductividad eléctrica inicial de 1351 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este incremento le atribuye principalmente a la presencia de sales o minerales disueltos en el agua que no se eliminaron de manera eficaz durante el proceso de tratamiento (Boyd, 2017).

4.2.4. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE SÓLIDOS DISUELTOS

Los datos (figura 4.7) del T1 muestran una variación que oscila entre 1074 y 1221 mg/L, y un promedio de 1155.75 mg/L. El T2, muestra una fluctuación que varía desde 678 hasta 1689 mg/L, con un promedio de 949.25 mg/L. En contraste, el T3 tuvo una fluctuación que va desde 664 hasta 690, con un promedio de 677.25. Finalmente, los datos del T4 muestran un rango de variación de 732 hasta 1715 mg/L, con un promedio de 1454 mg/L.

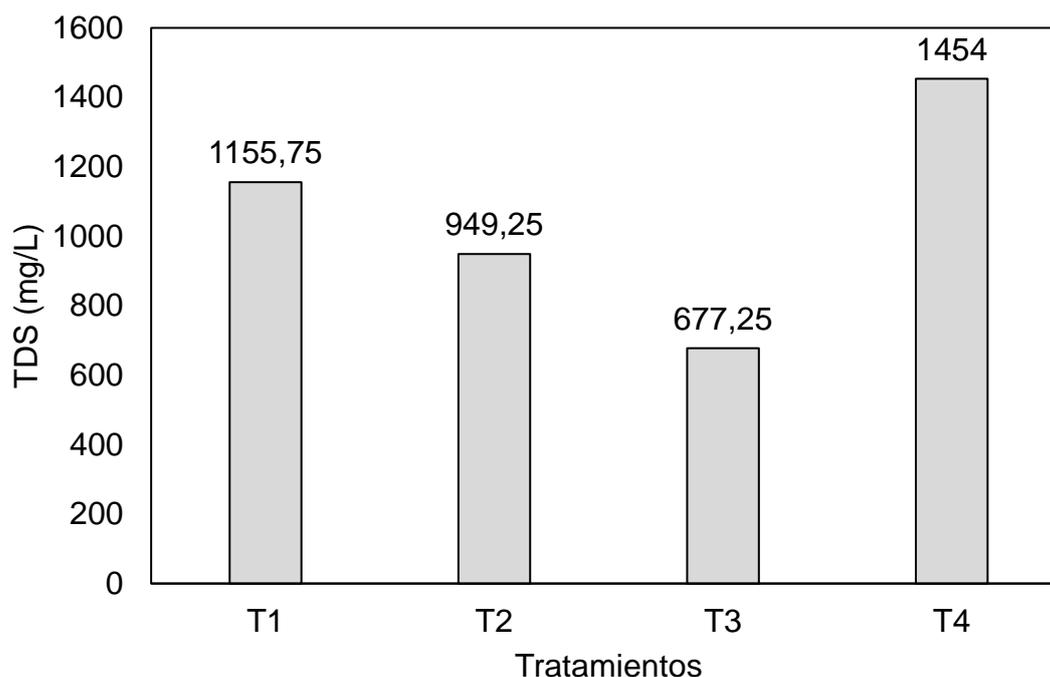


Figura 4.7. Valores finales de sólidos disueltos luego de tratamientos de coagulación-floculación.

Los valores de sólidos disueltos varían en sus concentraciones debido a factores como el tamaño de granja, sitios o procesos y también a la cantidad de animales existente dentro de un área determinada (Garzón y Buelna, 2014), tal como lo demuestra Castillo (2021) en su estudio que obtuvo concentraciones de sólidos suspendidos de 1000 a 2980 mg/L, valores que, son superiores a los obtenidos en esta investigación.

El ANOVA aplicado al parámetro sólidos disueltos (tabla 4.17) en mg/L, evidencia que no presenta diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

Tabla 4.17. ANOVA parámetro de sólidos disueltos

F.V.	GI	SC	CM	F	p-valor
Coagulante	1	689	689	0.006	0.940800
Floculante	1	325185	325185	2.71	0.1256
Coag:Floc	1	966781	966781	8.057	0.0149 (*)
Error	12	1439928	119994		
Total	15	2732583			

Códigos de significancia: 0 (***) 0.001 (**) 0.01 (*) 0.05 (.) 0.1 (-) 1

Donde las variables dosis de coagulante y dosis de floculante en función de la respuesta sólidos disueltos fueron evaluadas. Según los p-valores, la dosis de coagulante no tuvo efecto estadísticamente significativo ($p > 0,05$), en contraste con la dosis de floculante tampoco tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p > 0,05$), En cambio, la interacción de los dos factores sí generó un efecto significativo ($p < 0,05$). De igual forma, Esperilla y Torres (2023) señala que los tratamientos no generan un efecto significativo sobre el parámetro estudiado.

Tabla 18. Test Tukey para sólidos disueltos

Factor	Dosis (ppm)	Medias	Error	Grupo
Coagulante	1000	1065.6250	119994	A
	100	1052.5		A
Floculante	5	2379.62916.5005	119994	A
	20	1201.625		A

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

De acuerdo con el análisis de Tukey (tabla 4.18) para el parámetro sólidos disueltos en mg/L, se observa con respecto a los factores coagulación-floculación, que las comparaciones no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Sin embargo, las dosis altas (5 ppm y 20 ppm) no muestran una reducción significativa en los sólidos disueltos en comparación con las dosis de 100 ppm y 1000 ppm. Por lo que se concluye que la dosis 100 ppm tiene los mejores efectos en la reducción de los sólidos disueltos.

Respecto a la oxidación avanzada (tabla 4.8) se optó por el mejor tratamiento de la coagulación- floculación. En este caso, los sólidos disueltos luego de este tratamiento fueron de 677 mg/L. Y de este valor, luego de la adición de cloro, tuve un descenso entre 2,17 y 1,49 mg/L.

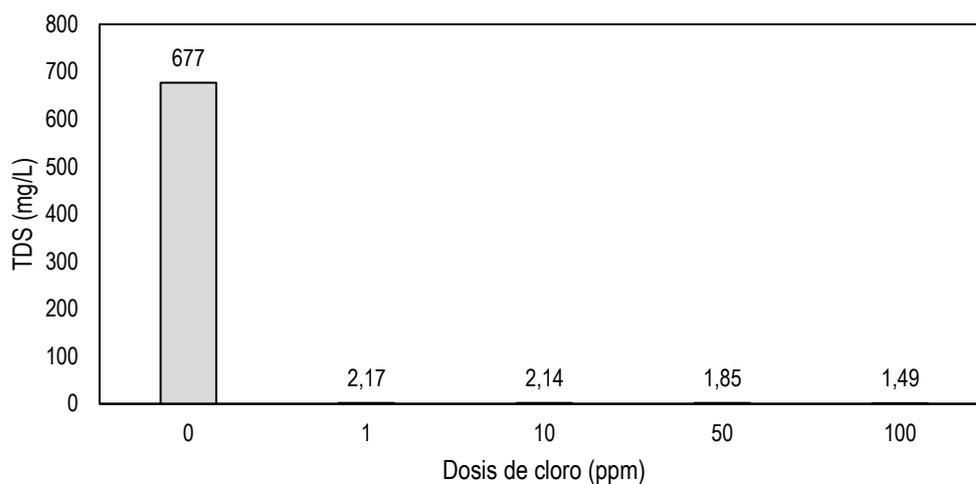


Figura 4.8. Efecto de los sólidos disueltos con la adición de dosis de cloro (ppm).

A continuación, en la Tabla 4.19., se presenta el análisis de varianza para el tratamiento oxidación avanzada con dosis de cloro:

Tabla 4.19. Cuadro de ANOVA para el tratamiento de oxidación avanzada en función de sólidos disueltos

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Dosis de cloro	1	63963	63963	0.638	0.483
Error	3	300632	100211		
Total	4	364595			

Códigos de significancia: 0 (***) 0.001 (**) 0.01 (*) 0.05 (.) 0.1 (-) 1

Tabla 4.20. Prueba Tukey para solidos disueltos

Dosis (ppm)	Medias	Error	Grupo
0	677.0000	100210.8	A
1	2.17	100210.8	A
10	2.14	100210.8	A
50	1.85	100210.8	A
100	1.49	100210.8	A

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

En función del parámetro sólidos suspendidos, se evidencia que no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos evaluados con dosis de cloro. Esto se puede observar en los resultados donde el valor F de 0,683 y una significancia de 0,483, indicando que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis alternativa, que algunos de los tratamientos con cloro tienen efecto significativo en los sólidos disueltos. Esperilla y Torres (2023) señala que los tratamientos no generan un efecto significativo sobre el parámetro estudiado.

De acuerdo al análisis de Tukey para el parámetro de sólidos disueltos (Tabla 4.20), no se evidencian diferencias significativas. Tomando como referencia de sólidos suspendidos inicial de 677,0 mg/L.

4.2.5. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Los datos (figura 4.9) del T1 muestran una variación que oscila entre 32 y 35 mg/L, y un promedio de 33,25 mg/L. El T2, muestra una fluctuación que varía desde 60 hasta 66 mg/L, con un promedio de 64 mg/L. En contraste, el T3 tuvo una fluctuación que va desde 24 hasta 26 mg/L, con un promedio de 25,75, generando una reducción del 63,7%. Finalmente, los datos del T4 muestran un rango de variación de 55 hasta 58 mg/L, con un promedio de 57 mg/L. Este valor fue más alto que el promedio del T3, pero aún más bajo que el T2, lo que indica que el T4 fue más efectivo que el T2 en la reducción de los sólidos suspendidos.

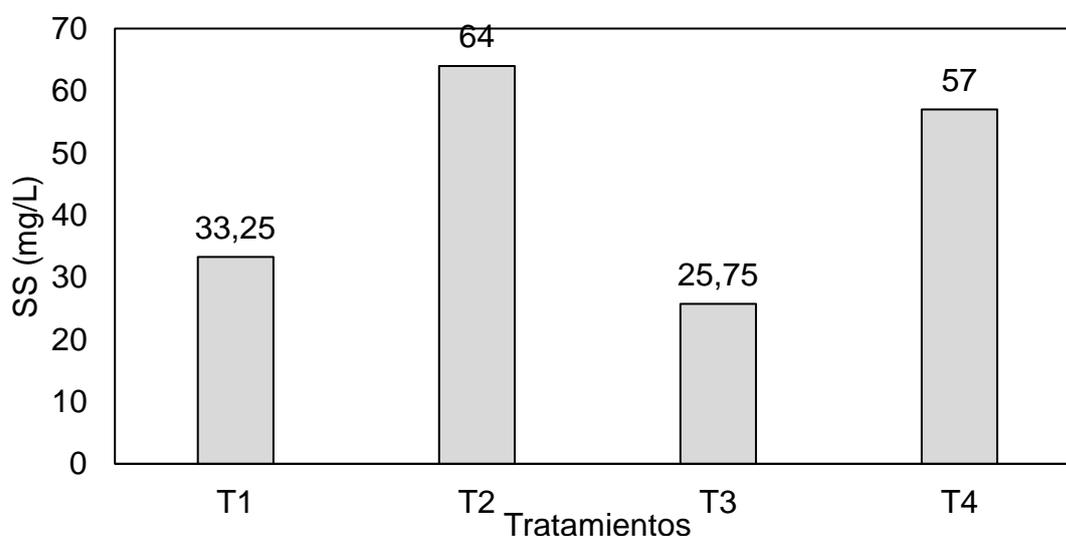


Figura 4.9. Valores finales de sólidos suspendidos luego de tratamientos de coagulación-floculación.

Según el ANOVA (tabla 4.21) los sólidos suspendidos tuvieron efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) para el factor dosis de floculante.

Tabla 4.21. ANOVA para sólidos suspendidos

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Coagulante	1	210	210	0.376	0.551300
Floculante	1	3844	3844	6.871	0.0223 (*)
Coag:Floc	1	0	0	0	0.9835
Error	12	6714	559		
Total	15	10768			

Códigos de significancia: 0 (***) 0.001 (**) 0.01 (*) 0.05 (.) 0.1 (-) 1

Consecuentemente, la interconexión entre coagulante-floculante tiene un valor de F de 0 y una significancia 0,9835, este resultado sugiere que la interacción entre estos factores no tiene un efecto significativo en las concentraciones de sólidos suspendidos. En otras palabras, aunque de forma individual estas variables pueden tener algún impacto en las concentraciones de sólidos suspendidos, cuando se analiza su interacción, estas parecen influir de manera importante en el resultado (Jaya, 2017). De acuerdo a Demera y Pacheco (2015) esta conclusión apunta a que los factores evaluados podrían no estar influyendo de manera significativa en las concentraciones de sólidos suspendidos por sí solos.

De acuerdo con el análisis de Tukey (tabla 4.22) muestra que las comparaciones con diferencias significativas son menores a 0,05. Sin embargo, las dosis altas (1000 ppm y 100 ppm) presentan tener un efecto negativa en los sólidos suspendidos.

Tabla 4.22. Test Tukey para sólidos suspendidos

Factor	Dosis (ppm)	Medias	Error	Grupo
Coagulante	1000	41.3750	559.46	A
	100	48.625		A
Floculante	5	29.5	559.46	A
	20	60.5		B

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

La oxidación avanzada se optó por el mejor tratamiento de la coagulación-floculación. En este caso (tabla 4.10), los sólidos suspendidos luego de este tratamiento fueron de 70,97 mg/L. Y de este valor, luego de la adición de cloro, tuvo un ascenso entre 15 a 80 mg/L. En términos de la mejor reducción de sólidos suspendidos, el tratamiento con 1 mg/L de hipoclorito de sodio obtuvo una reducción del 78,86%.

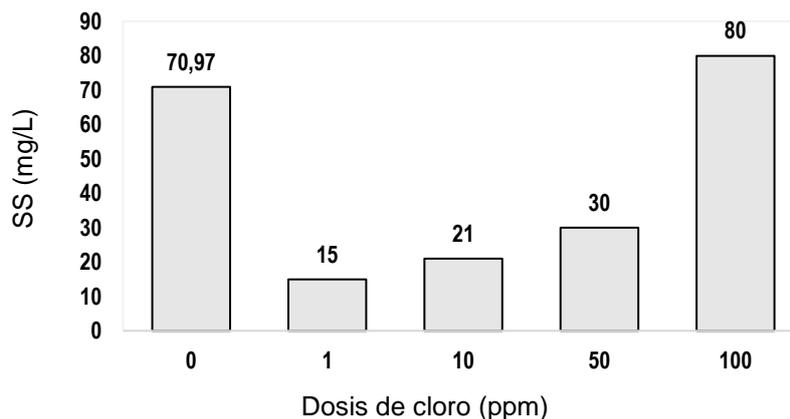


Figura 4.10. Efecto de los sólidos suspendidos con la adición de dosis de cloro (ppm)

Según la Tabla 4.23., existe diferencia significativa ($p < 0,05$) para la adición de dosis de cloro en la remoción de sólidos suspendidos. Este efecto permite aceptar la hipótesis alternativa en términos de efecto de la dosis de cloro en remover sólidos suspendidos.

Tabla 4.23. ANOVA para sólidos suspendidos

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Dosis de cloro	1	2372.3	2372	19.93	0.0209 (*)
Error	3	357.1	119		
Total	4	2729.4			

Códigos de significancia: 0 (***) 0.001 (**) 0.01 (*) 0.05 (.) 0.1 (-) 1

Tabla 4.24. Prueba Tukey para sólidos suspendidos

Dosis (ppm)	Medias	Error	Grupo
0	25.750	119.0404	A
1	15.000	119.0404	A
10	21.000	119.0404	A

50	30.000	119.0404	A
100	80.000	119.0404	A

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

Los datos de la tabla 4.24., muestran el valor F de 19,93 y una significancia de 0,0209, indicando que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de igualdad. De acuerdo con Jaya (2017) los datos obtenidos sugieren que alguno de los tratamientos tiene efecto significativo en las concentraciones de sólidos suspendidos en mg/L. De igual forma, Esperilla y Torres (2023) señala que los tratamientos no generan un efecto significativo sobre el parámetro estudiado. De acuerdo con el análisis de Tukey (tabla 4.25) para el parámetro sólidos suspendidos en mg/L, se evidencian que no son significativamente diferentes ($p>0,05$) entre cada uno de los tratamientos.

4.2.6. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE EL COLOR

En el gráfico 4.11., el T1 mostró la concentración de color en el agua residual ha experimentado un rango de fluctuación que varía desde 49 hasta 371. En el T2, la concentración presenta un rango de fluctuación que varía de 91 a 268 y un valor promedio de 171, lo que indica una disminución significativa en la concentración de color en comparación con el valor inicial de 500 unidades. En el T3, los datos presentan un rango de fluctuación entre 95 y 138, con un promedio de 114, indicando una reducción en la concentración de color de 77,2%.

Para finalizar, el T4 presentó una variación de 18 a 302, el promedio de 125,75 aún refleja una disminución en la concentración de color en comparación con el valor inicial de 500 unidades; aunque no tan pronunciada como en los T2 y T3. En definitiva, los resultados de las pruebas de los cuatro tratamientos mostraron que ninguno de ellos estaba dentro de los límites permisibles (20 unidades de Pt-Co).

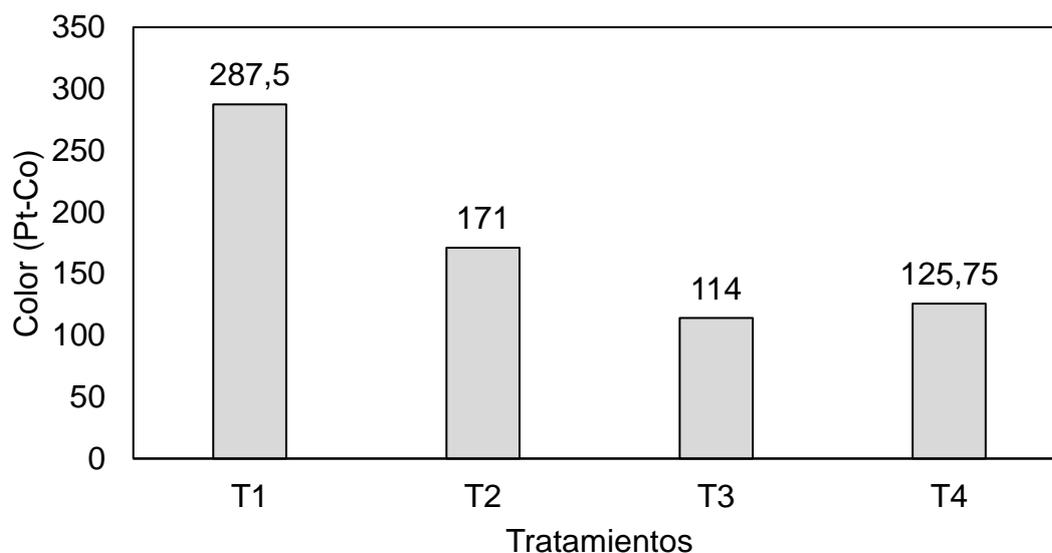


Figura 4.11. Valores finales de color luego de tratamientos de coagulación-floculación.

Para Ávila y Villanueva (2019), los resultados de las pruebas de los tratamientos no mostraron que estaban dentro de los límites permisibles, ya que las variables analizadas influyeron de manera significativa en las variaciones del color. Al igual que, Yanza et al. (2019) manifiesta que los resultados de color no cumplen con los límites máximos permisibles de la legislación colombiana, debido a que superan el valor permitido de 19,4 UPC.

Según el ANOVA, de tabla 4.25., el color tuvo un efecto estadísticamente no significativo ($p > 0,05$).

Tabla 4.25. ANOVA para el parámetro color

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Coagulante	1	47852	47852	4.157	0.064100 (-)
Floculante	1	10973	10973	0.953	0.3482 (-)
Coag:Floc	1	16448	16448	1.429	0.255 (-)
Error	12	138128	11511		
Total	15	213401			

Códigos de significancia: 0 (***) 0.001 (**) 0.01 (*) 0.05 (.) 0.1 (-) 1

Las variables dosis de coagulante y dosis de floculante en función de la respuesta color fueron evaluadas. Según los p-valores, la dosis de coagulante no tuvo efecto estadísticamente significativo ($p > 0,05$) sobre el color, la dosis de floculante tampoco tuvo efecto estadístico significativo ($p > 0,05$). Asimismo, con la interacción de los dos factores de estudio.

Este hallazgo es relevante, ya que, propone que los factores evaluados pueden influir de manera significativa en el resultado esperado (Escandón y Cáceres, 2022).

Tabla 4.26. Prueba Tukey para color

Factor	Dosis (ppm)	Medias	Error	Grupo
Coagulante	1000	119.8750	11511	A
	100	229.25		A
Floculante	5	200.75	11511	A
	20	148.375		A

De acuerdo al análisis de Tukey para el parámetro color (tabla 4.26), no se evidencian diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos. Sin embargo, se concluye que las dosis (ppm) no optimizaron efectos en la reducción del color.

La oxidación avanzada (tabla 4.12), se optó por el mejor tratamiento de la coagulación- floculación. En este caso, el color luego de la coagulación fue de 114 unidades. Y de este valor, luego de la adición de hipoclorito de sodio, ocurrió un descenso de hasta 34 unidades de color para 100 ppm de NaHClO; es decir, bajo esta dosis hubo una reducción de color de 70,2%. En función de la normativa ambiental ecuatoriana (Tabla 12 TULSMA – Descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce), estos parámetros no cumplen con los límites máximos permisibles.

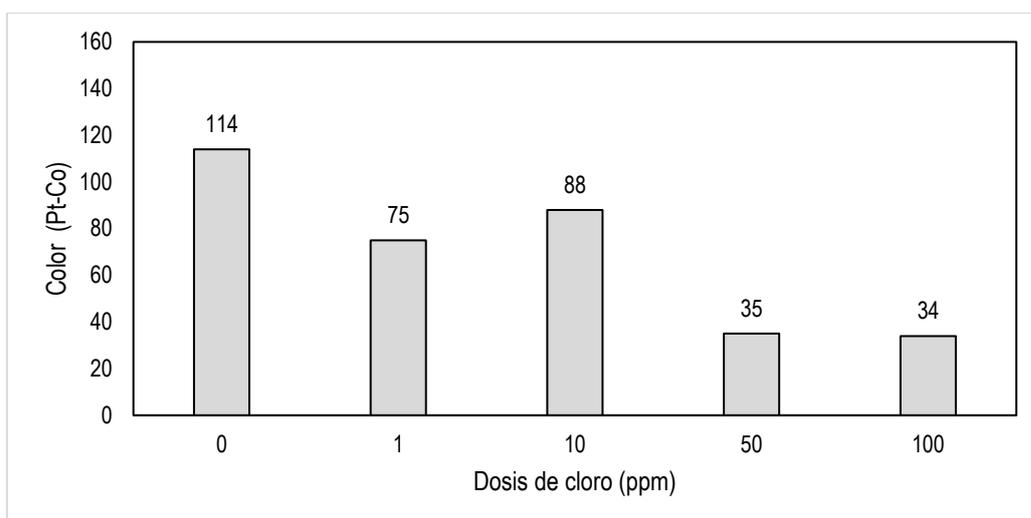


Figura 4.12. Efecto de color con la adición de dosis de cloro (ppm).

Tabla 4.27. ANOVA para color

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Dosis de cloro	1	3420	3420	7.418	0.0723
Error	3	1383	461		
Total	4	4803			

Códigos de significancia: 0 (***) 0.001 (**) 0.01 (*) 0.05 (.) 0.1 (-) 1

Tabla 4.28. Prueba Tukey para color

Dosis (ppm)	Medias	Error	Grupo
0	114.000	461.0298	A
1	75.000	461.0298	A
10	88.000	461.0298	A
50	35.000	461.0298	A
100	34.000	461.0298	A

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

Se observan en los resultados de la tabla 4.27., el valor F de 7,418 y una significancia de 0,0723, se muestran que las comparaciones no presentan diferencias significativas menores que 0,05. De acuerdo al análisis de Tukey para el parámetro color (tabla 4.28), no se evidencian diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos.

4.3. PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN AMBIENTAL PARA EL MANEJO DEL AGUA RESIDUAL DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL

4.3.1. INTRODUCCIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN

La propuesta de plan de acción ambiental se lo realiza con la finalidad de brindar una solución sostenible en el manejo del agua residual del hato porcino, contribuyendo de esta manera con el cumplimiento de la normativa ambiental vigente y los requerimientos socioeconómicos del lugar. Asimismo, mediante esta propuesta se busca fortalecer el desarrollo de las actividades generadas en el hato desde un enfoque ambiental y la protección de los recursos naturales.

4.3.2. OBJETIVOS DEL PLAN DE ACCIÓN

4.3.2.1. OBJETIVO GENERAL

Brindar una solución sostenible para el manejo eficiente del agua residual generadas en las actividades productivas del hato porcino de la ESPAM MFL.

4.3.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fortalecer de manera eficaz la gestión ambiental en el hato porcino de la ESPAM MFL.
- Elaborar alternativas para la prevención, control y/o mitigación de la contaminación ambiental generado por las actividades del hato porcino.
- Monitorear la calidad del agua residual del hato porcino ante de las descargas a los efluentes.

Los objetivos propuestos por desarrollar se concretan en tres ejes estratégicos de intervención: político, educación ambiental y técnico-científico (figura 4.6).

Figura 4.13. Relación entre problemas, objetivos, competencias y ejes de intervención



4.3.3. EJES ESTRATÉGICOS DE INTERVENCIÓN

Las actividades previstas en este eje están orientadas al fortalecimiento de la gestión ambiental del personal encargado del hato porcino, así como también, a docentes y estudiantes.

Tabla 4.29. Planificación en el eje político

Actividades	Metas	Indicadores	Medios de verificación	Tiempo	Fuentes de financiamiento	Responsable	Rubro
Competencia por desarrollar:							
Establecer mecanismos de comunicación, formulación de estrategias y políticas.							
Objetivo específico 1:							
Fortalecer de manera eficaz la gestión ambiental en el hato porcino de la ESPAM MFL.							
Fortalecer la comunicación entre las autoridades de la ESPAM y el personal responsable y encargado del hato porcino.	- Conformación del comité	-Comité conformado	- Registros fotográficos	1 año	Recursos de la institución	Autoridades de la ESPAM MFL Técnico responsable y personal encargado del hato porcino	-
Implementar estrategias y	- Revision	Sistema de agua del hato porcino	-Registros fotográficos	6 meses	Recursos de la institución	Técnico responsable y	

medidas que contribuyan al ahorro y uso eficiente del agua en el hato porcino de la ESPAM MFL.	es periódicas del sistema de agua del hato porcino	-Registros de control del agua consumida				personal encargado del hato porcino	200 \$
	- Acondicionamiento y usos de bebederos						50 \$
Asignar recursos técnicos y financieros para gestión ambiental del hato porcino.	Recursos técnicos y financieros	-Porcentaje de recursos financieros -Números de técnicos vinculados en la gestión ambiental	Planillas del personal y presupuesto	1 año	Recursos de la institución	Autoridades de la ESPAM MFL Técnico responsable y personal encargado del hato porcino	500 \$
Total							750 \$

4.3.4. EJE DE EDUCACIÓN AMBIENTAL

Las actividades en este eje buscan mejorar las competencias en sostenibilidad ambiental en el hato porcino de la ESPAM MFL, así como preservar los recursos ambientales en el área de estudio.

Tabla 4.30. Planificación en el eje de educación ambiental

Competencia por desarrollar:

Establecer alternativas ambientales en el hato porcino de la ESPAM MFL.

Objetivo específico 2:

Elaborar alternativas para la prevención, control y/o mitigación de la contaminación ambiental generado por las actividades del hato porcino.

Actividades	Metas	Indicadores	Medios de verificación	Tiempo	Fuentes de financiamiento	Responsable	Rubro
Realizar capacitaciones y talleres al personal del hato porcino sobre el impacto ambiental que generan las actividades del hato porcino	Capacitaciones semestrales Talleres semestrales	Capacitaciones y talleres brindadas	Listado de asistencia a capacitaciones y talleres Registros fotográficos	6 meses	Recursos de la institución	Técnico responsable y personal encargado del hato porcino	200 \$
Aprovechar los excrementos porcinos	Compost elaborado	Fundas de compost elaborados	Números de fundas de compost	Cuando sea necesario	-	Técnico responsable y personal	100 \$

						encargado del hato porcino	
	Control de olores						
Implementar sistemas de tratamientos de aguas residuales	Implementa ción de separadore s sólidos y biodigestor es	Separadores sólidos Biodigestores	Números de separadores sólidos y biodigestores adquiridos	6 meses	Recursos de la institución	Técnico responsable y personal encargado del hato porcino	2000 \$
	Diseño de sistemas manuales						
	Recolecció n del material cortopunza ntes		-Listado de materiales recolectados				
Manejar adecuadamente los desechos peligrosos generados en el hato porcino	Manejo de desechos peligrosos como materiales de medicamen te	Materiales recolectados	-Actas de entregas de materiales a gestores ambientales	6 meses	Recursos de la institución	Técnico responsable y personal encargado del hato porcino	100 \$
Total							2400 \$

4.3.5. EJE TÉCNICO-CIENTÍFICO

Las acciones propuestas en este eje de intervención buscan generar las condiciones óptimas para las descargas del agua residual a los efluentes.

Tabla 4.31. Planificación en el eje técnico-científico

Competencia por desarrollar:							
Prevenir la contaminación de los efluentes por las descargas del agua residual del hato porcino.							
Objetivo específico 3:							
Monitorear la calidad del agua residual del hato porcino ante de las descargas a los efluentes.							
Actividades	Metas	Indicadores	Medios de verificación	Tiempo	Fuentes de financiamiento	Responsable	Rubro
Gestionar y construir un sistema de tratamiento de agua residual	Sistema de tratamiento	100% de obra culminada	Informes de supervisión	1 año	Recursos de la institución	Técnico responsable y personal encargado del hato porcino	3000 \$

proveniente del hato porcino		Cumplimiento de 100% de la normativa ambiental vigente	Donaciones				
Aplicar tratamientos fisicoquímicos y biológicos al agua residual del hato porcino	Cumplimiento de los límites máximos permisibles del TULSMA	Números de tratamientos realizados	Reporte de la calidad del agua	Cuando sea necesario	Recursos de la institución	Técnico responsable y personal encargado del hato porcino	500 \$
Monitorear la descarga del agua residual	Cumplimiento de los límites máximos permisibles del TULSMA	Cumplimiento mensual del 100% de parámetros exigidos por la norma	Reporte de la calidad del agua	Mensual	Recursos de la institución	Técnico responsable y personal encargado del hato porcino	500 \$
Total							4000 \$

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La caracterización de los parámetros del agua residual del hato porcino, antes de la aplicación de los tratamientos demostraron que los valores de pH y sólidos suspendidos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles del anexo 1, tabla 12 del TULSMA. Sin embargo, en la aplicación del proceso de oxidación avanzada con cloro se determinó que los valores de pH se incrementaron superando los rangos permitidos, no obstante, se disminuyeron la turbidez y color por encima del 90% indicando que la dosis de cloro sí es eficiente para mejorar la calidad del agua residual, a excepción del pH.
- En la etapa de coagulación-floculación, todos los tratamientos con cloruro férrico y PAM lograron valores de pH entre 6 y 9, cumpliendo con la normativa ambiental. El tratamiento T3, con 1000 ppm de cloruro férrico y 5 ppm de PAM, fue el más eficaz en la reducción de turbidez, color, sólidos suspendidos y conductividad eléctrica. En la etapa de oxidación, la adición de 1 ppm de hipoclorito de sodio redujo la turbidez en un 48,5%, los sólidos suspendidos en un 78,8% y el color en un 34,2%, aunque el pH se elevó a niveles alcalinos cercanos a 12. En tales términos, se determinaron las condiciones para cada tratamiento por medio de la coagulación-floculación con cloruro férrico y la oxidación avanzada con hipoclorito de sodio. El proceso de coagulación permitió clarificar el agua a rangos permitidos, pero se evidenció coloración, la cual fue mejorada aplicando el proceso de oxidación avanzada con la adición de cloro.
- La finalidad de la propuesta del plan de acción ambiental es brindar una solución sostenible al manejo del agua residual proveniente de las actividades del hato porcino de la ESPAM MFL para fortalecer el desarrollo local sostenido de esta unidad productiva, a través de medidas ambientales enfocadas a protección y preservación de los recursos naturales.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar otros procesos de oxidación avanzada como el uso de ozono, ultravioleta, peróxido de hidrógeno y reactivos químicos, que tendrán otros efectos en la remoción de contaminantes con la finalidad de obtener pH entre 6 y 9 en el agua residual.
- Para próximas investigaciones, se sugiere realizar tratamientos con menos dosis de cloro para lograr niveles de pH acorde a lo indicado por el anexo 1, tabla 12 del TULSMA. Asimismo, se recomienda utilizar otros coagulantes como el aluminio.
- Se recomienda el fomento en la continuidad de este tipo de investigaciones, que permiten conocer las diferentes formas de contaminación de los recursos naturales y el modo en que estas pueden ser prevenidas o tratadas en pro del cuidado ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta , L. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación - floculación. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 40(2), 10 - 17. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49630405022.pdf>
- Acosta, J. (2023). Evaluación de las macrófitas Schoenoplectus californicus Y Typha latifolia en la depuración de aguas residuales. Obtenido de Universidad Técnica del Norte: <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14990/2/03%20RNR%20470%20Tesis.pdf>
- Alcedo, A., Bravo, J., Casrejo, K., Herrera, G., Sánchez, M., Valencia, T., y Vallester, E. (2020). Evaluación de la eficiencia del coagulante SuperFloc SD 2080 frente al cloruro férrico en procesos de clarificación de agua. Revista UTP, 6(2), 67 - 71. Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/2898/3610>
- Álvarez, L., García, R., Ulloa, R., Arellano, M., y García, A. (2019). Potencial biotecnológico para la valorización de residuos generados en granjas porcinas y cultivos de trigo. Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento, 7(21), 1 - 21. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/edsc/v7n21/2007-8064-edsc-7-21-1.pdf>
- Arias, A., Hernández, J., Castro, A., y Sánchez, N. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la M. oleífera como coagulante natural. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 1, 29-39. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612017000300004&script=sci_abstract&tIng=es
- Arias, S., Betancur, F., Gómez, G., Salazar, J., y Hernández, M. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas

residuales porcinas. Informador Técnico, 74, 12-22.
doi:<https://doi.org/10.23850/22565035.5>

Ávila, J., y Villanueva, M. (2019). Análisis de calidad del agua (turbiedad y color) de un sistema de filtración de flujo ascendente construido con materiales granulares para bajantes de agua lluvia. Obtenido de Universidad Católica de Colombia.

Bazán, E. (2022). Evaluación de remoción de la materia orgánica con Pistia stratiotes "Repollo de aga" de las aguas residuales porcinas de la agropecuaria Lock, Distrito de Chancay, provincia de Huaral - 2020. Obtenido de Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión: <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/6058/EMPERSON%20FALD%c3%8d%20BAZ%c3%81N%20ESPINOZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Boyd, C. (2017). Conductividad eléctrica del agua. Obtenido de <https://www.globalseafood.org/>

Cárdenas, M., Espinosa, S., y Cárdenas, M. (2018). Determinación de parámetros del agua residual de una granja porcina en el Municipio Torbes, Táchira. Revista Científica UNET, 29(2), 161-172.

Cárdenas, M., Espinosa, S., y Cárdenas, M. (2018). Determinación de parámetros del agua residual de una granja porcina en el municipio Torbes, Táchira. Revista científica UNET, 29(2), 161-172. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/334098281_determinacion_de_parametros_del_agua_residual_de_una_granja_porcina_en_el_municipio_torbes_tachira_-_determination_of_parameters_of_wastewater_in_a_pig_farm_located_in_the_municipal_torbes_tachira

Carrasquero, S., Martínez, M., Castro, M., López, Y., Díaz, A., y Colina, G. (2019). Remoción de turbidez usando semillas de Tamarindus indica como coagulante en la potabilización de aguas. Bases de la Ciencia, 4(1), 19-44. Obtenido de

<https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/1424/1826>

Castillo, O. (2021). Evaluación de sistema de tratamiento de efluentes generados de una granja porcina con aireación y microorganismos activos en la comuna Zapotal, provincia de Santa Elena. Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6395/1/UPSE-TIA-2021-0101.pdf>

Cervantes, F., Saldívar, J., y Yescas, J. (2007). Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3(1), 3-12. Obtenido de <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v3-n1-1-estrategias-para-el-aprovechamiento-de-desechos.pdf>

Chibinda, C., Arada, M., y Pérez, N. (2017). Caracterización por métodos físico-químicos y evaluación del impacto cuantitativo de las aguas del Pozo la Calera. *Revista Cubana de Química*, 29(2).

Cornwell, D., Roth, D., y Brown, A. (2010). *Minimizing water treatment residual discharges to surface water*. Denver: Water Research Foundation.

Cortez, L., y Neill, D. (2017). Procesos y fundamentos de la investigación científica. Obtenido de Universidad Técnica de Machala: <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12498>

Cruz, O. (2021). Diagrama causa-efecto de granjas porcinas. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/413685797/Diagrama-Causa-efecto-de-Granjas-Porcinas>

Demera, C., y Pacheco, A. (2015). Análisis de la utilización de materiales alternativos en la remoción de sólidos totales presentes en el agua cruda. Obtenido de Escuela Superior Politécnica del Litoral: <https://www.dspace.espol.edu.ec/>

Díaz, L. (2011). *La Observación*. Obtenido de <http://www.psicologia.unam.mx/documentos/pdf/publicaciones/>

- Devi, Parmila, and Ajay K. Dalai. "Implications of Breakpoint Chlorination on Chloramines Decay and Disinfection By-Products Formation in Brine Solution." *Desalination* 504 (May 15, 2021): 114961. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.114961>. Escandón, C., y Cáceres, M. (2022). Análisis de la calidad del agua mediante parámetros físicos químicos y macro invertebrados bentónicos, presentes en la microcuenca del río San Francisco-Gualaceo. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana SEDE Cuenca: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21649/1/UPS-CT009509.pdf>
- Esperilla, A., y Torres, J. (2023). Técnica de microcosmos para el tratamiento de agua residual utilizando lodo porcino a nivel de laboratorio 2023. Obtenido de Universidad Cesar Vallejo: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/131278/Esperilla_VAJ-Torres_QJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Galindo, F., Salcedo, M., Guadalupe, D., García, J., y Vásquez, C. (2020). Caracterización de aguas residuales tratadas de la comarca lagunera y su viabilidad en el riego agrícola. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 189-201. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v11n1/2007-0934-remexca-11-01-189.pdf>
- García, S. (2019). Optimización a escala de laboratorio del sistema de tratamiento de agua residual de una industria papelera. Obtenido de Universidad Autónoma de Occidente.
- García, S., Arguello, A., y Parra, R. (2019). Factores que influyen en el pH del agua mediante la aplicación de modelos de regresión lineal. *INNOVA Research Journal*, 59-71.
- García, Z. (2022). Efecto del tratamiento contingente de coliformes termotolerantes en efluente de PTAR del Centro Poblado Huamanmarca - Huayucachi, Huancayo 2021. Obtenido de Universidad Continental: <https://repositorio.continental.edu.pe/>

- Garzón, M., y Buelna, G. (2014). Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(1). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000100006
- Giácoman, G., Aragón, C., Ponce, C., Hernández, E., y Quintal, C. (2019). Degradación de ácidos grasos de excretas porcinas mediante digestión anaerobia considerando la influencia del contenido de humedad. Obtenido de Universidad Autónoma de Yucatán, México: <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/477-Mexico-oral.pdf>
- Gómez, E., Fernando, D., Aponte, G., y Betancourt, L. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA*, 81(184), 158 - 163. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49630405022.pdf>
- Guachamin, S. (2021). Estudio de la influencia de las fuentes antropogénicas sobre la calidad del agua de la cuenca media y baja del río Ambato. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32090/1/BQ%20247.pdf>
- INEN 2169. (2013). Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. Obtenido de INEN: <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/n-te-inen-2169-agua.-calidad-del-agua.-muestreo.-manejo-y-conservaci%c3%93n-de-muestras.pdf?x42051>
- INEN 2176. (2013). Agua. Calidad del agua Muestreo Técnicas de muestreo . Obtenido de INEN: <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-T%C3%89CNICAS-DE-MUESTREO.pdf?x42051>
- Intriago , B., y Vergara, W. (2024). Electrocoagulación para tratamiento de aguas residuales en el hato porcino de la ESPAM MFL. Obtenido de ESPAM MFL: https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/2346/1/TIC_IA73D.pdf

- Isea, D., Vargas, L., Durán, J., Delgado, J., Troconis, D., Vera, J., y Villalobos, E. (2017). Remoción de materia orgánica en aguas residuales de industria porcina mediante electrocoagulación. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 51(2), 80 - 96. Obtenido de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/23299>
- Jaén , M., Esteve, P., y Baños, I. (2018). Problemáticas ambientales en las que confluyen ciclos biogeoquímicos. *Ápice: Revista de Educación Científica*, 2(1). doi:<https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.1.3162>
- Jaya, F. (2017). Estudio de los sólidos suspendidos en el agua del río Tabacay y su vinculación con la cobertura vegetal y usos del suelo en la microcuenca. Obtenido de Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28542>
- Jibaja, D. (2021). Diseño automatizado de un módulo de tratamientos de agua para el desarrollo de prácticas en el “Laboratorio de Procesos Industriales – USAT”. Obtenido de Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo: <http://hdl.handle.net/20.500.12423/4142>
- Jin, Jing, Mohamed Gamal El-Din, and James R. Bolton. “Assessment of the UV/Chlorine Process as an Advanced Oxidation Process.” *Water Research* 45, no. 4 (February 1, 2011): 1890–96. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.12.008>.
- Landi, M. (2018). Evaluación técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales de una industria láctea. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19553/4/CD-8950.pdf>
- Lodh, B., Mukherjee, J., Sharma, R., Mahata, N., Shah, M., Mandal, S., y Bhunia, B. (2023). Advanced oxidation process for the treatment of industrial wastewater: A review on strategies, mechanisms, bottlenecks and prospects. *Chemosphere*, 345. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140473>
- López, A. (2021). Impacto ambiental de la producción porcina en el mundo. Obtenido de Universidad Nacional de Piura:

<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/3122/ZOO-T-LOP-EST-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

López, M., Castellanos, O., Lango, F., Castañeda, M., y Montoya, J. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Revista Enfoque UTE*, 12(4), 76-87. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5722/572268461005/html/>

Kim, H., S. Kwon, S. Han, M. Yu, J. Kim, S. Gong, and M.F. Colosimo. "New ORP/pH Based Control Strategy for Chlorination and Dechlorination of Wastewater: Pilot Scale Application." *Water Science and Technology* 53, no. 6 (March 1, 2006): 145–51.

<https://doi.org/10.2166/wst.2006.188>. Maisonnave, R., Millares, P., y Lamelas, K. (2019). Buenas prácticas de manejo y utilización de efluentes porcinos. Obtenido de Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación:
https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/porcinos/informacion_interes/_archivos//000000_Buenas%20Pr%C3%A1cticas%20de%20Manejo%20y%20Utilizaci%C3%B3n%20de%20Efluentes%20Porcinos.pdf

Marín, T., y Arriojas, D. (2020). Remoción de turbidez de agua mediante filtración utilizando cáscara de coco (Cocos nucífera) a nivel de laboratorio. *Revista ION*, 33(2), 99-110. doi: <https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020008>

Martínez, L. (2020). Análisis del manejo de efluentes porcinos en Ecuador, su biodigestión y gestión ambiental sustentable. Obtenido de Universidad Central del Ecuador:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/22368/1/T-UCE-0012-FIG-030-P.pdf>

Martínez, M., y Osorio, A. (2018). Validación de un método para el análisis de color real en agua. *Revista de la facultad de Ciencias*, 7(1), 1. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 7(1). Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/115/115589011/html/index.html>

Martínez, M., Mendoza, J., Medrano, B., Gómez, L., y Zafra, C. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en

- una planta potabilizadora municipal. *UIS Ingeniería*, 19(1), 15-24. Obtenido de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/9929>
- Medina, K. (2018). Aplicación de polímeros naturales en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Obtenido de Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15053/1/T-UCE-0012-066-2018.pdf>
- Mendoza, N., y Santana, F. (2021). Evaluación de la remoción DQO y tensoactivos usando un biopolímero de cáscara de plátano como floculante previo a un tratamiento anaerobio. Obtenido de Universidad Central del Ecuador: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19933/1/UPS%20-%20TTS307.pdf>
- Mocha, J., y Moreira, F. (2021). Filtro gravitatorio con piedra pómez molida para el tratamiento primario de aguas residuales porcinas. Obtenido de ESPAM MFL: <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1445/1/TTMA32D.pdf>
- Mora, D., Portugués, C., y Hernández, M. (2015). Diferencias de dureza del agua y las tasas de longevidad en la Península de Nicoya y los otros distritos de Guanacaste Cartago. *Revista Tecnología en Marcha*, 3-14.
- Narváez, J. (2020). Uso de humedales artificiales para el tratamiento de efluentes de ganado porcino: Revisión de Literatura. Obtenido de Universidad Zamorano: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6772/1/IAD-2020-T026.pdf>
- Neciosup, A., Valderrama, I., y Nole, M. (2019). Influencia del peso y tiempo de agitación de coagulantes naturales en la remoción de turbiedad del agua del río Pollo-Otuzco. *Investigación Estadística*, 2(1), 12-19.
- Nieto, R., y Huamán, J. (2019). Optimización de los parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos. Obtenido de

Universidad Nacional del Callao:
<https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4495/RUBI%20NIETO%20UGARTE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ñahui, D. (2023). Análisis de la calidad de agua para el consumo humano de los centros poblados del distrito de Yauli, Huancavelica – 2023. Obtenido de Universidad Continental:
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13303>

Oumaima, E., Kessler, M., Terrero, M., Fechtali, T., Faz, A., y Acosta, J. (2021). Turbidity and Chemical Oxygen Demand Reduction from Pig Slurry through a Coagulation Flocculation Process. *Agronomy*, 11(11). doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy11112158>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO]. (2022). FAO: datos de la producción mundial de carne de cerdo en 2021. Obtenido de FAO: https://www.3tres3.com/latam/ultima-hora/fao-datos-de-la-produccion-mundial-de-carne-de-cerdo-en-2021_13605/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20mundial%20de%20carne%20de%20cerdo%20se%20pronostica%20en,94%25%20de%20la%20expansi%C3%B3n%20mundial.

Orrala, K. (2021). Manejo de excretas de origen porcino en la comuna San Pedro, parroquia Manglar Alto provincia de Santa Elena. Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena: . <https://repositorio.upse.edu.ec/>

Parra, E. (2021). Proyección de un sistema de tratamiento biológico de efluentes derivados de una granja porcina como una alternativa viable para el mejoramiento del purín con fines agronómicos en la comuna Zapotal provincia de Santa Elena. Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena:
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6426/1/UPSE-TIA-2021-0114.pdf>

Parra, W., y Zambrano, R. (2021). Evaluación del potencial de producción de biogás de las aguas residuales de una planta porcina mediante digestión anaeróbica. Obtenido de Universidad Agraria del Ecuador:

<http://181.198.35.98/Archivos/PARRA%20SALINAS%20WILSON%20MARCELO.pdf>

- Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(3). doi:<http://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Pié, J. (2017). Impacto ambiental en producción porcina y cómo reducirlo. Obtenido de <https://www.veterinariadigital.com/articulos/impacto-ambiental-en-produccion-porcina-y-como-reducirlo/>
- Pinaffi, C., Scandelai, A., y Santos, C. (2020). Seasonal performance of aquatic macrophytes in improving physicochemical parameters of swine wastewater. *Brazilian Journal of Biology*, 80(4), 897-906. doi:<https://doi.org/10.1590/1519-6984.225502>
- Prieto, B. (2017). El uso de los métodos deductivo e inductivo para aumentar la eficiencia del procesamiento de adquisición de evidencias digitales. *Cuadernos de Contabilidad*, 18(46). Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/cuco/v18n46/0123-1472-cuco-18-46-00056.pdf>
- Qian, M., Yang, L., Chen, X., Li, K., Xue, W., Li, Y., y Shen, G. (2020). The treatment of veterinary antibiotics in swine wastewater by biodegradation and Fenton-like oxidation. *Science of The Total Environment*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136299>
- Quintero, L. (2017). Evaluación de la eficiencia de coagulantes naturales en el tratamiento de las aguas residuales del café . Obtenido de Universidad de Manizales.
- Ramírez, H., y Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa. *Facultas de Ciencias Básicas*, 11(2). Obtenido de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/04/document-1.pdf>
- Reyes, M. (2019). Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas. Obtenido de Instituto Politécnico Nacional: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/23350/1/Tesis%20Gpe%20Reyes%20.pdf>

- Rodríguez, L., Ordoñez, K., y Quizphe, P. (2019). Estrategias para mitigar el impacto ambiental generado por la porcicultura hacia la contribución del desarrollo sostenible: Sitio Banasur, cantón Pasaje. Polo del Conocimiento, 1. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/rt/captureCite/1043/1342>
- Rojas, E., Fortich, M., y Pavajeau, H. (2014). Determinación del origen y la composición de las aguas termales ubicadas en los municipios de Becerril (Cesar) y Ciénaga (Magdalena), Colombia. Obtenido de Universidad Santiago de Cali: <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/759/DETERM~1.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- Rojas, J., y Vallejo, R. (2016). Las actividades ganaderas en Jalisco, México: cumplimiento ambiental de tratamiento de residuos sólidos y líquidos presentado por el sector productivo ante las instituciones ambientales. Mexicana de Agronegocios, 22(39), 423-440. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/141/14149188006/html/>
- Ruiz, T. (2017). Análisis comparativo de índices de eutrofización en lagunas costeras del estado de sonora, México. Obtenido de Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste de Baja California: <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/574>
- Sandoval, M., Nani, G., Sandoval, L., Rivera, S., Fernández, G., y Alvarado, A. (2020). Evaluación del desempeño de humedales construidos verticales parcialmente saturados para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 23(38), 1 - 12. Obtenido de <https://www.revista.ccba.uady.mx/>
- Sarango, D. (2016). Diseño e implementación de un tratamiento físico biológico demostrativo para la depuración de las aguas residuales provenientes de la porcicultura, en la finca de la familia Sarango Condolo, ubicada en el barrio Santa Bárbara, cantón Centinela del Cóndor. Obtenido de Universidad Nacional de Loja: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17597/1/%E2%80%>

9CDISE%C3%91O%20E%20IMPLEMENTACI%C3%93N%20DE%20UN
%20TRATAMIENTO%20F%C3%8DSICO%20BIOL%C3%93GICO%20D
EMOSTRATIVO....pdf

Saravanan, A., Deivayanai, V., Senthil, P., Rangasamy, G., Hemavathy, R., Harshana, T., y Alagumalai, K. (2022). A detailed review on advanced oxidation process in treatment of wastewater: Mechanism, challenges and future outlook. *Chemosphere*, 308. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136524>

Segarra, E., Salinas, L., y López, E. (2018). Calidad del canal de cerdos en la industria porcina de Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 2(2), 118-131. Obtenido de <http://www.revistaecuadorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/view/84>

Sistema de Información Pública Agropecuaria [SIPA]. (2022). Carne de cerdo. . Obtenido de SIPA: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/inclusion-financiera/credito-agropecuario>

Solíz, Y., Zúñiga, L., y Mora, D. (2017). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 35-46.

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ambiente [TULSMA]. (2015). Libro VI. Anexo 1. Edición Especial N° 387 - Registro oficial. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo dulce. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

Toainga, A. (2016). Diseño de un plan de manejo ambiental en la granja porcina "El Rosario" en la provincia de Tungurahua. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/5374>

Torres, P., Amezquita, C., Agudelo, K., Ortiz, N., y Martínez, D. (2018).). Evaluation of turbidity and dissolved organic matter removal through double filtration technology with activated carbon. *Revista Dyna*, 205, 234 - 239.

- United States Environmental Protection Agency [EPA]. (2021). Contaminación por nutrientes. Obtenido de EPA: <https://www.epa.gov/nutrientpollution/issue>
- Valderrama, A., Hernández, C., Ponce, S., y Manrique, P. (2017). Uso del diseño en los ensayos de liberación controlada del ácido 1,3 indolacético cargado en matrices de quitosano. *Sociedad Química del Perú*, 13(26), 17-26. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v83n3/a11v83n3.pdf>
- Vásquez, T. (2023). Diseño de un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas residuales porcinas en la finca Linda Vista en Santa Cruz de Turrialba. Obtenido de Universidad de Costa Rica: <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2023/03/TFG-TatianaVasquezAlvarado.pdf>
- Velasco, F., Molano, A., y Pramparo, L. (2019). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas para la remoción de carga orgánica en industria de bebidas no alcohólicas. *Revista Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(26), 17 - 26. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-83672019000200017&script=sci_abstract&tlng=es
- Verdugo, M. (2021). Estudio cinético de la degradación anaerobia de aguas residuales de la granja porcina Cuevas G.S.P.R. de R.I. de Anoyo, Sonora.
- Viswanath, N., Dileep, P., Ammad, K., y Usha, E. (2015). Statistical Analysis of Quality of Water in Various Water Shed for Kozhikode City, Kerala, India. *Aquatic Procedia*, 1078-1085.
- Weiss, S., Christensen, M., y Mads, K. (2021). Mechanisms behind pH changes during electrocoagulation. Aalborg Universitet, https://vbn.aau.dk/ws/files/483984134/Mechanisms_behind_pH_changes_during_electrocoagulation.pdf.
- Yanza, J., Rivera, R., Gómez, L., y Zafra, C. (2019). Evaluación de FeCl₃ y PAC para la potabilización de agua con alto contenido de color y baja turbiedad. *Tecnológicas*, 22(45), 9-21. doi:<https://doi.org/10.22430/22565337.1085>

Zhang, Xinran, Weiguang Li, Ernest R. Blatchley, Xiaoju Wang, and Pengfei Ren. "UV/Chlorine Process for Ammonia Removal and Disinfection by-Product Reduction: Comparison with Chlorination." *Water Research* 68 (January 1, 2015): 804–11. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.10.044>.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados del análisis del laboratorio de los tratamientos

Tratamientos	pH	Turbidez	Conductividad eléctrica	Sólidos disueltos	Sólidos suspendidos	Promedio	Color
T1	8,07	31,6	2285	1221	7	31	49
X ₂	7,55	32,25	3418	1183	42		361
X ₃	8,33	45,55	1410	1145	44		369
X ₄	7,89	37,21	2290	1074			371
T2	8,35	59	1450	733	54	64	159
X ₂	8,4	52	1390	697	51		91
X ₃	8,43	55	1298	678	87		268
X ₄	7,56	38,87	3335	1689			166
T3	9,09	4,85	1375	690	14	26	101
X ₂	8,54	5,01	1364	684			138
X ₃	9,45	5,9	1341	671	44		95
X ₄	9,61	5,26	1324	664	19		122
T4	8,5	14,7	1463	732	91	57	302
X ₂	7,53	17,74	3304	1664			18
X ₃	7,72	15,1	3382	1705	3		86
X ₄	7,54	13,74	3415	1715	7		97

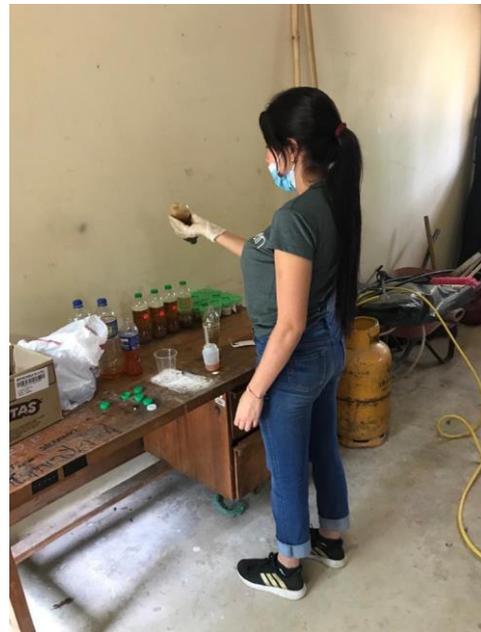
Tratamientos	Parámetros					
	pH	Turbidez	Conductividad eléctrica	Sólidos disueltos	Sólidos suspendidos	Color
T1	7,96	36,65	2350,1	1155,75	23,25	287,5
T2	8,18	51,21	1868,25	949,25	48	171
T3	9,17	5,25	1351	677,25	19,25	114
T4	7,82	15,32	2891	1454	42,75	125,75

Anexo 2. Registro fotográfico

Anexo 2-A. Toma de muestras en el hato porcino



Anexo 2-B. Envasado de las muestras recolectadas



Anexo 2-C. Ejecución de análisis de laboratorio

Anexo 2-D. Socialización del Plan de Acción