



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE OXIDACIÓN  
AVANZADA MEDIANTE CATALIZADORES MINERALES  
EN EL AGUA DEL ESTERO SALADO TRAMO VIERNES  
SANTO FRAGATA.  
DISEÑO EXPERIMENTAL**

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

**AUTOR  
ASPIAZU SALINAS EDISON ANTONIO**

**TUTOR  
ING. QUIM. MUÑOZ NARANJO DIEGO**

**GUAYAQUIL- ECUADOR**

**2020**



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

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

Yo, MUÑOZ NARANJO DIEGO IVAN, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: EVALUACIÓN DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA MEDIANTE CATALIZADORES MINERALES EN EL AGUA DEL ESTERO SALADO TRAMO VIERNES SANTO FRAGATA.”, realizado por el estudiante ASPIAZU SALINAS EDISON ANTONIO; con cédula de identidad N° 0930794383 de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Firma del Tutor

Guayaquil, 7 de diciembre del 2020



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA MEDIANTE CATALIZADORES MINERALES EN EL AGUA DEL ESTERO SALADO TRAMO VIERNES SANTO FRAGATA.", realizado por el estudiante ASPIAZU SALINAS EDISON ANTONIO, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

---

**ARÍZAGA GAMBOA RAÚL, M.Sc.**  
**PRESIDENTE**

---

**CRESPO LEON KARLA, M.Sc.**  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

**TOBAR ANDRADE JEAN, M.Sc.**  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

**MUÑOZ NARANJO DIEGO, M.Sc.**  
**EXAMINADOR SUPLENTE**

Guayaquil, 7 de diciembre del 2020

### **Dedicatoria**

A mis padres por ser el pilar fundamental en toda esta etapa; su apoyo incondicional tanto en la parte académica como en el diario vivir, sus consejos y enseñanzas, además de los valores que me inculcaron y la motivación continua me ayudaron a superar cada obstáculo que se me presentó a través del tiempo.

### **Agradecimiento**

En primer lugar agradezco a Dios; luego a mis padres, hermanas, por su apoyo, consejos, motivación y por estar siempre que los he necesitado sin ellos nada de esto sería posible. Gracias a mi tutor de tesis Ing. Diego Muñoz Naranjo por su orientación, paciencia, por sus conocimientos brindados y por el tiempo que me ha dedicado en la elaboración de este proyecto, también gracias a la Universidad Agraria del Ecuador por la formación académica y también a todos mis amigos que siempre me motivaron a culminar esta etapa. Gracias a todos.

### **Autorización de Autoría Intelectual**

Yo ASPIAZU SALINAS EDISON ANTONIO, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “EVALUACIÓN DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA MEDIANTE CATALIZADORES MINERALES EN EL AGUA DEL ESTERO SALADO TRAMO VIERNES SANTO FRAGATA.” para optar el título de INGENIERO AMBIENTAL, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

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

Guayaquil, Diciembre 7 del 2020

FIRMAR

ASPIAZU SALINAS EDISON ANTONIO

**C.I. 0930794383**

## Índice general

PORTADA.....	1
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	3
Dedicatoria .....	4
Agradecimiento .....	5
Autorización de Autoría Intelectual.....	6
Índice general.....	7
Índice de tablas .....	11
Índice de figuras .....	12
Resumen.....	14
Abstract.....	15
1. Introducción.....	16
1.1 Antecedentes del problema.....	16
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	18
1.2.1 Planteamiento del problema.....	18
1.2.2 Formulación del problema.....	19
1.3 Justificación de la investigación .....	19
1.4 Delimitación de la investigación .....	19
1.5 Objetivo general .....	20
1.6 Objetivos específicos .....	20
1.7 Hipótesis.....	20
2. Marco teórico.....	21
2.1 Estado del arte .....	21
2.2 Bases teóricas.....	23

2.2.1 Tipos de cuerpos de aguas.....	23
2.2.1.1 Agua.....	23
2.2.1.2 Aguas marinas.....	23
2.2.1.3 Estuario.....	23
2.2.1.4 Aguas recreativas.....	23
2.2.2 Definición parámetros de medición.....	24
2.2.2.1 Coloides.....	24
2.2.2.2 Turbidez.....	24
2.2.2.3 Sólidos disueltos.....	24
2.2.2.4 Coliformes totales.....	24
2.2.3 Tratamientos no convencionales.....	25
2.2.3.1 Proceso de oxidación avanzada (POAs).....	25
2.2.3.1.1 Fundamento químico.....	26
2.2.3.1.2 Medios oxidantes.....	26
2.2.3.1.3 Potencial de oxidación de distintas especies químicas.....	27
2.2.3.1.4 Clasificación de los POAS.....	28
2.2.3.2 Carbón activado.....	29
2.2.3.2.1 Carbón Activado como catalizador de un POA.....	29
2.2.3.3 Zeolita.....	29
2.2.3.3.1 Zeolita como catalizador de un POA.....	30
2.3 Marco legal.....	31
2.3.1 Constitución de la República del Ecuador.....	31
2.3.2 Ley orgánica de recursos hídricos. Usos y aprovechamiento del agua (2014).....	32
1.1.1 Acuerdo Ministerial 061 (2015).....	32



2.3.3 Acuerdo Ministerial 097-A (2015).....	33
3. Materiales y métodos .....	35
3.1 Enfoque de la investigación.....	35
3.1.1 Tipo de investigación.....	35
3.1.2 Diseño de investigación. ....	35
3.2 Metodología.....	35
3.2.1 Variables. ....	35
3.2.1.1 Variable independiente.....	35
3.2.1.2 Variable dependiente.....	36
3.2.2 Tratamientos. ....	36
3.2.3 Diseño experimental. ....	36
3.2.4 Recolección de datos.....	38
3.2.4.1 Recursos. ....	38
3.2.4.2 Métodos y técnicas.....	38
3.2.5 Análisis estadístico.....	44
4. Resultados .....	45
4.1 Determinación de la concentración mínima óptima del proceso de oxidación avanzada utilizando H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y catalizadores minerales .....	45
4.1.1 Resultados de la muestra inicial.....	45
4.1.2 Resultados de los tratamientos por variable. ....	46
4.1.3 Efecto de remoción de los tratamientos por variable. ....	49
4.1.4 Análisis inferencial mediante ANOVA .....	52
4.1.5 Tratamiento más efectivo .....	54
4.2 Caracterización de las condiciones de operación de la laguna recreativa Viernes Santo para la implementación de un proceso de purificación .....	54

4.3 Evaluación de los impactos negativos ambientales en la laguna del estero	
Viernes Santo en Guayaquil.....	56
4.3.1 Consecuencias de un alto nivel de contaminantes.....	56
4.3.2 Determinación del Índice de calidad de agua.....	57
4.3.1 Análisis de impacto ambiental mediante matriz.....	58
5. Discusión.....	59
6. Conclusiones.....	60
7. Recomendaciones.....	61
8. Bibliografía .....	62
9. Anexos .....	69
9.1 Figuras complementarias .....	69

**Índice de tablas**

Tabla 1. Tratamientos del experimento .....	36
Tabla 2. Diseño factorial A*B*C (2*3*3) .....	37
Tabla 3. Modelo Factorial .....	37
Tabla 4. Equipos y materiales .....	38
Tabla 5. Ecuaciones y ponderaciones del ICA .....	41
Tabla 6. Criterios de calidad de agua .....	41
Tabla 7. Criterios para la calificación de impactos en la matriz .....	42
Tabla 8. Análisis de la muestra inicial .....	45
Tabla 9. Análisis de varianza para turbidez.....	52
Tabla 10. Test Tukey de las concentraciones de oxidante para turbidez .....	52
Tabla 11. Análisis de varianza para sólidos disueltos .....	53
Tabla 12 Análisis de varianza para coliformes totales.....	53
Tabla 13. Índice de calidad del agua para la muestra inicial .....	57
Tabla 14. Índice de calidad del agua post-tratamientos .....	57
Tabla 15. Matriz de impacto ambiental.....	58

## Índice de figuras

Figura 1. Resultados de los tratamientos para turbidez .....	46
Figura 2. Resultados de los tratamientos para sólidos disueltos.....	47
Figura 3. Resultados de los tratamientos para coliformes totales .....	48
Figura 4. Efectividad de remoción para turbidez .....	49
Figura 5. Efectividad de remoción para sólidos disueltos.....	50
Figura 6. Efectividad de remoción coliformes totales .....	51
Figura 7. Tratamientos más efectivos por parámetro .....	54
Figura 8. Diagrama de flujo sobre la caracterización de las condiciones de operación de la laguna recreativa Viernes Santo para la implementación de un proceso de purificación .....	55
Figura 9. Comparación de los resultados de turbidez (A) y sólidos disueltos (B) con el límite máximo permisible (LMP). La línea roja indica el valor del LMP. ....	56
Figura 10. Ubicación geográfica del punto de muestreo .....	69
Figura 11. Caracterización de muestras iniciales .....	69
Figura 12. Tratamiento 2 con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 30% de concentración.....	70
Figura 13. Determinación de Sólidos disueltos en muestra inicial.....	70
Figura 14. Determinación de sólidos disueltos en tratamiento 1 con zeolita .....	71
Figura 15. Determinación de sólidos disueltos en tratamiento 3 con zeolita. ....	71
Figura 16. Determinación de coliformes totales en muestra inicial y tratamiento 1. .....	72
Figura 17. Determinación de coliformes totales en muestra inicial.....	72
Figura 18. Tratamiento 3 con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 3% de concentración.....	73
Figura 19. Determinación de sólidos disueltos en tratamiento 3 con zeolita. ....	73
Figura 20. Determinación de sólidos disueltos en prueba con Carbón Activado..	74

Figura 21. Determinación de turbiedad con zeolita en tratamiento 2. ....	74
Figura 22. Determinación de turbiedad con zeolita en tratamiento 3. ....	75
Figura 23. Determinación de coliformes totales en tratamiento 2.....	75
Figura 24. Determinación de coliformes totales en tratamiento 3.....	76
Figura 25. Lectura de coliformes totales en tratamiento 2 con carbón activado...	76

## Resumen

Esta investigación se utilizó catalizadores minerales y peróxido de hidrógeno como oxidante instaurando técnicas no convencionales, para el tratamiento de aguas naturales y demostrar su efectividad. Se evaluó agua del estero salado en el tramo Viernes Santo en la ciudad de Guayaquil, muestreando parámetros como sólidos disueltos, turbidez y coliformes totales comparando sus resultados con la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes, se realizaron 3 tratamientos con % diferentes del oxidante H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, demostrando que los tratamientos con mayor porcentaje de remoción de turbidez fueron, el tratamiento tres (T3), que obtuvo una remoción total del 96% en zeolita y 95% en carbón activado, así mismo el tratamiento que obtuvo un alto porcentaje de remoción en sólidos disueltos el (T1) con un 58% para zeolita y (T2) con 42% en carbón activado, entra tanto los resultados de coliformes totales el porcentaje de efectividad es alto en todos los tratamientos.

Palabras claves: Aguas naturales, catalizadores, oxidante, peróxido, tratamiento,

### **Abstract**

This research used mineral catalysts and hydrogen peroxide as an oxidant, establishing unconventional techniques for the treatment of natural waters and demonstrating their effectiveness. Water from the salty estuary was evaluated in the Good Friday stretch in the city of Guayaquil, sampling parameters such as dissolved solids, turbidity and total coliforms, comparing their results with the environmental quality standard and effluent discharge, 3 treatments were carried out with different% of the oxidant H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, showing that the treatments with the highest percentage of turbidity removal were, treatment three (T3), which obtained a total removal of 96% in zeolite and 95% in activated carbon, likewise the treatment that obtained a high percentage of removal in dissolved solids (T1) with 58% for zeolite and (T2) with 42% in activated carbon, the results of total coliforms enter both, the percentage of effectiveness is high in all treatments.

## 1. Introducción

### 1.1 Antecedentes del problema

Más del 80% de las aguas residuales en los países en vías de desarrollo se descarga sin tratamiento, contaminando ríos, lagos y zonas costeras. La contaminación de aguas en fuentes naturales a nivel mundial se da por la eutrofización de las mismas, la cual se da por la sobrecarga de nutrientes tales como; fosforo y nitrógeno principalmente, los cuales deterioran drásticamente los beneficios del agua. En 1998 indican que aproximadamente el 90% de los biotipos marinos y costeros del mar Báltico estuvieron amenazadas por la pérdida de la calidad de agua debido a la eutrofización, contaminación y demás asentamientos (Unesco, 2017).

En Europa, estudios indican que más de 220 especies ingieren desechos microplásticos en condiciones naturales, los cuales excluyen a mamíferos, aves y tortugas, en un porcentaje mayor al 50% son especies comerciales como: anchoas, mejillones, camarón pardo, las cigalas y otras más, todas especies del atlántico. Frente a una exposición larga de estos microplásticos se comprobó que afectan en forma negativa la fecundidad, supervivencia larvaria y el desarrollo adecuado de las especies que fueron sometidas a estudios (Fikri, 2019).

En Latinoamérica, el uso inapropiado y desmedido de plaguicidas en la agricultura ha causado contaminación y deterioro de las aguas superficiales. Se ha comprobado la presencia de plaguicidas organofosforados, carbamatos, triazinas y piretroides entre otros, en aguas superficiales cercanas a tierras de producción agrícola en Venezuela, Colombia y México. En la mayoría de las muestras analizadas las concentraciones de estos pesticidas sobrepasan los límites



permisibles y normativas establecidas a la interna de cada país, también internacionales como la OMS, US-EPA, UE (Benítez y Miranda, 2013).

Se han encontrado indicios de aplicación de DDT, eldrin, dieldrin y aldrin. Estos son considerados contaminantes persistentes y fueron prohibidos hace más de 20 años. A través de los cuerpos de agua estos contaminantes tóxicos son transportados a lugares lejanos en donde se aplicaron, contaminando ecosistemas y fuentes de agua lo cual podría ocasionar problemas de salud (Benítez y Miranda, 2013).

En Bolivia, se realizaron estudios en fuentes naturales de agua cercanas a campos petrolíferos con la finalidad de evaluar la calidad de agua. Los resultados que arrojaron estos análisis son alarmantes en cuanto a la cantidad de compuestos de hidrocarburos presentes en estas aguas, entre estos se encuentran los HTP (hidrocarburos totales de petróleo), HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) que sobrepasan el límite permitido en la normativa local como en normativas internacionales (González, Esteban, Valcárcel, Hernández, y Gil, 2010).

En la ciudad de Guayaquil se realizó un estudio en el Estero Salado sobre los niveles de metales pesados, Cd y Pb presentes en el mismo. Se tomaron muestras de agua y sedimentos en 2 tramos. Los resultados obtenidos mostraron que en el agua de ambos sitios la cantidad de Cd y Pb se encontraban por encima de los límites permisibles, entre tanto las muestras de sedimentos en el puente portete sobrepasaban la normativa legal vigente, los valores obtenidos de la muestra de sedimento en el manglar se ajustan a dicha normativa (Pernia, et al., 2018).

## **1.2 Planteamiento y formulación del problema**

### **1.2.1 Planteamiento del problema**

El Estero Salado recorre parte de Guayaquil, siendo esta la ciudad más habitada del Ecuador, la cual en los últimos años ha sufrido graves afectaciones de la calidad de sus aguas como consecuencias de las actividades humanas, descarga de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas las cuales son vertidas sin ningún tipo de tratamiento. Como resultado, este brazo de mar se ha convertido en un reservorio de varios contaminantes entre los cuales destacan los metales pesados y compuestos orgánicos (Pernia, et al., 2018).

La degradación que presenta en la actualidad el Estero Salado es uno de los principales problemas que preocupa al país, debido a la cantidad de flora y fauna que alberga. Sobre las características físicas, químicas, biológicas del agua demuestran el alto grado de contaminantes en todos sus ramales, cuyos resultados en la evaluación de metales pesados, presentan niveles altos de metales pesados. Se considera tomar medidas de mitigación del impacto generado por la contaminación con metales pesados en el estero (Peñañiel, Vallejo, y Chalen, 2017).

Las aguas del Estero Salado se caracterizan por tener una elevada turbiedad y color, con un alto contenido de sólidos suspendidos y disueltos (Rodríguez, et al., 2017). El contenido de oxígeno disuelto resulta casi siempre alrededor del punto crítico para la supervivencia de peces y en ciertos puntos del estero las condiciones son anóxicas, además de presentar trazas de hidrocarburos, desechos sólidos, pesticidas y metales pesados (Ureta, 2002). Es por eso que se implementó este estudio de oxidación avanzada para mejorar las condiciones actuales del Estero Viernes Santo de Guayaquil.

### 1.2.2 Formulación del problema

¿Cuáles son las variables que definen un proceso de oxidación avanzada para la remoción de contaminantes en el Estero Viernes Santo de Guayaquil?

### 1.3 Justificación de la investigación

El presente trabajo se enfocó en buscar alternativas más económicas aplicando una tecnología diferente a las convencionales y evitando así algún otro tipo de afectación a las aguas del ramal y a la vez contribuir con la protección del Ambiente minimizando los impactos producidos por la utilización excesiva de compuestos químicos.

Aplicando esta metodología se obtuvo ahorros considerables en la utilización del oxidante, es decir, al llegar a una concentración mínima el gasto incurrido en el oxidante es menor y el proceso más económico, además de otorgar una alternativa de sano esparcimiento para la ciudadanía y que este ramal recupere su uso con fines recreativos ya que se encuentra situado junto a un parque acuático donde anteriormente se practicaban varias actividades recreacionales y deportivas.

### 1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** La parte experimental se llevó a cabo en la laguna que forma parte del ramal del Estero Viernes Santo con las siguientes coordenadas:  
2°14'39.1"S 79°54'34.3"W
- **Tiempo:** El periodo de estudio fue de 3 meses aproximadamente
- **Población:** La Laguna se encuentra ubicada en la parroquia Ximena con una población aproximada de 546.254 mil habitantes, según los datos obtenidos por el Instituto de estadísticas y censos INEC.

### **1.5 Objetivo general**

Evaluar el proceso de oxidación avanzada mediante catalizadores minerales para la disminución de la carga contaminante en el Estero Salado tramo Viernes Santo Fragata en Guayaquil.

### **1.6 Objetivos específicos**

- Determinar la concentración mínima óptima del proceso de oxidación avanzada utilizando  $H_2O_2$  y catalizadores minerales como zeolita y carbón activado.
- Caracterizar las condiciones de operación de la laguna recreativa Viernes Santo para la implementación de un proceso de purificación mediante verificación técnica in-situ.
- Estimar los impactos negativos ambientales que se dan en la laguna del Estero Viernes Santo en Guayaquil, mediante los análisis realizados en el laboratorio de Ingeniería ambiental de la Universidad Agraria del Ecuador.

### **1.7 Hipótesis**

El carbón activado y Zeolita con el uso de  $H_2O_2$  a bajas concentraciones son las variables que definen el proceso de oxidación avanzada en la remoción de contaminantes del Estero Viernes Santo.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Estado del arte

De la Cruz et al.,(2012) Determinaron mecanismos de eliminación de 32 micropoluyentes seleccionados (productos farmacéuticos, inhibidores de corrosión y pesticidas) que fueron encontrados en un efluente proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Lausana (Suiza) con una carga total de COT  $15.9_{\text{ug/L}}$  y micropoluyentes  $29.5_{\text{ug/L}}$ . Se utilizaron diferentes POAs (foto Fenton, Fenton y  $\text{UV}_{254}$ ) se demostró en la reacción foto Fenton que emplea  $\text{UV}_{254}$  es altamente eficiente al pH neutral cumpliendo con los tiempos establecidos y con la eliminación del 97 y 98 % de micropoluyentes.

En Madrid se estudió el papel del mineral ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) en diferentes procesos de POAs (fotocatálisis, peróxido catalítico húmedo oxidación (CWPO) y procesos CWPO- fotoasistidos) se evaluó el fenol como compuesto objetivo, los resultados apoyan el papel como catalizador fotoasistido, en un mayor rango combinándolo con irradiación de luz solar que provoca una reducción de Fe (III) en Fe (II) que se descompone  $\text{H}_2\text{O}_2$  en HO radicales. Se demostró después de 5 corridas consecutivas una reducción de COT mayor a 90 % (Garcia Muñoz, Zazo, Pliego, Bahamonde, y Casas, 2016).

Mediante un estudio realizado en Malasia, se analizó la mejora actual de POAs convencionales que utilizan catalizadores heterogéneos y agentes disipadores de energía para superar las limitaciones de P convencionales. Materiales heterogéneos como FeO, catalizadores minerales a base de zeolita, carbón activado exhiben una alta actividad catalítica en la oxidación de procesos en comparación con catalizadores homogéneos. El uso de catalizadores heterogéneos es favorable porque la mineralización completa de contaminantes

orgánicos secundarios se puede lograr con la separación de los catalizadores y no hay generación de contaminantes secundarios (Buthiyappan, Abdul Aziz, y Ashri Wan Daud, 2016).

En la provincia de El Oro, cantones Zaruma y Portovelo, se realizó un estudio de oxidación avanzada en las PTRAs de las extractoras de oro, las cuales son vertidas directamente con tratamiento deficiente a los ríos Calera y Amarillo. Se analizaron las muestras y se aplicó la reacción de Fenton con el fin de reducir los contaminantes, utilizando  $H_2O_2$  y Fe (III) como catalizador, los resultados obtenidos mostraron que se redujeron de forma significativa los contaminantes como del cianuro al 99 % y la DQO del 94%, también se logró un porcentaje alto en la remoción de metales pesados y sólidos suspendidos con valores superiores al 90 % (Martínez y Román, 2017).

Mediante un estudio realizado en la provincia de Tungurahua, Ecuador se analizaron las muestras de efluentes en la quebrada Chasinato, donde se elevaron los índices de biodegradabilidad aplicando un proceso de oxidación avanzada con la reacción de Fenton modificada, con lo cual se evitó reducir el pH por los grandes costos que este ocasionaría. Las concentraciones óptimas que se utilizaron en este Fenton modificado  $FeSO_4/H_2O_2$  y  $C_6H_8O_7/H_2O_2$  con estas reacciones las cargas en los contaminantes DBO Y DQO se redujeron en 44.4% y 12.4% respectivamente, se concluyó que el sistema de oxidación avanzada de Fenton modificada puede ser aplicada entre el tratamiento físico y biológico, permitiendo alargar la vida útil de los sistemas convencionales de depuración a más de ahorrar gastos en la inversión pública (Sanchez y Garcia, 2018).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Tipos de cuerpos de aguas.**

#### **2.2.1.1 Agua.**

Sustancia líquida, inodora e incolora que ocupa  $\frac{3}{4}$  partes del planeta tierra, está formada por la combinación de 1 molécula de oxígeno y 2 de hidrógeno. Es la iniciadora en la formación de lluvias, fuentes, ríos y mares; es parte fundamental en el desarrollo de todos los organismos presentes en la tierra (Stern, 2008).

#### **2.2.1.2 Aguas marinas.**

Se denominan aguas marinas a las que constituyen los océanos, además cubren las  $\frac{3}{4}$  partes de la superficie terrestre, contiene el 97% de agua del planeta. Su principal característica es su alta salinidad, en sus aguas se han reconocido 200.000 especies marinas y millones sin identificar (Onu, 2015)

#### **2.2.1.3 Estuario.**

Un estuario es un cuerpo de agua que tiene libre circulación con el océano, es una mezcla de agua de origen fluvial con el agua salina (Cabrera, 1975)

#### **2.2.1.4 Aguas recreativas.**

Los ambientes de agua recreativa costera y de agua dulce, se definen para los fines de estas pautas; como cualquier área costera, estuarina o de agua dulce donde cualquier tipo de uso recreativo del agua es realizado por un número significativo de usuarios, pueden ser varias las directrices destinadas a ser aplicables para su uso. La mayor preocupación se refiere a usos que implican contacto con el agua, y en el caso de calidad del agua, riesgo significativo para la salud en un contacto primario o secundario (World Health Organization, 2003).

## **2.2.2 Definición parámetros de medición.**

### **2.2.2.1 Coloides.**

Los coloides están dados por un tamaño de partículas de mayor tamaño molecular, pero no son visibles a simple vista. Estas se encuentran en suspensión, y al agruparse forman un conjunto de partículas que lo asociamos con la turbidez presente en las aguas (Rodríguez y Marín, 1999).

### **2.2.2.2 Turbidez.**

Es provocada por partículas en suspensión que provienen de compuestos orgánicos e inorgánicos finamente disueltos, lo cual provoca la falta de transparencia en las aguas (Scalize, y otros, 2014).

### **2.2.2.3 Sólidos disueltos.**

En el análisis de sólidos totales se evalúan los sólidos suspendidos, como los sólidos disueltos (Rivera, 2016).

Los sólidos totales en su mayor parte están formados por sólidos disueltos en un 95%, se le atribuye a los compuestos inorgánicos presentes en las aguas (Gurdián y Coto, 2011)

### **2.2.2.4 Coliformes totales.**

Los coliformes totales son un grupo de bacterias que se encuentran comúnmente en el ambiente acuático, en el suelo y la vegetación, así como en los intestinos de los mamíferos, incluidos los humanos. A pesar de la reserva sobre su utilidad como indicador de contaminación fecal, el grupo coliforme total sigue siendo un indicador de calidad de agua en muchos países y continúa siendo utilizado en cierta medida como regulador paramétrico (Maheux, et al., 2014).



### **2.2.3 Tratamientos no convencionales.**

También conocidos como procesos de oxidación avanzada (POAs), estos se dan como respuesta a la ineficacia de los tratamientos convencionales en dar una respuesta a los efluentes líquidos con altas cargas contaminantes. Permiten la eliminación de compuestos con elevadas cargas orgánicas, además de reducir o eliminar por completo contaminantes complejos presentes en el agua (Michel, 2014). Los (POAs) se basan en procesos físicos químicos con capacidad de generar cambios en la estructura ( $\text{OH}^+$ ) altamente reactivos, con capacidad de acelerar ciertas reacciones de oxidación. Cabe recalcar que estos radicales se forman masivamente gracias al peróxido de Hidrogeno con ayuda de ciertos catalizadores, e implementación de luz solar o radiación ultravioleta (Vicent et al., 2017).

#### **2.2.3.1 Proceso de oxidación avanzada (POAs).**

Los diferentes POAs son considerados y presentados críticamente de acuerdo a sus características específicas con referencia, siempre que sea posible a sus aplicaciones reales para la reducción de la contaminación del agua (Roberto, Vincenzo, Amedeo, & Raffaele, 1999).

Entre las principales ventajas de los POAs referente a los métodos convencionales (Forero, Ortiz, y Rios, 2005) tenemos

- Transforman y destruyen químicamente una sustancia hasta la Mineralización.
- No generan subproductos.
- Operan y actúan en donde no lo realizan los sistemas convencionales.
- Aumentan la Biodegradabilidad.
- Eliminación de olor.

Los POAs son una alternativa verde en los tratamientos de aguas residuales, debido a la baja eficiencia de los tratamientos convencionales. Los resultados de los tratamientos convencionales al combinarlos con POAs se encargan de degradar la materia orgánica de naturaleza recalcitrante presente en los efluentes de aguas residuales hospitalarias. (Muñoz & Chaparro, 2014).

#### *2.2.3.1.1 Fundamento químico.*

Los procesos de oxidación avanzada son capaces de producir cambios a la estructura química de los contaminantes, mediante la generación de radicales hidroxilos ( $\text{OH}^\cdot$ ) a partir de oxígeno, peróxido de hidrógeno y el uso de catalizadores (Bes Monge, 2018).

Uno de los métodos más destacados es del peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ). De esta manera, la generación de radicales hidroxilo, se puede acelerar por la combinación con agentes oxidantes, radiación UV y el uso de catalizadores; además, de tomar en cuenta los factores influyentes en el proceso como pH, tiempo de reacción, presión y temperatura ambiente (Valero, 2017).

#### *2.2.3.1.2 Medios oxidantes.*

La eficacia de los POAs depende de la generación de radicales libres reactivos, el más importante de los cuales es el radical ( $\text{OH}^\cdot$ ). En el cual se da la aplicación de estos procesos para la eliminación de diferentes tipos de contaminantes tóxicos de las aguas residuales, incluidos compuestos aromáticos, colorantes, compuestos farmacéuticos y pesticidas, con énfasis en los parámetros evaluados, la efectividad de la eliminación y los mecanismos de degradación de los contaminantes (Long Wang y Jin Xu, 2012)

Como un oxidante eficiente y limpio peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) se ha utilizado ampliamente en los procesos de oxidación avanzada. El  $\text{H}_2\text{O}_2$  en los POAs es una

base fuerte, los radicales hidroxilo oxidativos ( $\text{OH}^-$ ) producidos por diferentes métodos de activación desempeña un papel importante en el tratamiento de agua para la reducción de lodos, el reciclaje y el alivio de riesgo. Mientras tanto, los posibles mecanismos del peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) en los POAs basados en la deshidratación, la minimización, digestión anaeróbica y la eliminación de contaminantes se aclaran sistemáticamente (Guan, et al., 2018).

### 2.2.3.1.3 Potencial de oxidación de distintas especies químicas.

Es una medida de la capacidad de una sustancia química para enlazar a un electrón. De esta manera, para que ocurra una reacción de óxido-reducción, tiene que existir un elemento que ceda electrones (se oxida) y otro elemento que acepte estos electrones (se reduce) (Terán, 2016).

La eficiencia de estos procesos es reflejada por la participación del radical hidroxilo, los cuales proporciona velocidades de oxidación superiores en relación con otros métodos de oxidación (Tabla 1). El radical hidroxilo tiene la capacidad de atacar a los compuestos orgánicos presentes y reaccionar 109 veces más rápido que otros oxidantes comunes (Pey, 2008).

**Tabla 1. Potencial de oxidación en las diferentes especies químicas.**

<b>Especies</b>	<b>Potencial de oxidación</b>
Flúor (F)	3,03
Oxígeno atómico ( $\text{O}_2$ )	2,42
Ozono ( $\text{O}_3$ )	2,07
Peróxido de Hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )	1,78
Radical perhidroxilo ( $\text{HO}_2$ )	1,70
Permanganato ( $\text{MnO}_4^-$ )	1,68
Cloro ( $\text{Cl}_2$ )	1,36
Bromo ( $\text{Br}_2$ )	1,09

Nota. Potencial de oxidación para las distintas especies. Tomado de (Terán, 2016).

#### 2.2.3.1.4 Clasificación de los POAS.

Los POAs, se divide en dos grupos: fotoquímicos y no fotoquímicos. Los procesos fotoquímicos, se diferencian de los no fotoquímicos gracias a la generación de radicales hidroxilo ( $\text{OH}^\cdot$ ) por medios fotoquímicos; es decir, mediante el uso de luz solar, luz blanca, luz UV y otras formas de energía, presentando de esta manera alta efectividad de oxidación de materia orgánica (Terán, 2016).

Los métodos fotoquímicos se dividen en UV/Peróxido de Hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), Foto-Fenton, Fotocatálisis Heterogénea, entre otras (Pelayo, 2018). La tabla 2 muestra la clasificación de los procesos de tratamiento:

**Tabla 2. Clasificación de los procesos de oxidación avanzada (POAs).**

Procesos No Fotoquímicos	Procesos Fotoquímicos
Ozonización en medio alcalino.	UV/periodato.
Ozonización con Peróxido de Hidrógeno ( $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ ).	Ferrioxalato y otros complejos de Fe (III).
Procesos Fenton ( $\text{Fe}_{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ ) y relacionados.	Fotólisis del agua en el ultravioleta al vacío (UVV).
Oxidación electroquímica.	UV/Peróxido de Hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).
Radiólisis y y tratamiento con haces de electrones.	UV/ $\text{O}_3$ .
Plasma no térmico.	Foto-Fenton y relacionadas.
Descarga electrohidráulica Ultrasonido.	Fotocatálisis heterogénea.

Nota. Clasificación de los POAs. Tomado de (Pelayo, 2018).

### **2.2.3.2 Carbón activado.**

Es un material que ha sido utilizado ampliamente como absorbente y posee una gran porosidad, también es utilizado para la eliminación de olor de aguas contaminadas (Carrillo, Albarracin, y Pereira, 2013).

#### *2.2.3.2.1 Carbón Activado como catalizador de un POA.*

Este material presenta propiedades únicas y versátiles ideales para ser empleado como catalizador (Carvalho, 2016).

Sus principales ventajas son:

- Resistencia a medios ácidos y básicos.
- Estabilidad térmica en ausencia de aire.
- Estructura porosa para diferentes aplicaciones.
- Química superficial modificable.

Actualmente, el carbón activado se lo emplea como soporte catalítico en distintas reacciones, como en los procesos de oxidación avanzada, ayuda en la reducción de los fenoles, oxidación humedad, y como catalizador se lo considera un material eficaz en remoción (Martínez, 2012).

### **2.2.3.3 Zeolita.**

Las zeolitas, están integrados por tetraedros con un átomo de Silicio y cuatro de oxígeno que originan el ion ortosilicato que se expanden en tres dimensiones, permitiendo el almacenamiento de moléculas o iones necesarios de adsorción (Santibañez, 2017).

Se estudiaron las propiedades físicas, químicas y mecánicas de zeolitas naturales procedentes de distintas partes, presentando un comportamiento físico, químico y mecánico de algunas variedades muestreadas en diferentes lugares y la incidencia de los mismos en aplicaciones prácticas (Huanca, et al., 2018).

#### *2.2.3.3.1 Zeolita como catalizador de un POA.*

Estudios confirman los avances de la zeolita como catalizador en los procesos de oxidación avanzada, La Zeolita mostro resultados exitosos en la descomposición de peróxido de hidrógeno en radicales hidroxilo, después degradaron los compuestos orgánicos adsorbidos. No se presentó anomalías en los ciclos de regeneración por la acción de los rayos X (Doocey, Sharrat, Cundy, y Plaisted, 2004).

Según Corma (2011), a través de su artículo sobre: catálisis con zeolitas desde el laboratorio a su aplicación industrial, menciona que es posible el uso de este material como catalizadores a través de las cavidades presentes en su estructura y poder de encapsulamiento de macromoléculas. De esta forma, estas estructuras podrán ser preparadas con menor electronegatividad y cationes de compensación alcalinos.

## 2.3 Marco legal

### 2.3.1 Constitución de la República del Ecuador.

#### **Título II. Derechos. Capítulo II: Del buen vivir. Sección I. Agua y alimentación**

**Artículo 12.-** El derecho al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida (Constitución de la República del Ecuador., 2008, pág. 24).

#### **Sección II, Ambiente Sano**

**Artículo 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Constitución de la República del Ecuador., 2008, pág. 24).

**Artículo 15.-** El estado promoverá en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

#### **Sección VII, Salud**

**Artículo 32.-** La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho al agua, la alimentación, la educación, la cultura física, el trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir (Constitución de la República del Ecuador., 2008, pág. 29).

#### **Título VI. Régimen de desarrollo. Capítulo V: Servicios estratégicos, servicios y empresas públicas**

**Artículo 318.-** El estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley (Constitución de la República del Ecuador., 2008, pág. 150).

**Artículo 396.-** El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque

no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

### **2.3.2 Ley orgánica de recursos hídricos. Usos y aprovechamiento del agua (2014).**

**Título IV. Aprovechamiento del agua. Capítulo I: De los tipos de aprovechamiento productivo. Sección II. Aprovechamiento energético e industrial del agua**

**Artículo 107.- Aprovechamiento industrial.** Las aguas destinadas para el aprovechamiento industrial, una vez utilizadas, serán descargadas por el usuario, previo su tratamiento, cumpliendo con los parámetros técnicos que dicte la Autoridad Ambiental Nacional (Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua., 2014, pág. 23).

#### **1.1.1 Acuerdo Ministerial 061 (2015).**

**Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria  
Capítulo VIII Calidad de los componentes bióticos y abióticos. Sección I. disposiciones generales**

**Artículo 196. De las autorizaciones de emisión, descarga y vertidos.** -No se autorizarán descargas ya sean aguas servidas o industriales, sobre cuerpos hídricos, cuyo caudal mínimo anual, no pueda soportar la descarga; es decir, sobrepase la capacidad de carga del cuerpo hídrico. La determinación de la capacidad de carga del cuerpo hídrico será establecida por la Autoridad Única del Agua en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional (Ministerio del Ambiente, 2015, pág. 45).

**Sección III Calidad de componentes Abióticos. Parágrafo I. Del agua**

**Artículo 209. De la calidad del agua.** -Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico. La evaluación y control de la calidad de agua, se realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreo de descarga, vertidos y cuerpos receptores; dichos lineamientos se encuentran detallados en el Anexo I (Ministerio del Ambiente, 2015, pág. 47).

**Artículo 210. Prohibición.** -De conformidad con la normativa legal vigente: **b)** se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación (Ministerio del Ambiente, 2015, pág. 47).

#### **Libro VI Anexo 1**

La presente norma técnica ambiental revisada y actualizada es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión



Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

Criterios generales de descarga de efluentes:

- Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.
- Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.
- Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor.
- Descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Descarga a un cuerpo de agua marina.
- Permisos de descarga.
- Parámetros de monitoreo de las descargas a cuerpos de agua y sistemas de alcantarillado de actividades industriales o productivas, de servicios públicas o privadas.

**Tabla 7: criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario.**

**Tabla 10: límites de descarga a un cuerpo de agua marina.**

### 2.3.3 Acuerdo Ministerial 097-A (2015)

5.1 Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, marítimas y de estuarios.

5.1.1 Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico.

**Tabla 2: Criterios de calidad de admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.**

**Norma INEM-2176**

#### **Disposiciones Generales.**

#### **4.2 Muestras puntuales**

**4.2.1** Las muestras puntuales son muestras individuales, recogidas de forma manual o automática, para aguas en la superficie, a una profundidad específica y en el fondo.

**4.2.2** Cada muestra, normalmente, representará la calidad del agua solamente en el tiempo y en el lugar en que fue tomada. El muestreo automático equivale a una serie de muestras tomadas en un tiempo preestablecido o en base a los intervalos de flujo.

**4.2.3** Se recomienda tomar muestras puntuales si: el flujo del agua a muestrear no es uniforme, si los valores de los parámetros de interés no son constantes o si el uso de la muestra compuesta presenta diferencias con la muestra individual debido a la reacción entre las muestras.

**4.2.4** La muestra puntual es adecuada para la investigación de una posible polución y en estudios para determinar su extensión o en el caso de recolección automática de muestra individual para determinar el momento del día cuando los contaminantes están presentes. También se puede tomar muestras puntuales para establecer un programa de muestreo más extensivo. Las muestras puntuales son esenciales cuando el objetivo del programa de

muestreo es estimar si la calidad del agua cumple con los límites o se aparta del promedio de calidad.

**4.2.5** La toma de muestras puntuales se recomienda para la determinación de parámetros inestables como: la concentración de gases disueltos, cloro residual y sulfitos solubles.

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1 Enfoque de la investigación

##### 3.1.1 Tipo de investigación.

La investigación fue de tipo experimental, aplicada, de campo y laboratorio.

- Experimental porque se estudió la efectividad de los catalizadores y  $H_2O_2$  mediante un experimento para encontrar la dosis indicada en una muestra de agua del estero salado.
- Investigación de campo y laboratorio, de campo ya que se obtuvieron las muestras de aguas para el presente estudio y laboratorio porque se requirió de un medio controlado para proporcionar el respectivo tratamiento a cada muestra de agua junto a cada catalizador y  $H_2O_2$ .

##### 3.1.2 Diseño de investigación.

La presente investigación fue de tipo experimental, la investigación experimental sustenta con mayor veracidad los posibles resultados de causa y efecto que se dan en la misma, se comprobó efectividad de dos catalizadores y la dosis efectiva del  $H_2O_2$  en muestras de aguas naturales, para así determinar la dosis y catalizador de mejor resultado en la remoción de contaminantes.

#### 3.2 Metodología

##### 3.2.1 Variables.

###### 3.2.1.1 Variable independiente.

- Dosis de  $H_2O_2$  (ml)
- Cantidad de Zeolita
- Carbón activado (g)

### 3.2.1.2 Variable dependiente.

- Turbidez
- Sólidos disueltos
- Coliformes totales

### 3.2.2 Tratamientos.

En esta investigación se aplicó oxidación avanzada como tratamiento, utilizando carbón activado y zeolita como catalizadores minerales, además también se evalúa la dosis efectiva del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como oxidante (ver tabla 1).

**Tabla 1. Tratamientos del experimento**

Tratamiento	Catalizador mineral	Dosis del catalizador (g)	% Oxidante
1	Zeolita	5	50%
2	Zeolita	10	50%
3	Zeolita	15	50%
4	Zeolita	5	30%
5	Zeolita	10	30%
6	Zeolita	15	30%
7	Zeolita	5	3%
8	Zeolita	10	3%
9	Zeolita	15	3%
10	Carbón activado	5	50%
11	Carbón activado	10	50%
12	Carbón activado	15	50%
13	Carbón activado	5	30%
14	Carbón activado	10	30%
15	Carbón activado	15	30%
16	Carbón activado	5	3%
17	Carbón activado	10	3%
18	Carbón activado	15	3%

Aspiazu, 2020

### 3.2.3 Diseño experimental.

En este trabajo se aplicó un diseño experimental completamente al azar (DCA), en donde se experimentó con un total de 18 tratamientos basado en la interacción de tres factores (ver tabla 2 y 3).

**Tabla 2. Diseño factorial A\*B\*C (2\*3\*3)**

Tratamiento	F.A	F.B	F.C
1	Z	5	1
2	Z	10	1
3	Z	15	1
4	Z	5	2
5	Z	10	2
6	Z	15	2
7	Z	5	3
8	Z	10	3
9	Z	15	3
10	C	5	1
11	C	10	1
12	C	15	1
13	C	5	2
14	C	10	2
15	C	15	2
16	C	5	3
17	C	10	3
18	C	15	3

Sanchez, 2019

**Tabla 3. Modelo Factorial**

Fuente de Variación	Fórmula	Desarrollo	GI
F.A	(A-1)	(2-1)	1
F.B	(B-1)	(3-1)	2
F.C	(C-1)	(3-1)	2
A*B	(A-1)(B-1)	(2-1)(3-1)	2
A*C	(A-1)(C-1)	(2-1)(3-1)	2
B*C	(B-1)(C-1)	(3-1)(3-1)	4
A*B*C	(A-1)(B-1)(C-1)	(2-1)(3-1)(3-1)	4
Réplicas	(R-1)	(3-1)	2
Error	(N-1)-(A-1)-(B-1)-(C-1)-((A-1)(B-1))-((A-1)(C-1))-((B-1)(C-1))-((A-1)(B-1)(C-1))-(R-1)	(54-1)-(2-1)-(3-1)-(3-1)-((2-1)(3-1))-((2-1)(3-1))-((3-1)(3-1))-((2-1)(3-1)(3-1))-(3-1)	34
Total	N-1	(54-1)	53

Sanchez, 2019

### 3.2.4 Recolección de datos.

#### 3.2.4.1 Recursos.

En la Tabla 4 se detallan los equipos, materiales de campo y de laboratorio que se emplearon para el desarrollo del presente estudio experimental:

**Tabla 4. Equipos y materiales**

Equipos de laboratorio	Materiales de laboratorio	Materiales de campo
Turbidímetro	Vasos de Precipitación	Botellas de plástico
Balanza analítica	Probeta	Guantes de látex
Estufa	Espátula	Hielera térmica
	Pinzas	
	Frasco Lavador	
	Filtro	
	Celdas	

Aspiazu, 2020

#### 3.2.4.2 Métodos y técnicas.

***Determinar la concentración mínima óptima del proceso de oxidación avanzada utilizando  $H_2O_2$  y catalizadores minerales.***

***Muestreo:*** La recolección y traslado de las muestras de agua en la laguna recreativa Viernes Santo, se realizó siguiendo lo establecido en la norma técnica INEN 2169: Técnicas generales para conservación de muestras análisis fisicoquímico y la norma INEN 2176: Calidad de agua, muestreo y técnicas de muestreo en el apartado 4.2 (Muestras puntuales). Según lo indicado en las normas, se tomó una muestra puntual, ya que esta representó la calidad de agua en el tiempo y lugar que fue tomada.

***Análisis de muestras en laboratorio:*** las pruebas ex situ se realizaron en los laboratorios de la Universidad Agraria del Ecuador, en donde se realizó el lavado y activación de la zeolita con el carbón activado en conjunto con el  $H_2O_2$  para determinar la concentración mínima aplicando oxidación avanzada.

***Activación de los catalizadores:*** La activación de los catalizadores se dio en 3 pasos importantes: en primer lugar, se procedió al lavado del carbón activado y

zeolita para remover todo el polvo presente en estos materiales; luego se activó de forma física con la adición de calor; finalmente se inició la activación química a través de un agente químico.

**Determinación de la turbidez:** se empleó la técnica nefelométrica que consiste en medir las partículas suspendidas o en presencia de turbidez en las aguas de la laguna y así se comprobó la efectividad de los catalizadores y dosis efectiva del peróxido.

**Determinación de sólidos disueltos:** Para la medición de los sólidos disueltos se utilizó un medidor digital, el cual determinó los resultados con un rango de 0 a 5000 ppm, el mismo guarda las mediciones para una lectura comparativa, el mismo se apaga automáticamente después de unos minutos de no utilización para conservar las pilas.

**Determinación de coliformes totales:** La técnica empleada para la determinación de coliformes totales fue la del NMP (número más probable) la cual se fundamenta en la capacidad que tiene este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácidos y gas a una temperatura de 35° C durante 48h utilizando un cultivo que contenga sales biliares (Petrifilm).

**Estimación del efecto de remoción:** para determinar cuál fue el tratamiento más efectivo por remoción, se consideró el valor por cada tratamiento. Posterior se elaboró una tabla con estos valores y se procedió a calcular la eficiencia de remoción de contaminantes según la metodología empleada por Malacatus, Chamorro y Orellana (2017), mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100$$

Dónde:

$E$  = Eficiencia de remoción de carga contaminante (%)

$S$  = Carga contaminante de salida (mg/l)

$S_0$  = Carga contaminante de entrada (mg/l)

***Caracterización de las condiciones de operación de la laguna recreativa Viernes Santo para la implementación de un proceso de purificación.***

Para la ejecución de este objetivo se recolectó información de las actuales condiciones de operación de la laguna, identificando así procesos que requirieron de mejoras y se consideraron para una propuesta de un proceso de purificación óptimo que se presenta a través de un diagrama de flujo.

***Estimación de los impactos negativos ambientales que se dan en la laguna del Estero Viernes Santo en Guayaquil.***

Para determinar los impactos negativos ambientales presentes en la laguna de estero Viernes Santo en Guayaquil, en primer lugar, se comparó con los límites permisibles establecidos en la norma de calidad del agua (TULSMA). Posterior, se aplicó un Índice de calidad del agua (ICA) considerando los parámetros de estudio y finalmente en base a la información obtenida con anterioridad se analizó el impacto ambiental mediante una matriz.

**Metodología del ICA:** un ICA se basa en medir el grado de contaminación del agua en una escala representada por el porcentaje de pureza del agua; de esta forma, para aguas totalmente contaminadas, el índice reflejará un valor cercano o igual a 0, mientras que para aguas con un alto grado de pureza su valor será de 100 (Montoya et al., 1997).

Este índice de calidad cuenta con 18 parámetros de análisis de aguas, sin embargo, para el presente estudio sólo se han colocado las ecuaciones y ponderaciones correspondientes a los parámetros de interés (ver tabla 5).



**Tabla 5. Ecuaciones y ponderaciones del ICA**

Parámetro	Ecuación del parámetro	Ponderación
Turbidez	I: 108 (T) -0,178	0,5
Sólidos disueltos	I: 266,5 (SD) - 0,37	1
Coliformes totales	I: 97,5 (CT) -0,27	3

Montoya et al., 1997

Una vez estimado el índice individual por parámetro se procedió a aplicar la siguiente fórmula para obtener el índice de calidad global del agua:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Dónde:

ICA: Índice de calidad del agua global


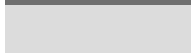
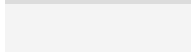

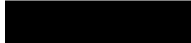
$I_i$  = índice de calidad para el parámetro  $i$

$W_i$  = Coeficiente de ponderación del parámetro  $i$  (factor de ponderación)

$n$  = Número de variables empleados

Al obtener el valor del Índice de calidad del agua global a la se procedió a la interpretación del mismo en base a los criterios propuestos por Montoya et al., 1997 que se observan en la tabla 6. Se aplicó la estimación de este índice, tanto para la muestra como para los valores de un tratamiento, de esta forma se comparó la calidad de agua que se obtuvo al aplicar oxidación avanzada y catalizadores minerales.

**Tabla 6. Criterios de calidad de agua**

Rango	Clase de calidad	Color
85-100	No contaminado	
70-84	Aceptable	
50-69	Poco contaminado	
30-49	Contaminado	
0-29	Altamente contaminado	

Montoya et al., 1997

**Metodología de análisis de impacto:** el análisis de impacto ambiental que genera la laguna Viernes Santo al estero se analizó mediante la metodología propuesta por Conesa-Fernández la cual ha sido aplicada por varios autores como Ruberto (2006). La fórmula de impacto a determinar es la siguiente:

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Dónde:

$\pm$  = Naturaleza del impacto

I= Importancia del impacto

i= intensidad o grado probable de destrucción

EX= extensión o área de influencia del impacto

MO= Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto

PE= Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto

RV= Reversibilidad

SI= Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples

AC= Acumulación o efecto de incremento progreso

EF= Efecto (tipo directo o indirecto)

PR= Periodicidad

MC= Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos

Mientras que los criterios para determinar el nivel de cada uno de estos factores y la interpretación del grado de impacto son se detallan en la tabla 7.

**Tabla 7. Criterios para la calificación de impactos en la matriz**

Criterio	Calificación	Valor
Carácter (CA)	Positivo	(+)
	Negativo	(-)
Intensidad (I)	Baja	1
	Media	2
	Alta	4
	Muy alta	8
	Total	12
Extensión (EX)	Puntual	1
	Parcial	2
	Extenso	4
	Total	8
	Crítica	12
Momento (MO)	Largo plazo	1
	Medio plazo	2
	Inmediato	4

<b>Criterio</b>	<b>Calificación</b>	<b>Valor</b>
	Crítico	8
Persistencia (PE)	Fugaz	1
	Temporal	2
	Permanente	4
Reversibilidad (RV)	Corto plazo	1
	Medio plazo	2
	Irreversible	4
Sinergia (SI)	Sin sinergismo (simple)	1
	Sinérgico	2
	Muy sinérgico	4
Acumulación (AC)	Simple	1
	Acumulativo	4
Efecto (EF)	Indirecto	1
	Directo	4
Periodicidad (PR)	Irregular y discontinuo	1
	Periódico	2
	Continuo	4
Recuperabilidad (RC)	De manera inmediata	1
	A medio plazo	2
	Mitigable	4
	Irrecuperable	8
(I)= (3I+2EX+MO+PE+RV+SI+AC+EF+PR+RP) -CA	<b>Carácter negativo</b>	
	Irrelevante	<-25
	Moderado	-25 a <-50
	Severo	-50 a -75
	Crítico	>-75
(I)= (3I+2EX+MO+PE+RV+SI+AC+EF+PR+MC) +CA	<b>Carácter positivo</b>	
	No importante	<25
	Importante	25 a 50
	Muy importante	>50

Conesa-Fernandez como se cita en Ruberto (2006).

### 3.2.5 Análisis estadístico.

Se realizó el análisis estadístico de acuerdo al trabajo planteado, y el procedimiento a seguir para el desarrollo del respectivo análisis de varianza en diseños factoriales de hasta 3 elementos.

El análisis de la varianza (ANOVA) es una técnica estadística paramétrica de contraste de hipótesis. El ANOVA multifactorial sirve para comparar varios grupos donde se han considerado el efecto de la interacción de varios factores que interactúan entre, dando como respuesta una variable cuantitativa. “ANOVA es un proceso estadístico que sirve para degradar la variación total, en variaciones reconocidos, incorporando las que no se han podido medir, tomándolo como error experimental” (Arturo, 2009).

Por lo tanto, se aplicó la varianza de ANOVA multifactorial para poder determinar la diferencia significativa entre los tratamientos y su efectividad. Las hipótesis que se manejaron fueron las siguientes:

**H<sub>0</sub>:** Los tratamientos tienen valores iguales para los parámetros turbidez, sólidos totales y coliformes totales.

**H<sub>a</sub>:** Uno de los tratamientos presenta valores distintos para los parámetros turbidez, sólidos totales y coliformes totales.

Se aplicó el análisis Tukey a un nivel de significancia de 0,05, en el caso de que el valor de probabilidad resultara menor al nivel de significancia. Esta prueba se aplicó con el fin de determinar cuál es el tratamiento que presentó estadísticamente el mayor o menor valor de una variable de estudio.

## 4. Resultados

### 4.1 Determinación de la concentración mínima óptima del proceso de oxidación avanzada utilizando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y catalizadores minerales

#### 4.1.1 Resultados de la muestra inicial.

Para comprobar la efectividad de los tratamientos, se midieron los parámetros iniciales de la muestra puntual que posteriormente se comparó con los resultados una vez aplicado los tratamientos. Además, se determinó si la muestra inicial cumplía o no con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua.

Para coliformes totales se consideró el LMP establecido en los criterios de calidad para aguas con fines recreativos, para sólidos disueltos se consideró el LMP establecido en los criterios de calidad para aguas de uso que no requieren tratamiento convencional, y turbidez el LPM establecido en los criterios para aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario. En la tabla 8 se muestran los resultados del análisis de la muestra inicial:

**Tabla 8. Análisis de la muestra inicial**

Parámetros	Unidad	LMP	Resultados	Observación
Turbidez	NTU	50	90	Sobrepasa el límite
Sólidos disueltos	mg/l	1000	3840	Sobrepasa el límite
Coliformes totales	NMP	1000	15	Cumple el límite

Naranja indica que el resultado sobrepasa el límite permisible y verde que cumple el límite  
Aspiazu, 2020

Los resultados de la muestra inicial de las aguas naturales provenientes del estero Viernes Santo en Guayaquil, evidenciaron que dos de los parámetros (turbidez y sólidos disueltos) sobrepasan el límite máximo permisible establecido en la Norma de calidad de agua.

#### 4.1.2 Resultados de los tratamientos por variable.

Se comprobó efectividad de dos catalizadores y la dosis efectiva del  $H_2O_2$  en muestras de aguas naturales provenientes del estero Viernes Santo en Guayaquil, para así determinar la dosis y catalizador de mejor resultado en la remoción de contaminantes. Se probaron concentraciones alta, media y mínima del oxidante  $H_2O_2$  comprobando de esta forma si las dosis mínimas son efectivas en la depuración, lo que permite la propuesta de un sistema de purificación de costo accesible.

#### Análisis de turbidez.

En la figura 1 se observan los resultados de los tratamientos para el parámetro turbidez; la barra de color negro representa los tratamientos para el catalizador carbón activado, y la barra de trama representa los tratamientos con zeolita, a las dosis y concentraciones de oxidante establecidos para el experimento.

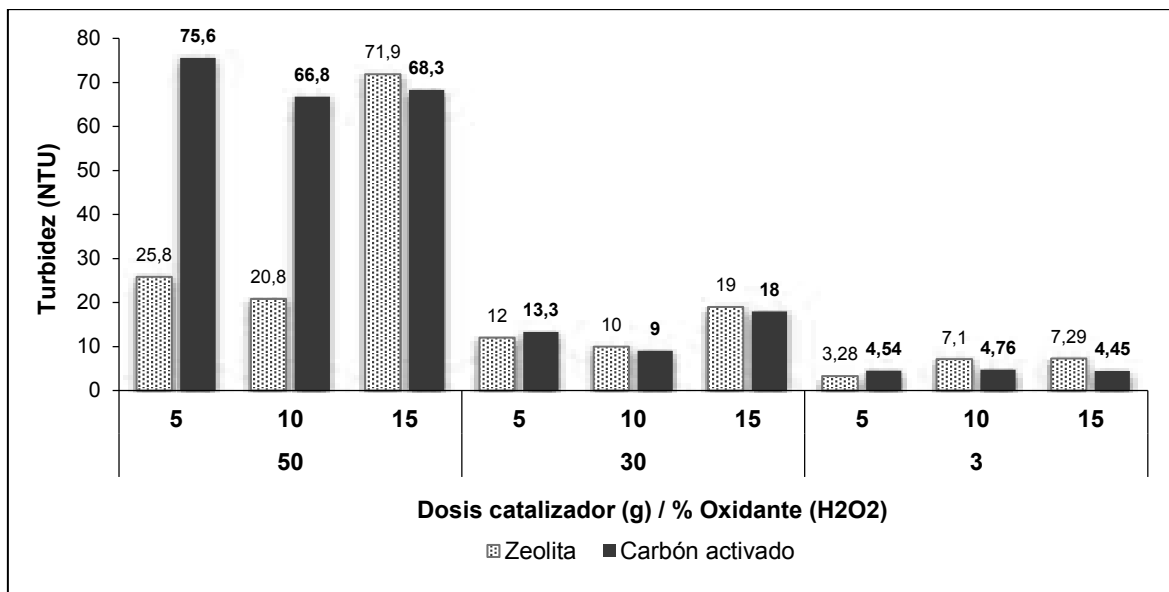


Figura 1. Resultados de los tratamientos para turbidez  
Aspiazu, 2020

En base a las concentraciones se detallan los resultados obtenidos. A una concentración de 50% de oxidante ( $H_2O_2$ ), el tratamiento con zeolita a una dosis de 10 gramos obtuvo el valor más bajo de turbidez con 20,8 NTU. A una concentración

de 30% de oxidante ( $H_2O_2$ ), el tratamiento con carbón activado a una dosis de 10 gramos obtuvo el valor más bajo de turbidez con 9 NTU. A una concentración de 3% de oxidante ( $H_2O_2$ ), el tratamiento con zeolita a una dosis de 10 gramos obtuvo el valor más bajo de turbidez con 3,28 NTU. Siento este último valor el más bajo de todo el experimento.

### **Análisis sólidos disueltos.**

En la figura 2 se observan los resultados de los tratamientos para el parámetro sólidos disueltos; la barra de color negro representa los tratamientos para el catalizador carbón activado, y la barra de trama representa los tratamientos con zeolita, a las dosis y concentraciones de oxidante establecidos para el experimento.

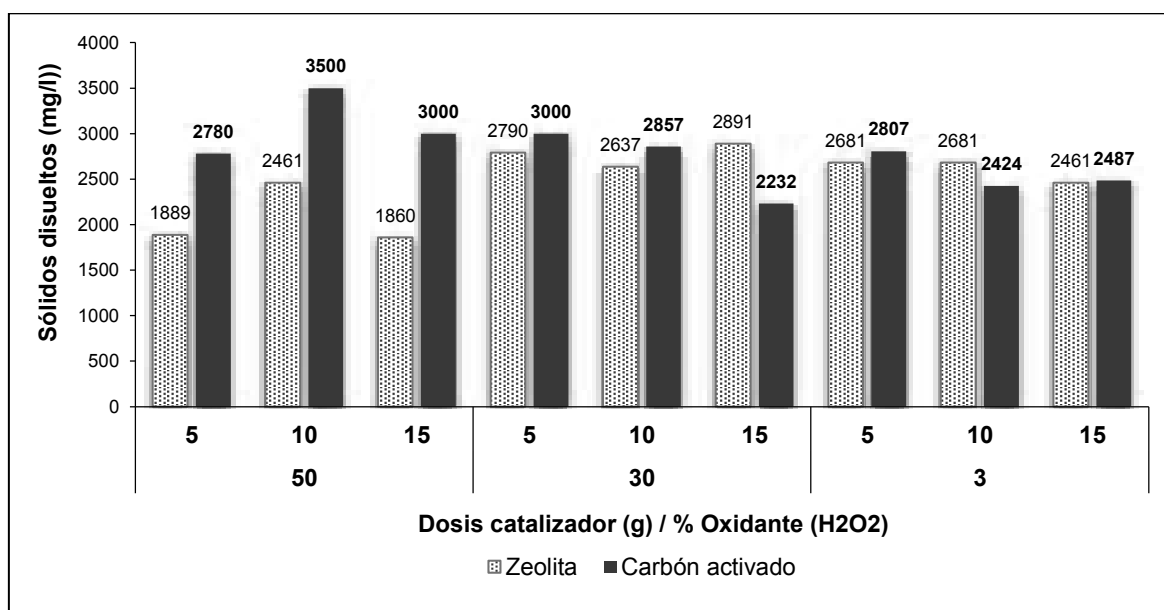


Figura 2. Resultados de los tratamientos para sólidos disueltos  
Aspiazu, 2020

En base a las concentraciones se detallan los resultados obtenidos. A una concentración de 50% de oxidante ( $H_2O_2$ ), el tratamiento con zeolita a una dosis de 15 gramos obtuvo el valor más bajo de sólidos disueltos con 1860 mg/l, siendo este valor el más bajo obtenido en el experimento. A una concentración de 30% de oxidante ( $H_2O_2$ ), el tratamiento con carbón activado a una dosis de 15 gramos obtuvo el valor más bajo de sólidos disueltos con 2232 mg/l. A una concentración

de 3% de oxidante ( $H_2O_2$ ), el tratamiento con carbón activado a una dosis de 10 gramos obtuvo el valor más bajo de sólidos disueltos con 2424 mg/l.

### Análisis de coliformes totales.

En la figura 3 se observan los resultados de los tratamientos para el parámetro coliformes totales; la barra de color negro representa los tratamientos para el catalizador carbón activado, y la barra de trama representa los tratamientos con zeolita, a las dosis y concentraciones de oxidante establecidos para el experimento.

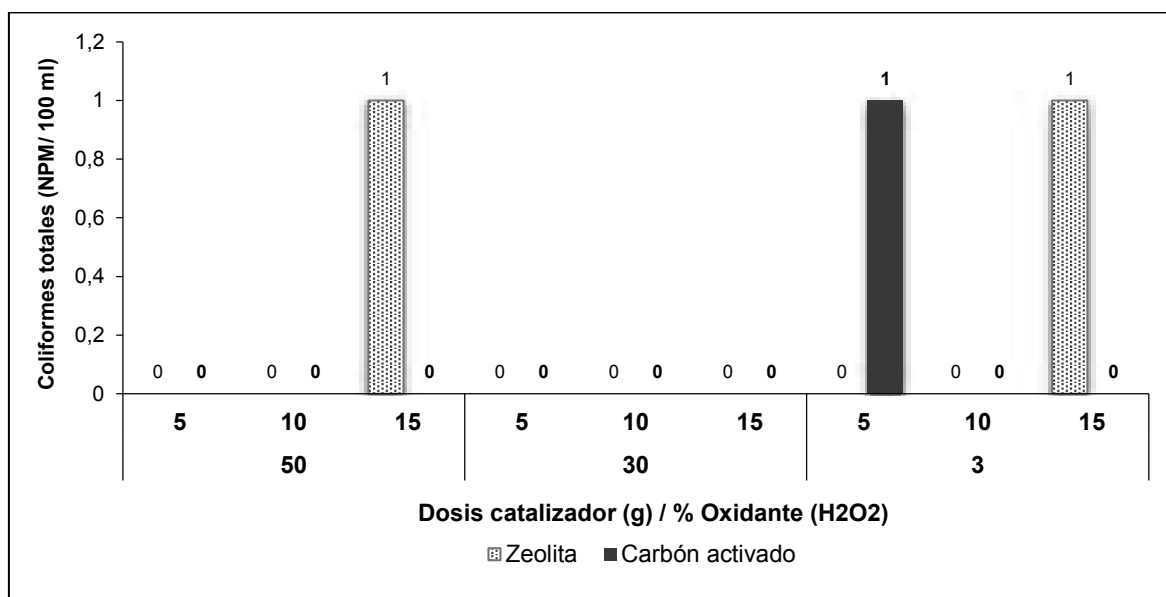


Figura 3. Resultados de los tratamientos para coliformes totales  
Aspiazu, 2020

En base a las concentraciones se detallan los resultados obtenidos. A una concentración de 50% de oxidante ( $H_2O_2$ ), solo el tratamiento con zeolita a dosis de 15 gramos presentó 1 NMP/100 ml, el resto de tratamientos redujeron a cero a los coliformes totales. A una concentración de 30% de oxidante ( $H_2O_2$ ), todos los tratamientos con catalizador zeolita y carbón activado en sus distintas dosis redujeron a cero a los coliformes totales. A una concentración de 3% de oxidante ( $H_2O_2$ ), los tratamientos con zeolita a dosis de 15 gramos y con carbón activado a dosis 5 gramos presentaron 1 NMP/100 ml, el resto de tratamientos redujeron a cero a los coliformes totales.



### 4.1.3 Efecto de remoción de los tratamientos por variable.

#### Efectividad remoción de los tratamientos para turbidez

En la figura 4 se observa la efectividad de remoción de los tratamientos para el parámetro turbidez; la barra de color negro representa los tratamientos para el catalizador carbón activado, y la barra de trama representa los tratamientos con zeolita, a las dosis y concentraciones de oxidante establecidos para el experimento.

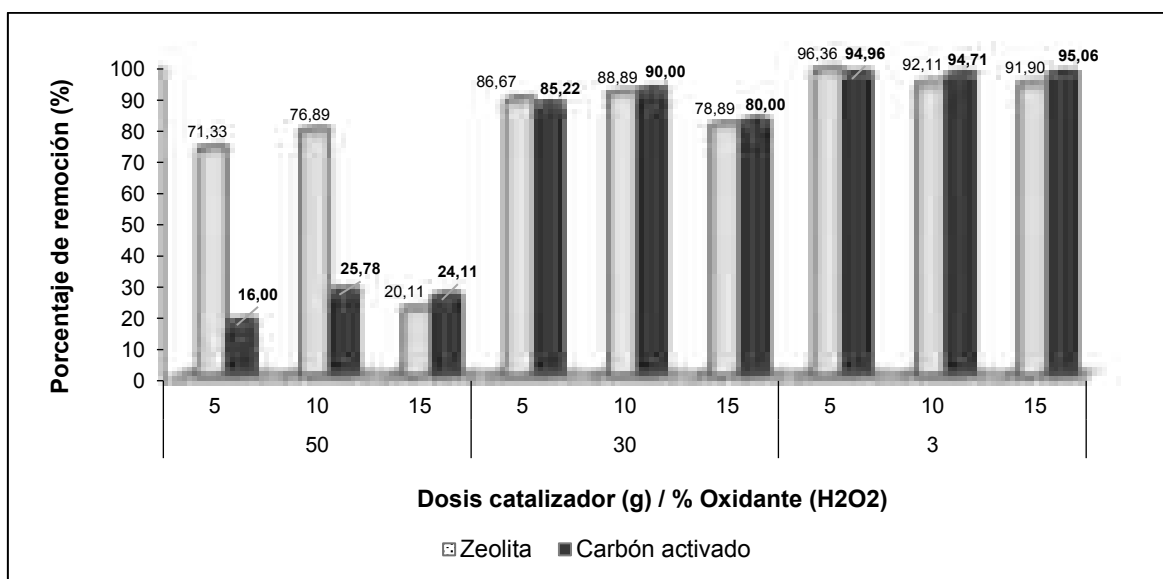
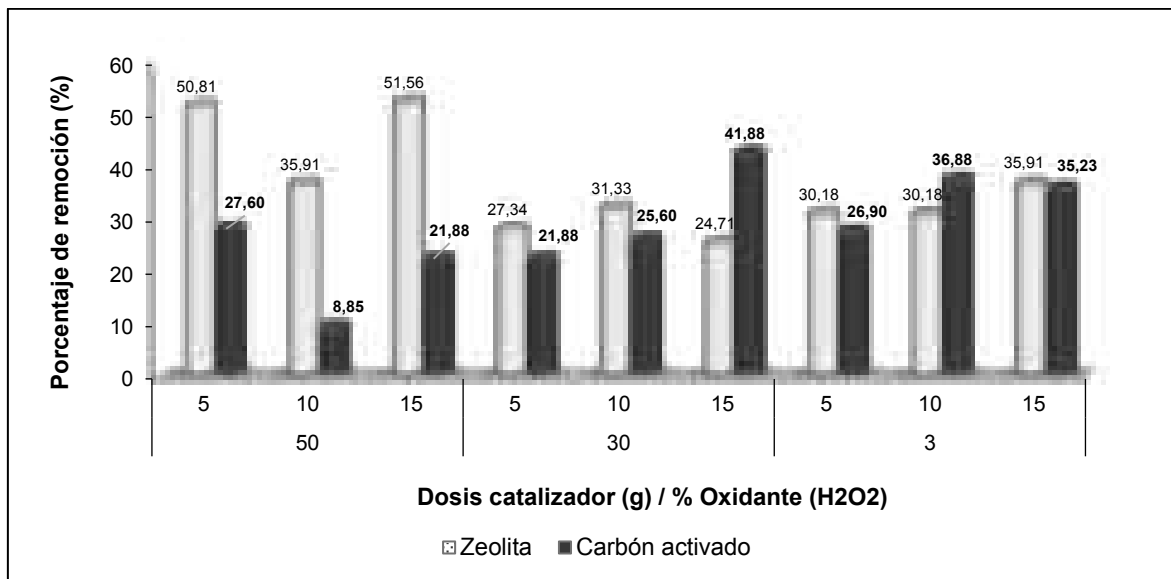


Figura 4. Efectividad de remoción para turbidez  
Aspiazu, 2020

En base a las concentraciones se detallan los resultados obtenidos. A una concentración de 50% de oxidante (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), el tratamiento con zeolita a una dosis de 10 gramos obtuvo porcentaje de remoción de turbidez más alto con 76,89%. A una concentración de 30% de oxidante (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), el tratamiento con carbón activado a una dosis de 10 gramos obtuvo el valor más bajo de turbidez con 90%. A una concentración de 3% de oxidante (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), el tratamiento con zeolita a una dosis de 10 gramos obtuvo el valor más bajo de turbidez con 96,36%. Siento este último valor el más alto de remoción de todo el experimento.

### Efectividad remoción de los tratamientos para sólidos disueltos

En la figura 5 se observa la efectividad de remoción de los tratamientos para el parámetro sólidos disueltos; la barra de color negro representa los tratamientos para el catalizador carbón activado, y la barra de trama representa los tratamientos con zeolita, a las dosis y concentraciones de oxidante establecidos para el experimento.

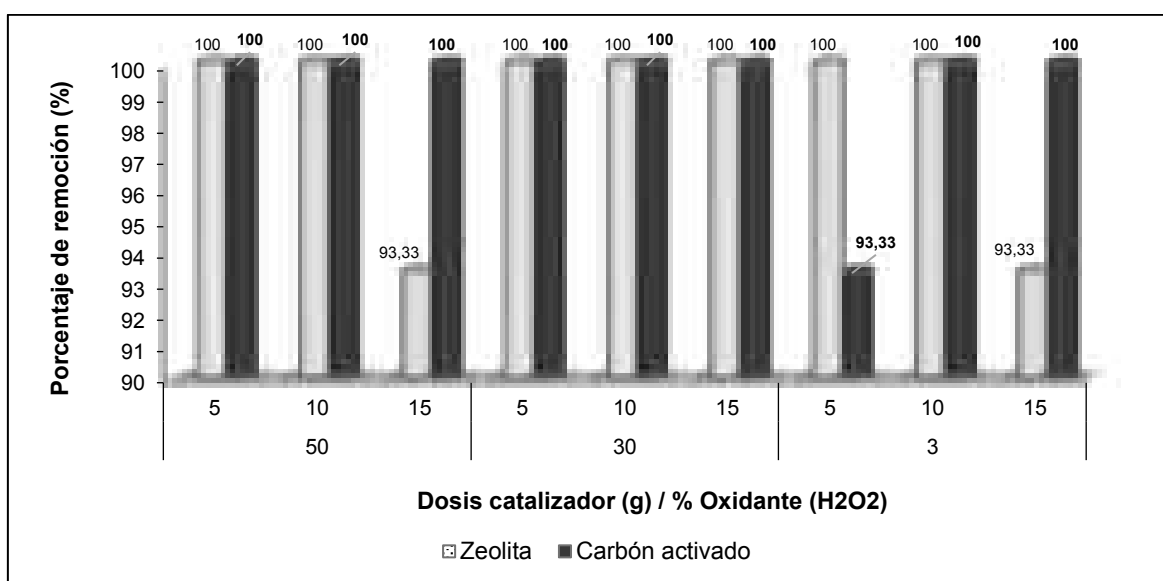


**Figura 5. Efectividad de remoción para sólidos disueltos**  
Aspiazu, 2020

En base a las concentraciones se detallan los resultados obtenidos. A una concentración de 50% de oxidante (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), el tratamiento con zeolita a una dosis de 15 gramos obtuvo porcentaje de remoción de sólidos disueltos más alto con 51,56%, Siento este valor el más alto de remoción de todo el experimento. A una concentración de 30% de oxidante (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), el tratamiento con carbón activado a una dosis de 15 gramos obtuvo porcentaje de remoción de sólidos disueltos más alto con 41,88%. A una concentración de 3% de oxidante (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), el tratamiento con carbón activado a una dosis de 10 gramos obtuvo porcentaje de remoción de sólidos disueltos más alto con 36,88%.

### Efectividad remoción de los tratamientos para coliformes totales

En la figura 6 se observa la efectividad de remoción de los tratamientos para el parámetro coliformes totales; la barra de color negro representa los tratamientos para el catalizador carbón activado, y la barra de trama representa los tratamientos con zeolita, a las dosis y concentraciones de oxidante establecidos para el experimento.



**Figura 6. Efectividad de remoción coliformes totales**

Aspiazu, 2020

En base a las concentraciones se detallan los resultados obtenidos. A una concentración de 50% de oxidante (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), solo el tratamiento con zeolita a dosis de 15 gramos obtuvo 93,33% de remoción, el resto de tratamientos obtuvo un 100% de efectividad en la remoción de coliformes totales. A una concentración de 30% de oxidante (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), todos los tratamientos con catalizador zeolita y carbón activado en sus distintas dosis obtuvieron un 100% de efectividad en la remoción de coliformes totales. A una concentración de 3% de oxidante (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), los tratamientos con zeolita a dosis de 15 gramos y con carbón activado a dosis 5 gramos obtuvieron 93,33% de remoción, el resto de tratamientos obtuvieron un 100% de efectividad en la remoción de coliformes totales.

#### 4.1.4 Análisis inferencial mediante ANOVA

En la tabla 9 se presenta el análisis de varianza multifactorial para el parámetro turbidez, se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de catalizadores y variación de dosis, debido a que el valor p (0,159 y 0,334) fue mayor que el nivel de significancia (0,05); por lo cual se acepta hipótesis nula dónde los catalizadores minerales tienen efecto similar para turbidez.

Por otra parte, se evidencia que existe diferencia significativa entre las concentraciones del oxidante ( $H_2O_2$ ), debido a que el valor p (0,000) fue menor que el nivel de significancia (0,05); por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa la cual indica que la variación del porcentaje de oxidante tiene efecto distinto para turbidez.

**Tabla 9. Análisis de varianza para turbidez**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Catalizador mineral	1	426,1	426,1	2,26	0,159
Dosis del catalizador (g)	2	454,8	227,4	1,2	0,334
% Oxidante	2	8478,6	4239,3	22,46	0,000
Error	12	2265,4	188,8		
Total	17	11625			

Aspiazu, 2020

Al hallarse diferencia significativa entre las concentraciones del oxidante ( $H_2O_2$ ), se realizó el test de Tukey para determinar el mayor y menor efecto, lo que se observa en la tabla 10. Según los resultados, las concentraciones del oxidante ( $H_2O_2$ ) tanto al 30% y 3% obtuvieron la media significativamente menor, en este caso el mayor efecto de remoción de turbidez.

**Tabla 10. Test Tukey de las concentraciones de oxidante para turbidez**

% Oxidante	N	Media	Agrupación
50,00%	6	54,8667	A
30,00%	6	13,55	B
3,00%	6	5,2367	B

Medias con una letra distinta indican diferencia significativa  
Aspiazu, 2020

En la tabla 11 se presenta el análisis de varianza multifactorial para el parámetro sólidos disueltos, se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de catalizadores, variación de dosis y concentraciones del oxidante, debido a que su valor p fue mayor que el nivel de significancia (0,05); por lo cual se acepta hipótesis nula dónde los tratamientos con catalizadores minerales a diferentes dosis y concentraciones de oxidante tienen efecto similar para sólidos disueltos.

**Tabla 11. Análisis de varianza para sólidos disueltos**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Catalizador mineral	1	775428	775428	2,72	0,125
Dosis del catalizador (g)	2	42870	21435	0,08	0,928
% Oxidante	2	92080	46040	0,16	0,853
Error	12	3418066	284839		
Total	17	4328444			

Aspiazu, 2020

En la tabla 12 se presenta el análisis de varianza multifactorial para el parámetro coliformes totales, se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de catalizadores, variación de dosis y concentraciones del oxidante, debido a que su valor p fue mayor que el nivel de significancia (0,05); por lo cual se acepta hipótesis nula dónde los tratamientos con catalizadores minerales a diferentes dosis y concentraciones de oxidante tienen efecto similar para coliformes totales.

**Tabla 12 Análisis de varianza para coliformes totales**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Catalizador mineral	1	0,05556	0,05556	0,37	0,552
Dosis del catalizador (g)	2	0,33333	0,16667	1,13	0,357
% Oxidante (H2O2)	2	0,33333	0,16667	1,13	0,357
Error	12	1,77778	0,14815		
Total	17	2,5			

Aspiazu, 2020

#### 4.1.5 Tratamiento más efectivo

En la figura 7 se observa el resumen de los tratamientos más efectivos por parámetros. En turbidez el tratamiento que presentó el mayor efecto de remoción fue Zeolita a dosis de 5 gramos y concentración 3% de oxidante ( $H_2O_2$ ) alcanzando el 96,36% de remoción. En sólidos disueltos, el tratamiento que presentó el mayor efecto de remoción fue Zeolita a dosis de 15 gramos y concentración 50% de oxidante ( $H_2O_2$ ) alcanzando el 51,56% de remoción. En coliformes totales, la mayoría de tratamientos alcanzó el 100% de remoción.

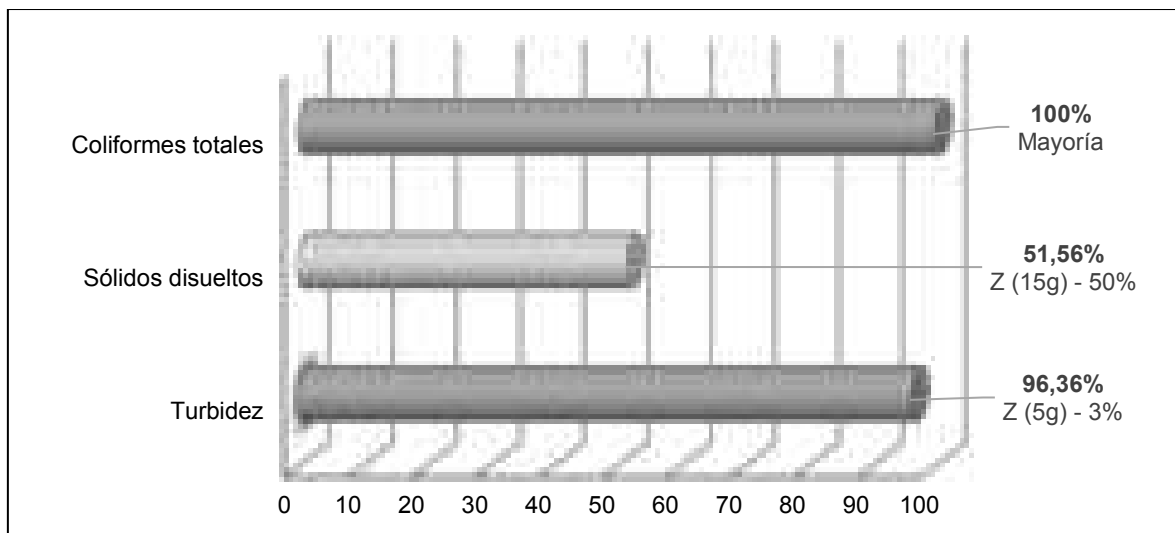


Figura 7. Tratamientos más efectivos por parámetro  
Aspiazu, 2020

#### 4.2 Caracterización de las condiciones de operación de la laguna recreativa Viernes Santo para la implementación de un proceso de purificación

En la caracterización de la laguna se evidenció que el tratamiento primario o tratamiento físico cribado impide el paso de desechos mediante rejillas, permitiendo solo el paso del agua que proviene del estero, intercambiándola con las mareas. Mediante los resultados obtenidos, se propone la implementación de realizar un proceso de purificación en dicha laguna mediante un POA utilizando catalizadores minerales y como oxidante el  $H_2O_2$  previos (ver Figura 8).

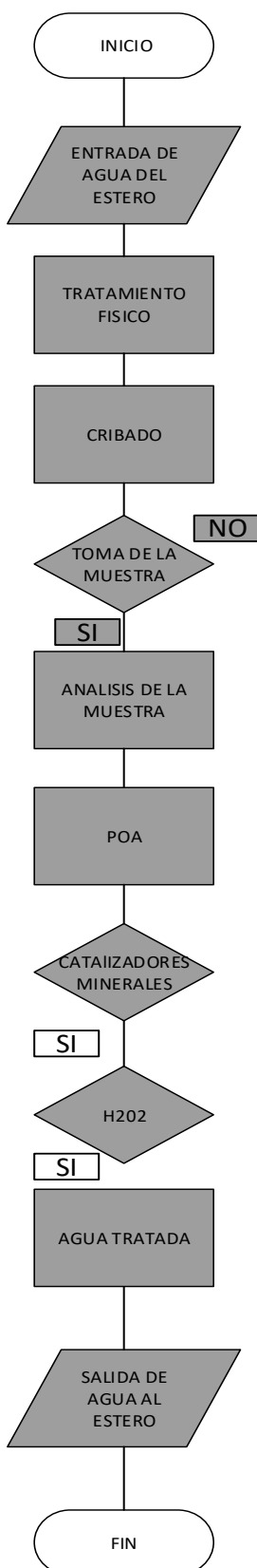


Figura 8. Diagrama de flujo sobre la caracterización de las condiciones de operación de la laguna recreativa Viernes Santo para la implementación de un proceso de purificación  
Aspiazu, 2020

### 4.3 Evaluación de los impactos negativos ambientales en la laguna del estero

#### Viernes Santo en Guayaquil

##### 4.3.1 Consecuencias de un alto nivel de contaminantes.

En la Figura 9, se observa el valor inicial y el valor final del tratamiento más efectivo para el parámetro turbidez, los cuales se comparan con el límite máximo permisible (línea roja). El valor inicial de turbidez de la muestra tomada del estero Viernes Santo sobrepasa el LMP, esto representa afectación para el medio, según Bolaños et al. (2015) un nivel elevado de turbidez y sólidos disueltos favorece mayor crecimiento de plantas en el cuerpo de agua.

La turbidez y la cantidad de sólidos disueltos reduce la penetración de la luz en los cuerpos de agua; al disminuir la cantidad de luz, se afecta a la fotosíntesis que realizan los organismos fitoplanctónicos, al igual que la vegetación que se encuentra sumergida. La productividad de los peces depende totalmente de la vida de las plantas de la fauna del fondo, por tanto, la turbidez es muy elevada, el sistema ecológico estará en peligro (Borbolla-Sala et al., 2003).

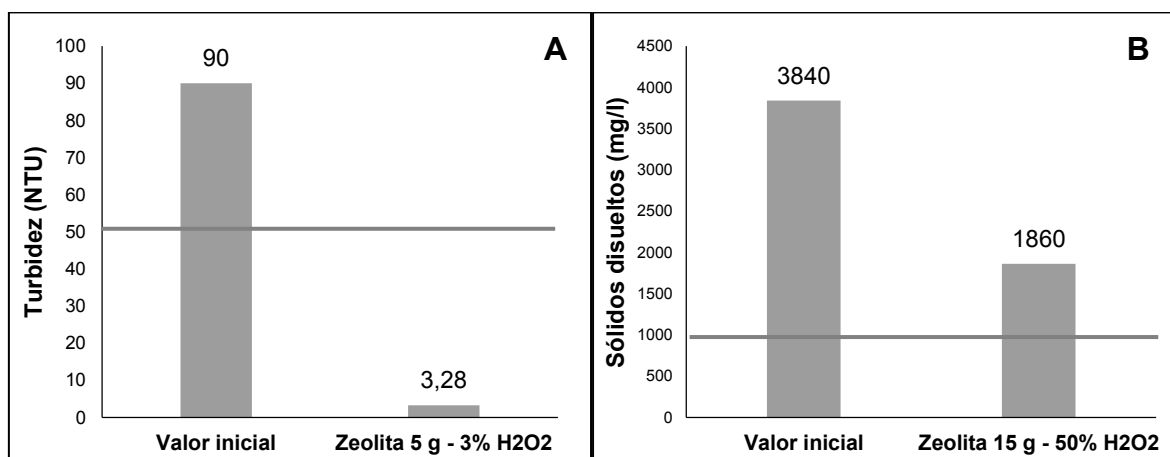


Figura 9. Comparación de los resultados de turbidez (A) y sólidos disueltos (B) con el límite máximo permisible (LMP). La línea roja indica el valor del LMP.

Aspiazu, 2020



### 4.3.2 Determinación del Índice de calidad de agua

Para evaluar el estado actual del agua del estero Viernes Santo se aplicó un ICA, mismo que se aplicó antes (ver Tabla 13) y después de los tratamientos (ver Tabla 14), considerando los valores más bajos obtenidos para comprobar el grado de Recuperabilidad. Se ajustó el ICA a los parámetros de estudio y se determinó que el agua del estero Viernes Santo presenta contaminación con un ICA de 39,47; sin embargo, si se aplican los tratamientos, principalmente de Zeolita, es posible que la calidad del agua del estero mejore, llegando a un ICA del 80.

**Tabla 13. Índice de calidad del agua para la muestra inicial**

Parámetro	Unidad	Resultados	Ecuación del parámetro	Ponderación	I	P*I	ICA
Turbidez	NTU	90	I: 108 (90) -0,178	0,5	48,48	24,240334	Contaminado
Sólidos disueltos	mg/l	3840	I: 266,5 (3840) - 0,37	1	12,57	12,574614	
Coliformes totales	NMP	15	I: 97,5 (15) -0,27	3	46,93	140,79305	
<b>Sumatoria de ponderación</b>				<b>4,5</b>	<b>Sumatoria de P*I</b>	177,608	<b>39,47</b>

Aspiazu, 2020

**Tabla 14. Índice de calidad del agua post-tratamientos**

Parámetro	Unidad	Resultados	Ecuación del parámetro	Ponderación	I	P*I	ICA
Turbidez	NTU	3,28	I: 108 (3,28) -0,178	0,5	87,42	43,708733	No contaminado
Sólidos disueltos	mg/l	1860	I: 266,5 (1860) - 0,37	1	16,44	16,442862	
Coliformes totales	NMP	0	I: 97,5 (0) -0,27	3	100,00	300	
<b>Sumatoria de ponderación</b>				<b>4,5</b>	<b>Sumatoria de P*I</b>	360,1516	<b>80,03</b>

Aspiazu, 2020

### 4.3.1 Análisis de impacto ambiental mediante matriz

Se ajustó la Tabla 15 de Conesa-Fernández como se cita en Ruberto (2006), para determinar los impactos negativos de la laguna Viernes Santo al estero cercano. Se analizaron dos componentes relacionados al recurso agua, calidad de superficial y calidad paisajística, determinando que el impacto generado en ambos componentes es negativo y moderado.

**Tabla 15. Matriz de impacto ambiental**

Componente	Naturaleza	Intensidad	Extensión	Momento	Persistencia	Sinergia	Acumulación	Efecto	Periodicidad	Recuperación	Importancia	Calificación
Calidad de agua superficial	-	6	4	3	2	2	4	4	4	4	33	Moderado
Calidad paisajística del estero	-	6	2	2	2	2	1	2	2	4	23	Moderado

Aspiazu, 2020

## 5. Discusión

En esta investigación se evaluó la eficiencia de 2 catalizadores minerales, carbón activado y zeolita, además de la dosis efectiva del oxidante  $H_2O_2$ , como método de remediación en tratamientos no convencionales aplicados en el agua de la laguna estero Viernes Santo, en la ciudad de Guayaquil. Se utilizaron diferentes tratamientos utilizando un diseño completamente al azar en donde se experimentaron un total de 18 repeticiones (ver tabla 2 y 3), posterior se realizó el análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos.

Según Gavilanes (2019), el porcentaje de eficiencia en la remoción de la turbiedad con dosis altas de peróxido de hidrógeno al 50%, carbón activado y zeolita es mayor al 90% de efectividad, los mismos que a medida que disminuyen las dosis en ml del  $H_2O_2$  el porcentaje de remoción disminuye en el tratamiento de lixiviados, estos resultados tienen similitud con los ensayos realizados en esta investigación el cual obtuvo el 96% de remoción con la zeolita y el 95% con el carbon activado respresentado en dosis minima porcentual del peróxido de hidrogeno al 3%.

Según Martínez & Román (2017) evaluarón las condiciones en un proceso fentón de oxidacion avanzada, utilizando el carbón activado como elemento emergente en la remoción de turbiedad, solidos disueltos y metales pesados. La reacción fentón sin el carbón activado alcanzó un porcentaje de remoción de los contaminantes en un 46% y 43% respectivamente, una vez agregado el carbón activado su efectividad aumentó al 99%, se confirmó ademas la la eficiencia del peróxido de hidrógeno en la concentración al 50%.

## 6. Conclusiones

Según el presente estudio determinamos las concentraciones mínimas del proceso de oxidación avanzada, obteniendo como resultado la efectividad en dosis bajas de zeolita y carbón activado, además de la concentración H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 3% para los parámetros analizados.

En la caracterización de la operación en la laguna recreativa Viernes Santo, se realizó mediante la ayuda de un diagrama de flujo del proceso de purificación a implementar con los resultados obtenidos en los análisis antes descritos, se propone un proceso de oxidación avanzada con catalizadores minerales y peróxido de hidrógeno como oxidante.

Por consiguiente, con los resultados ya obtenidos estimamos los impactos negativos ambientales en la laguna del Estero Viernes Santo, al tener una elevada turbiedad y alto contenido de sólidos disueltos reducen la penetración de luz en un cuerpo de agua, mediante un ICA índice de calidad de agua y una matriz de impacto ambiental se ponderaron los impactos negativos que se dan.

## **7. Recomendaciones**

Para lograr una mayor efectividad de los catalizadores en las muestras analizadas es importante dejar que las muestras reposen por el lapso de 24 horas en los cuales nos arrojó mejores resultados.

Según lo antes mencionado, al comprobar que el resultado de la concentración del peróxido de hidrogeno es efectiva se podría considerar como una alternativa económicamente viable, además de no generar residuos que puedan afectar el ecosistema de la laguna.

Es importante considerar que para la caracterización de la laguna recreativa se debe tomar en cuenta todos los parámetros que se analizaron y la efectividad de los mismos, para poder realizar un correcto proceso de purificación mediante la implementación de un diagrama de flujo.

## 8. Bibliografía

- Arturo, F. (2009). *Herramientas estadísticas de comparación de mas de 2 muestras*. Madrid: Universidad Pontifica Icade. Obtenido de <https://web.cortland.edu/matresearch/ANOVA-I.pdf>
- Benítez, P., & Miranda, L. (2013). Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 7-23. doi:0188-4999
- Bes Monge, S. (2018). *Manual técnico de procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales*. Barcelona: Cytel.
- Bolaños, J., Montero, N., Rodríguez, N., & Sánchez, A. (2015). Calidad de aguas superficiales: estudio de la quebrada Estero, ubicada en el cantón de San Ramón, Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, 15(25), 61-76.
- Borbolla-Sala, M. E., Cruz-Vázquez, L. d., Piña-Gutiérrez, O. E., & Fuente - Gutiérrez, J. (2003). Calidad del agua en Tabasco. *Salud en tabasco*, 9(1), 170-177.
- Buthiyappan, A., Abdul Aziz, A. R., & Ashri Wan Daud, W. M. (2016). Recent advances and prospects of catalytic. *Reviews in Chemical Engineering*, 1-47. Retrieved from <https://www.degruyter.com/view/j/revce.2016.32.issue-1/revce-2015-0034/revce-2015-0034.xml>
- Cabrera, H. (1975). Origen y transporte de sedimentos en estuarios. *Ciencias Marinas*, 106-114.
- Carrillo, C., Albarracin, J., & Pereira, X. (2013). Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz - una revisión. *Scientia et technica*, 422-429.

- Carvalho, R. (2016). *Modificación química superficial de carbones mesoporosos activados*. España: Universidad de Extremadura.
- Corma, A. (2011). Catálisis con zeolitas: Desde el laboratorio a su aplicación industrial. *Ciencia, Pensamiento y Cultura*, 187.
- De la Cruz, N., Giménez, J., Esplugas, S., Grandjean, D., De Alencastro, L., & Pulgarín, C. (2012). The highlight of this paper is to point out the possibility of the micropollutants. *Water Research*, 1947-1957. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135412000346>
- Doocey, D., Sharrat, P., Cundy, C., & Plaisted, R. (2004). Zeolite-Mediated Advanced Oxidation of Model Chlorinated Phenolic Aqueous Waste: Part 2: Solid Phase Catalysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 359-364.
- Fikri, A. (31 de Julio de 2019). ONU. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2019/07/1460041>
- Forero, J., Ortiz, O., & Rios, F. (2005). Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería. *Ciencia y tecnología futuro*, 97-108.
- García Muñoz, P., Zazo, J. A., Pliego, G., Bahamonde, A., & Casas, J. A. (2016). Ilmenite (FeTiO<sub>3</sub>) as low cost catalyst for Advanced Oxidation Processes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 542-548. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/285782930\\_Ilmenite\\_FeTiO3\\_as\\_low\\_cost\\_catalyst\\_for\\_Advanced\\_Oxidation\\_Processes](https://www.researchgate.net/publication/285782930_Ilmenite_FeTiO3_as_low_cost_catalyst_for_Advanced_Oxidation_Processes)
- González, A., Esteban, H., Valcárcel, R., Hernández, B., & Gil, d. M. (2010). Contaminación del agua en fuentes cercanas a campos petrolíferos de

- Bolivia. *Revi Panam Salud Publica*, 235-243. Obtenido de <https://www.scielosp.org/article/rpsp/2010.v28n4/235-243/es/>
- Guan, R., Yuan, X., Wu, Z., Jiang, L., Li, Y., & Zeng, G. (2018). Principle and application of hydrogen peroxide based advanced oxidation processes in activated sludge treatment: A review. *Chemical Engineering Journal*, 519-530. doi:doi.org/10.1016/j.cej.2018.01.153
- Gurdián, R., & Coto, J. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*, 18-26. Obtenido de [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/138/137](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/138/137)
- Huanca, P., Paredes, B., Rodríguez, M., Gonzales, D., Tejada, T., & Chavez, J. (2018). Caracterización y aplicación de una zeolita natural de Ocuvirí Perú para la remoción de plomo(II) en solución a nivel laboratorio. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 1-12.
- Long Wang, J., & Jin Xu, L. (2012). Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Formation of Hydroxyl Radical and Application. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 251-325. doi:<https://doi.org/10.1080/10643389.2010.507698>
- Maheux, A., Boudreau, D., Bisson, M., Dion-Dupont, V., Bouchard, S., Nkuranga, M., . . . Rodríguez, M. (2014). Molecular Method for Detection of Total Coliforms in Drinking Water Samples. *Applied and Environmental Microbiology*, 4074-4084. doi:DOI: 10.1128/AEM.00546-14
- Malacatus, P., Chamorro, E., & Orellana, G. (2017). Análisis de eficiencia de remoción de contaminantes de los sistemas de tratamiento de aguas



- residuales en extracción de aceite de palma. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 2(7), 61-68.
- Martínez, M. (2012). *Preparación y caracterización de carbón activo a partir de lignina para su aplicación de procesos en descontaminación de agua*. Madrid: Universidad autónoma de Madrid.
- Martínez, R., & Román, S. (2017). *Estudio del proceso de oxidación avanzada por medio de la reacción fentón en aguas residuales provenientes de plantas extractoras de oro*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20469>
- Montoya, M., Contreras, C., & García, V. (1997). *Estudio Integral de la Calidad del Agua en el Estado de Jalisco*. Guadalajara, México: Reg. Lermasantiago.
- Muñoz, C., & Chaparro, T. (2014). Combinación de procesos de oxidación avanzada y procesos anaerobios para tratamientos de aguas residuales hospitalarias. *ResearchGate*.
- Onu. (2015). *Objetivo 14: Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/oceans/>
- Pelayo, D. (2018). *Advanced oxidation processes: recent advances and future trends*. Santander: Universidad de Cantabria.
- Peñafiel, M., Vallejo, A., & Chalen, J. (2017). Evaluación de la calidad físico-química en aguas y sedimentos del estero salado en el noroeste de América Latina. *Rev, Pol. Con*, 641-669. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/151/pdf#>

- Pernia, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez, N., Ramírez, L., Bravo, K., . . . Josué, Z. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Rev Enfoque UTE*, 89-105. Retrieved from [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-65422018000200089#aff1](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422018000200089#aff1)
- Pey, J. (2008). *Aplicación de procesos de oxidación avanzada (fotocatálisis solar) para el tratamiento y reutilización de efluentes textiles*. Valencia: Universitat politécnica de Valencia.
- Rivera, V. (2016). *Estudio de las concentraciones por Metales Pesados e Hidrocarburos en el Ramal B Del Estero Salado*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil., Facultad de Ingeniería Química. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/13052>
- Roberto, A., Vincenzo, C., Amedeo, I., & Raffaele, M. (1999). Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. *elsevier*, 51-59.
- Rodriguez, J. M., & Marín, R. (1999). *Fisico quimica de aguas*. Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos S.A.
- Rodríguez, J., Harnández, L., Silva, C., Alvarado, H., Mariscal, R., Garcia, F., & Mariscal, W. (2017). Evaluación de la contaminación físico-química y microbiológica de aguas del estero salado. *Dominio de las ciencias*, 672-691.
- Ruberto, R. A. (2006). *Guía metodológica impacto ambiental.pdf*. Recuperado el 2019

- Sanchez, M. (2019). *Efecto de la distancia de siembra y método de siembra sobre características morfológicas, agronómicas y composición proximal del cultivo de yuca, en un diseño factorial 2 x 3*. Bogota: Los Libertadores.
- Sanchez, R. G., & Garcia, K. J. (2018). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CARGAS INDUSTRIALES CON OXIDACIÓN AVANZADA EN SISTEMAS CONVENCIONALES. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 103-111. Obtenido de [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-85962018000100103](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-85962018000100103)
- Santibañez, S. (2017). *Evaluación de la toxicidad de un efluente tratado de agua residual hospitalaria acoplado un tratamiento con zeolita natural modificada con hexadeciltrimetilamonio (HDTMA)*. México: Universidad Autónoma del estado de México.
- Scalize, P., Fernandes, N., Arruda, P., Ferreira, N., Cunha, E., & Santos, A. (2014). AVALIAÇÃO DA TURBIDEZ EM AMOSTRAS DE ÁGUA TRATADA COLETADAS NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DE GOIÁS. *Revista Monografias Ambientais - REMOA*, 3429-3436. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/285566252\\_AVALIACAO\\_DA\\_TURBIDEZ\\_EM\\_AMOSTRAS\\_DE\\_AGUA\\_TRATADA\\_COLETADAS\\_NOS\\_MUNICIPIOS\\_DO\\_ESTADO\\_DE\\_GOIAS/link/571cb7c608ae7f552a48eda0/download](https://www.researchgate.net/publication/285566252_AVALIACAO_DA_TURBIDEZ_EM_AMOSTRAS_DE_AGUA_TRATADA_COLETADAS_NOS_MUNICIPIOS_DO_ESTADO_DE_GOIAS/link/571cb7c608ae7f552a48eda0/download)
- Stern, D. R. (2008). En D. R. Stern, *Extraterrestres, humanos, dioses y estrellas* (págs. 315-316). Equipo sirius.
- Terán, M. (2016). *Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas*. Barcelona: Universitat politècnica de Catalunya.

- Unesco. (2017). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP)*. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-41-natural-arsenic-pollution/>
- Ureta, R. (2002). *Estudio de la calidad de agua, sedimentos y organismos del ecosistema circundante al Balneario La Playita en El Estero Salado (Estero Cobina)*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Valero, M. d. (2017). *Desarrollo de nuevos fotocatalizadores de dióxido de titanio para la fotodegradación de contaminantes en aguas utilizadas para el tratamiento post cosecha de frutas*. Valencia: Universitat Politècnica de València. Departamento de Química - Departament de Química.
- World Health Organization. (2003). *Guidelines for safe recreational water environments*. Ginebra.

## 9. Anexos

### 9.1 Figuras complementarias



Figura 10. Ubicación geográfica del punto de muestreo  
Google Earth, 2020



Figura 11. Caracterización de muestras iniciales  
Aspiazu, 2020



Figura 12. Tratamiento 2 con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% de concentración  
Aspiazu, 2020.



Figura 13. Determinación de Sólidos disueltos en muestra inicial  
Aspiazu, 2020



Figura 14. Determinación de sólidos disueltos en tratamiento 1 con zeolita  
Aspiazu, 2020



Figura 15. Determinación de sólidos disueltos en tratamiento 3 con zeolita.  
Aspiazu, 2020



Figura 16. Determinación de coliformes totales en muestra inicial y tratamiento 1.  
Aspiazu, 2020

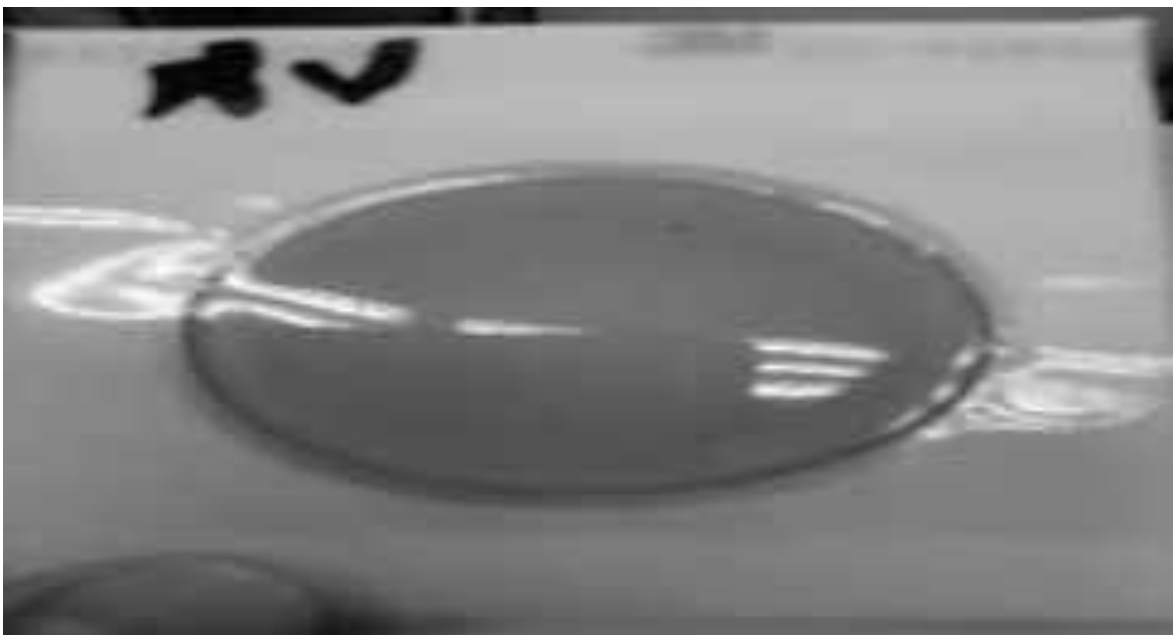


Figura 17. Determinación de coliformes totales en muestra inicial.  
Aspiazu, 2020





Figura 18. Tratamiento 3 con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 3% de concentración.  
Aspiazu, 2020



Figura 19. Determinación de sólidos disueltos en tratamiento 3 con zeolita.  
Aspiazu, 2020



Figura 20. Determinación de sólidos disueltos en prueba con Carbón Activado. Aspiazu, 2020



Figura 21. Determinación de turbiedad con zeolita en tratamiento 2. Aspiazu, 2020



Figura 22. Determinación de turbiedad con zeolita en tratamiento 3.  
Aspiazu, 2020



Figura 23. Determinación de coliformes totales en tratamiento 2.  
Aspiazu, 2020

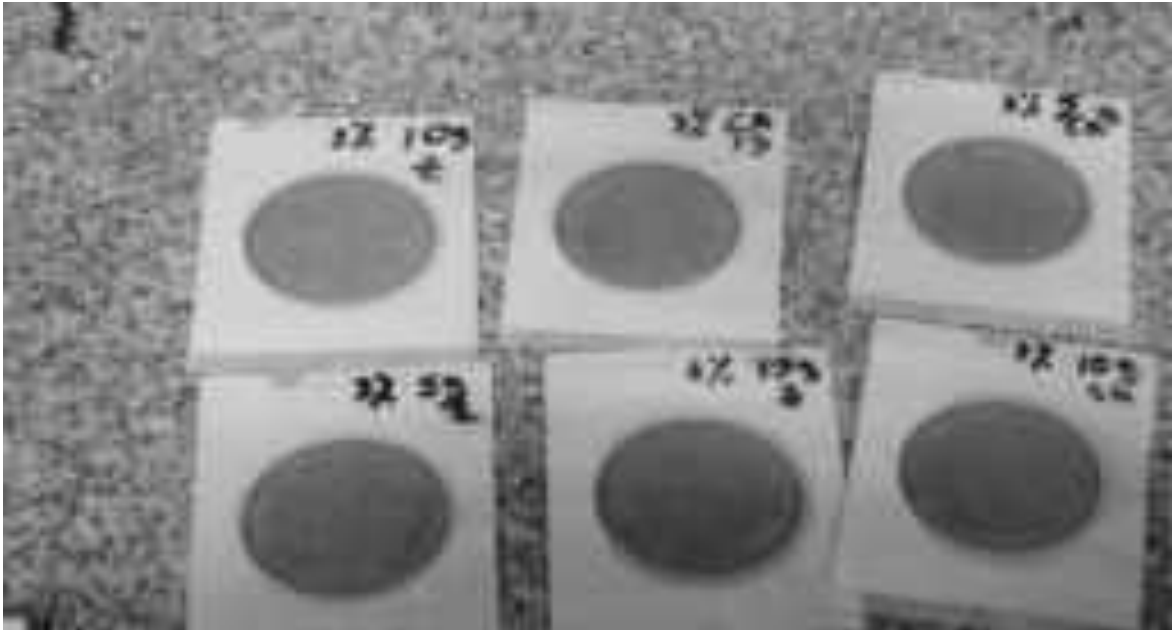


Figura 24. Determinación de coliformes totales en tratamiento 3.  
Aspiazu, 2020

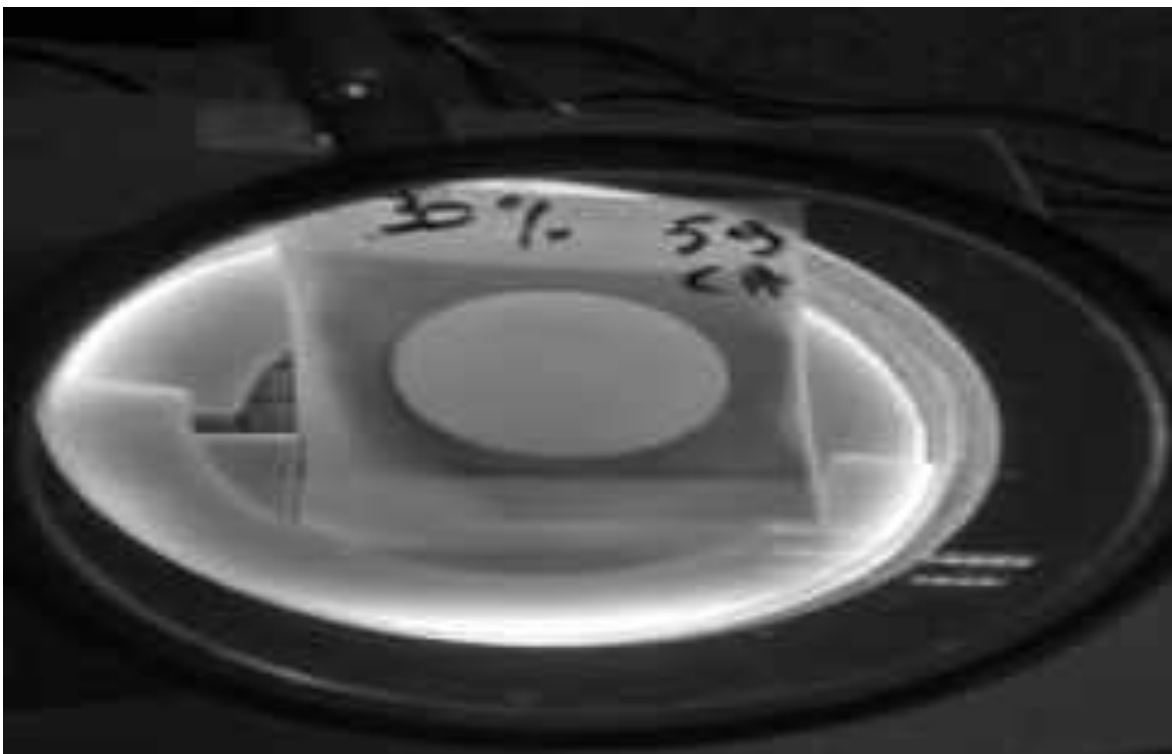


Figura 25. Lectura de coliformes totales en tratamiento 2 con carbón activado  
Aspiazu, 2020