

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**La calidad del agua y la eutrofización en la zona estuarina del
Estero Salado en Guayaquil, Ecuador**

**Tesis Para optar el grado académico de Doctor en Ciencias
Ambientales**

Autora: Mg. Ana de las Mercedes Grijalva Endara

Tumbes, 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**La calidad del agua y la eutrofización en la zona estuarina del
Estero Salado en Guayaquil, Ecuador**

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Miguel Antonio Puestas Chully (Presidente)

Dr. Javier Mijahuanca Infante (Secretario)

Dr. Leocadio Malca Acuña (Miembro)

Tumbes, 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**La calidad del agua y la eutrofización en la zona estuarina del
Estero Salado en Guayaquil, Ecuador**

**Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido
y forma:**

Mg. Ana de las Mercedes Grijalva Endara (Autora)

Ana Grijalva E.

Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete (Asesor)

Dr. Víctor Manuel Reyes (Co-asesor)

Tumbes, 2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
Licenciada
Resolución del Consejo Directivo N° 155-2019-SUNEDU/CD
ESCUELA DE POSGRADO
Tumbes – Perú

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En Tumbes, a los diecinueve días de abril del dos mil veintidós, a las quince horas y mediante la modalidad virtual por la plataforma zoom, se reunieron los miembros del jurado designados con Resolución Directoral N° 026-2021/UNTUMBES-EPG-D: Dr. Miguel Antonio Puescas Chully, (presidente), Dr. Javier Mijahuanca Infante, (secretario), Dr. Leocadio Malca Acuña, (miembro) y además, al Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete, asesor, para proceder al acto de la sustentación y defensa de la tesis: **La calidad del agua y la eutrofización en la zona estuarina del estero salado de Guayaquil, Ecuador**, presentado por la doctoranda de Ciencias Ambientales, Ana de las Mercedes Grijalva Endara.

Concluida la exposición y sustentación, absueltas las preguntas y efectuadas las observaciones, la declaran: **APROBADA CON EL CALIFICATIVO SOBRESALIENTE**, dando cumplimiento al Artículo 91° del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado, de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las dieciséis horas con 20 minutos, se dio por concluido el acto académico, y dando conformidad se procedió a firmar la presente acta.

Tumbes, 19 de abril de 2022.

Dr. Miguel Antonio Puescas Chully
DNI N° 02660522
Presidente de Jurado

Dr. Javier Mijahuanca Infante
DNI N° 00227398
Secretario de Jurado

Dr. Leocadio Malca Acuña
DNI N° 00250560
Miembro de Jurado

Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete
DNI N° 16532820
ORCID N° 0000-0002-3324-3741
Asesor

C.c. Jurado de Tesis (3), Asesor (1), sustentante (1), UI (2)

DEDICATORIA

*A Dios, porque es “**todo**”, fuera de él nada existe.*

A mi familia, principio y fin de días llenos de amor incondicional.

A mis ancestros, por transmitirme la inquietud del constante conocimiento.

A los amigos que se convirtieron en colaboradores, confidentes y guías.

A la vida y mis circunstancias, justificación de evolución.

Ana de las Mercedes

AGRADECIMIENTO:

A la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Químicas, mi Alma Máter, fuente de sabiduría y oportunidades.

A la Universidad Nacional de Tumbes, pionera del conocimiento en Perú, país pletórico de gente amable. A sus autoridades, profesores y personal.

Al Instituto Nacional de Pesca, de modo especial a la M.Sc. Patricia Macías Mora, ser humano incomparable.

A los maestros, Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete, Dr. Miguel Antonio Puescas Chully, Dr. Víctor Manuel Reyes y Dr. Aníbal Mejía Benavides por el constante asesoramiento, la generosidad al compartir sus conocimientos, y sobre todo la amistad brindada.

A Carmen Quezada, Jennifer Arias, Gissela Solorzano, Karla Farro, Pamela Florencia, Laura Lara, Diego Caza, Erick Menéndez, Freddy Magallanes, Jean López y Byron Sucuy, quienes entendieron que el Estero Salado es más que un cuerpo de agua que rodea la urbe de nuestra querida Guayaquil.

A mis compañeros del Doctorado en Ciencias Ambientales, juntos hemos incrementado conocimientos y habilidades en procesos de sustentabilidad, manejo de recursos naturales, tecnología, ambiente y salud; pero principalmente ahora nos reconocemos hermanos y ciudadanos del mundo, con la meta común de ser parte significativa de las soluciones ambientales que requiere nuestro planeta.

Gracias a todos...

La Autora

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
RESUMO	13
CAPÍTULO I.....	¡Error! Marcador no definido.
1. INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO II.....	¡Error! Marcador no definido.
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO III.....	¡Error! Marcador no definido.
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1. Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis.....	¡Error! Marcador no definido.
3.2. Población, muestra y muestreo	¡Error! Marcador no definido.
3.3. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	¡Error! Marcador no definido.
3.4. Plan de procesamiento y análisis de datos.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO IV	¡Error! Marcador no definido.
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
4.1. Resultados	¡Error! Marcador no definido.
4.2. Discusión	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO V	¡Error! Marcador no definido.
5. CONCLUSIONES.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO VI	¡Error! Marcador no definido.
6. RECOMENDACIONES	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO VII.....	¡Error! Marcador no definido.
7. RECOMENDACIONES	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO VIII	¡Error! Marcador no definido.
8. ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1: Categorización del índice ICA calculado y sus consideraciones para el uso del agua.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 2: Concentración de nutrientes en un cuerpo de agua marino-costero.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 3: Nivel trófico referencial y calidad del agua según el índice TRIX.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 4: Contrastes de Hipótesis.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 5 : Operacionalización de la variable independiente.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 6: Operacionalización de la variable dependiente.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 7: Georreferenciación de las estaciones de muestreo.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 8: Parámetros y métodos de Laboratorio.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 9: Estación Puerto Portete, resumen de los parámetros.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 10: Estación Puente de la 17, resumen de los parámetros.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 11: Estación Puente Velero, resumen de los parámetros.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 12: Estación Puente Zig Zag, resumen de los parámetros.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 13: Estación Puente Las Monjas, resumen de los parámetros.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 14: Estación Puente Kennedy, resumen de los parámetros.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 15: Estación Puente Ecológico, resumen de los parámetros.....	¡Error! Marcador no definido.

Cuadro 16: Resumen descriptivo y análisis post-hoc de los parámetros – Temporada lluviosa vs Temporada seca, según estación. **¡Error! Marcador no definido.**

Cuadro 17: Calidad del agua de la zona estuarina del Estero Salado de la ciudad de Guayaquil, Ecuador. **¡Error! Marcador no definido.**

Cuadro 18: Nivel del estado de eutrofización de la zona estuarina del Estero Salado de la ciudad de Guayaquil, Ecuador a partir de los índices ICA y TRIX. **¡Error! Marcador no definido.**

Cuadro 19: Análisis comparativo de la sensibilidad de los índices de eutrofización ICAC y TRIX en la zona estuarina del Estero Salado de la ciudad de Guayaquil, Ecuador. **¡Error! Marcador no definido.**

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Estructura del Plan de Procesamiento y análisis de datos. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 2: Mapa del área de estudio. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 3: Parámetros con diferencias significativas – Temporada Lluviosa vs Temporada seca. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 4: Variaciones estacionales de los sólidos en suspensión en los transeptos estudiados del Estero Salado. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 5: Variaciones estacionales de la conductividad eléctrica en los transeptos estudiados del Estero Salado. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 6: Variaciones estacionales del oxígeno disuelto en los transeptos estudiados del Estero Salado. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 7: Variaciones estacionales del DBO en los transeptos estudiados del Estero Salado. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 8: Variaciones estacionales de la dureza en los transeptos estudiados del Estero Salado. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 9: Variaciones estacionales de nitrógeno amoniacal en los transeptos estudiados del Estero Salado. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 10: Variaciones estacionales del nitrógeno de nitratos en los transeptos estudiados del Estero Salado. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 11: Variaciones estacionales de los fosfatos en los transeptos estudiados del Estero Salado. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 12: Variaciones estacionales de coliformes fecales en los transeptos estudiados del Estero Salado. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 13: Variaciones estacionales de coliformes totales en los transeptos estudiados del Estero Salado. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 14: Variaciones del índice de calidad del agua (ICA) en los transeptos estudiados del Estero Salado. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 15: Comparación del Índice TRIX para las estaciones de muestreo. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 16: Variaciones del Índice TRIX en los transeptos estudiados del Estero Salado. ¡Error! Marcador no definido.	

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1: Instrumento de recolección de información sobre parámetros de medición.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2: Secuencia metodológica de la investigación.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 3: Matriz de consistencia del proyecto de investigación científica.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 4: Registro fotográfico del trabajo de campo en el proceso de toma y preservación de muestras del proyecto de investigación científica. .	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 5: Registro fotográfico del análisis de muestras.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 6: Registro de campo.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 7: Registro de datos Nutrientes.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 8: Registro de datos físicoquímicos.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 9: Registro de datos físicos y microbiológicos..	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 10: Gráficos mensuales del Índice TRIX.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 11: Informe de similitud mediante el software Turnitin.	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

El presente estudio intitulado: “La calidad del agua y la eutrofización en la zona estuarina del Estero Salado en Guayaquil, Ecuador”, pretende valorar el estado ecosistémico, considerando indicadores fisicoquímicos y ambientales. El objetivo en esta investigación fue “Evaluar la calidad del agua y el estado de la eutrofización en la zona estuarina del Estero Salado de la ciudad de Guayaquil, Ecuador”. Investigación aplicada de enfoque cuantitativo, de tipo de estudio descriptivo-explicativo causal, de diseño experimental, de corte longitudinal; se utilizó como instrumento de investigación la revisión de series históricas: nutrientes inorgánicos, indicadores químicos, indicadores físicos e indicadores biológicos, en el año 2020, para siete puntos de muestreo. Se calcularon estadísticos descriptivos y de variabilidad, para determinar índices de contaminación. Se contrastó con el valor de referencia para cuerpos estuarinos del Ecuador (Norma TULSMA, 2015), y una comparación entre estaciones (Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para muestras independientes; $\alpha = 0.05$). Algunos parámetros de evaluación de calidad de agua superaron el límite permisible de la norma, reflejado en el Índice ICA (rango: 50-54; poco contaminado). En cuanto al estado de eutrofización utilizando el índice TRIX reflejó un mayor grado de afectación, caracterizándolo como “nivel hipertrófico”. Se evidenció una diferenciación en cuanto a la sensibilidad de ambos índices, que manifiesta una afectación del sistema, se cumplen las pautas de permisividad exigidas por la norma TULSMA (2015). La contextualización del Estero Salado permitió concluir que, de acuerdo con el Índice ICA el agua se encuentra contaminada ligeramente, de modo diferencial entre los puntos de muestreo; sin embargo, el índice TRIX refleja un mayor grado de afectación del sistema caracterizándolo con un nivel hipertrófico, propio de la mala calidad, impulsado por la presión antrópica. Los resultados resaltan la necesidad de emprender planes de recuperación del estuario y permiten validar los índices ICA y TRIX.

Palabras Clave: Calidad de agua, eutrofización, estuarina, contaminación ambiental, índices de contaminación

ABSTRACT

The present study entitled: "Water quality and eutrophication in the estuarine zone of Estero Salado in Guayaquil, Ecuador", aims to assess the ecosystemic state, considering physicochemical and environmental indicators. The objective of this research was "To evaluate the water quality and the state of eutrophication in the estuarine zone of Estero Salado in the city of Guayaquil, Ecuador". Applied research with a quantitative approach, descriptive-explanatory causal study type, experimental design, longitudinal cut; the research instrument used was the review of historical series of: inorganic nutrients, chemical indicators, physical indicators and biological indicators, in the year 2020, for seven sampling points. Descriptive and variability statistics were calculated to determine contamination indexes. They were contrasted with the reference value for estuarine bodies in Ecuador (TULSMA Standard, 2015), and a comparison between stations (Kruskal Wallis nonparametric test for independent samples; $\alpha = 0.05$). Some water quality assessment parameters exceeded the permissible limit of the standard, reflected in the AQI Index (range: 50-54; slightly polluted). Regarding the eutrophication status using the TRIX index, it reflected a higher degree of affectation, characterizing it as "hypertrophic level". A differentiation was evidenced in terms of the sensitivity of both indexes, which manifests an affectation of the system, the permissiveness guidelines required by the TULSMA (2015) standard are met. The contextualization of Estero Salado allowed concluding that, according to the ICA Index the water is slightly polluted, differentially between sampling points; however, the TRIX index reflects a higher degree of affectation of the system characterizing it with a hypertrophic level, typical of poor quality, driven by anthropic pressure. The results highlight the need to undertake estuarine recovery plans and allow validation of the ICA and TRIX indices.

Keywords: Water quality, Eutrophication, estuaries, environmental pollution, pollution indices

RESUMO

O presente estudo intitulado: "Qualidade da água e eutrofização na zona estuarina de Estero Salado em Guayaquil, Equador", visa avaliar o estado ecossistémico, considerando indicadores físico-químicos e ambientais. O objectivo desta investigação era "Avaliar a qualidade da água e o estado de eutrofização na zona estuarina do Estero Salado, na cidade de Guayaquil, Equador". Investigação aplicada com uma abordagem quantitativa, tipo de estudo causal descritivo-explicativo, desenho experimental, corte longitudinal; o instrumento de investigação utilizado foi a revisão de séries históricas de: nutrientes inorgânicos, indicadores químicos, indicadores físicos e indicadores biológicos, no ano 2020, para sete pontos de amostragem. As estatísticas descritivas e de variabilidade foram calculadas para determinar os índices de poluição. Foram contrastados com o valor de referência para corpos estuarinos no Equador (Padrão TULSMA, 2015), e uma comparação entre estações (teste não paramétrico de Kruskal Wallis para amostras independentes; $\alpha=0.05$). Alguns parâmetros de avaliação da qualidade da água excederam o limite permitido da norma, reflectido no Índice AQI (intervalo: 50-54; ligeiramente poluído). Quanto ao estado de eutrofização utilizando o índice TRIX, reflectiu um grau de afetação mais elevado, caracterizando-o como "nível hipertrófico". Houve provas de uma diferenciação em termos da sensibilidade de ambos os índices, o que mostra que o sistema é afectado; as directrizes de permissividade exigidas pela norma TULSMA (2015) são cumpridas. A contextualização do Estero Salado permitiu-nos concluir que, de acordo com o índice ICA, a água está ligeiramente poluída, diferentemente entre os pontos de amostragem; contudo, o índice TRIX reflecte maior deterioração do sistema, caracterizando-o com um nível hipertrófico, típico de má qualidade, impulsionado pela pressão antrópica. Os resultados sublinham a necessidade de empreender planos de recuperação estuarina e permitir a validação dos índices ICA e TRIX.

Palavras-chave: Qualidade da água, Eutrofização, estuários, poluição ambiental, índices de poluição