



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

CARRERA DE MEDIO AMBIENTE

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MEDIO AMBIENTE**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**TEMA:
CALIDAD DEL AGUA DEL ESTERO MACONTA AFECTADA POR
DESCARGAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DEL CANTÓN TOSAGUA**

**AUTORAS:
CORONEL MACÍAS JOSSELYN EMILIA
JARAMILLO MENDOZA AIDA JACQUELINE**


**TUTOR:
ING. JOSÉ MANUEL CALDERÓN PINCAY, M. Sc.**

CALCETA, MARZO DE 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

CORONEL MACÍAS JOSELYN EMILIA, con cédula de ciudadanía **1316238177** y **JARAMILLO MENDOZA AIDA JACQUELINE** con cédula de ciudadanía **1316541778**, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **CALIDAD DEL AGUA DEL ESTERO MACONTA AFECTADA POR DESCARGAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN TOSAGUA** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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




CORONEL MACÍAS JOSELYN EMILIA
CC: 1316238177



JARAMILLO MENDOZA AIDA JACQUELINE
CC: 1316541778

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

CORONEL MACÍAS JOSELYN EMILIA, con cédula de ciudadanía **1316238177** y **JARAMILLO MENDOZA AIDA JACQUELINE**, con cédula de ciudadanía **1316541778**, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **CALIDAD DEL AGUA DEL ESTERO MACONTA AFECTADA POR DESCARGAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN TOSAGUA**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



CORONEL MACÍAS JOSELYN EMILIA
CC: 1316238177



JARAMILLO MENDOZA AIDA JACQUELINE
CC: 1316541778

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

ING. JOSÉ MANUEL CALDERÓN PINCAY, M. Sc., certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular Titulado: **CALIDAD DEL AGUA DEL ESTERO MACONTA AFECTADA POR DESCARGAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN TOSAGUA**, que ha sido desarrollado por **CORONEL MACÍAS JOSELYN EMILIA** y **JARAMILLO MENDOZA AIDA JACQUELINE** previo a la obtención del título de Ingenieras en Medio Ambiente, de acuerdo con el **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. JOSÉ MANUEL CALDERÓN PINCAY, M. Sc.

CC: 2300121833

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **CALIDAD DEL AGUA DEL ESTERO MACONTA AFECTADA POR DESCARGAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN TOSAGUA**, que ha sido desarrollado por **CORONEL MACÍAS JOSELYN EMILIA** y **JARAMILLO MENDOZA AIDA JACQUELINE**, previo a la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo con el **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

MG. VERÓNICA M. VERA VILLAMIL.

CC: 1310201486

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

MG. JOFFRE A. ANDRADE

CANDELL

CC:

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

MG. CARLOS A. VILLAFUERTE

VÉLEZ

CC:

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Ante todo a Dios, por ser parte de nuestras vidas y habernos dado la fortaleza y sabiduría necesaria para superar cada obstáculo de nuestra vida académica.

A nuestros familiares que han sido un apoyo incondicional y fuente de nuestro deseo incesante de culminar esta maravillosa etapa de educación superior.

A nuestra Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” por haber sido nuestra casa durante estos años y formarnos como profesionales de calidad en esta maravillosa carrera de Ingeniería en Medio Ambiente.

A nuestros profesores que nos brindaron todos sus conocimientos con cariños y paciencia, pero en especial a nuestro tutor el Ing. José Manuel Calderón Pincay por su tenacidad y disposición para guiarnos en el desarrollo de nuestra tesis.

Y finalmente al Ing. Fabián Peñarrieta Macías y al Ing. Mario López Vera por su apoyo y asesoramiento brindado para la realización de nuestros análisis de laboratorio.

Autoras.

DEDICATORIA

En cada aspecto y etapa de nuestras vidas necesitamos el acompañamiento, apoyo y más que nada, de alguien quien crea en nosotros; alguien quien de forma incondicional, sin peros, ni mucho por obligación se encuentre ahí, a tu lado en todo momento; siendo sostén y abrigo, siendo quien te impulse y te motive, siendo quien te aconseje y te de consuele, ese alguien es Mi Madre, **Lcda. Claudia Marilin Macías Vera**, quien con su amor y dedicación ha sido participe de todo el trayecto que he tenido que transitar para llegar aquí a la consecución de mi título universitario.

Me ha brindado todo lo mejor de sí para lograr conseguir con éxito este propósito de vida, y por ello le otorgo este logro a ella, como muestra de agradecimiento y reciprocidad a todo el esfuerzo que le ha significado el estar siempre conmigo.

Josselyn Emilia Coronel Macías

DEDICATORIA

A Dios, por darme salud y fortaleza en el transcurso de este recorrido estudiantil durante todos estos años para lograr mis metas.

A mis padres por haberme dado la vida, pero en especial a mi madre **María Eufemia Mendoza Crespo** por ser el pilar fundamental para mi formación personal y académica, a mis hermanos **Darwin y Jefferson** por ser la inspiración para querer superarme y demostrarles que todo es posible en la vida.

A mi prometido el Ing. **José Andrés Intriago Quintana** por ser ese apoyo incondicional a mi carrera académica y ser mi ejemplo de perseverancia y constancia por prepararme cada día y superarme a mí misma.

Aida Jacqueline Jaramillo Mendoza

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
CONTENIDO GENERAL.....	ix
CONTENIDO DE TABLAS	xii
CONTENIDO DE FIGURAS	xiv
CONTENIDO DE FÓRMULAS	xv
RESUMEN	xvii
PALABRAS CLAVE	xvii
ABSTRACT	xviii
KEY WORDS.....	xviii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	3

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4. IDEA A DEFENDER.....	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. AGUAS RESIDUALES.....	4
2.2. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.....	4
2.3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	5
2.4. PROCESO DE TRATAMIENTO.....	6
2.4.1. QUÍMICOS.....	6
2.4.2. FÍSICOS.....	7
2.5. CALIDAD DEL AGUA.....	7
2.6. PARÁMETROS PARA MEDIR LA CALIDAD DE LAS AGUAS.....	8
2.6.1. FÍSICO-QUÍMICOS.....	8
2.6.2. BIOLÓGICOS.....	14
2.7. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).....	15
2.7.1. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO (ICA – NSF).....	15
2.7.2. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA DE FRANCISCO TORRES DE PUERTO RICO.....	19
2.7.3. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA DE OLGUÍN ET AL., DE MÉXICO	
20	
2.8. ÍNDICES DE CALIDAD EN EL RÍO PORTOVIEJO.....	22
2.9. ÍNDICES DE CALIDAD EN LA QUEBRADA “LA AYURÁ”.....	22

2.10.	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA CALIDAD DEL AGUA	23
2.10.1.	ACUERDO MINISTERIAL 097.....	23
CAPÍTULO III. Desarrollo METODOLÓGICO.....		24
3.1.	UBICACIÓN	24
3.2.	DURACIÓN.....	24
3.3.	MÉTODOS Y TÉCNICAS	24
3.3.1.	MÉTODOS.....	25
3.3.2.	TÉCNICAS.....	25
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA	27
3.5.	VARIABLES DE ESTUDIO	27
3.5.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE	27
3.5.2.	VARIABLE DEPENDIENTE	27
3.6.	PROCEDIMIENTOS	28
3.6.1.	FASE I. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS DESCARGAS DE LA PTAR.....	28
3.6.2.	FASE II. APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO (ICA-NSF), DE FRANCISCO TORRES DE PUERTO RICO, Y EL ÍNDICE PROPUESTO POR OLGUÍN Y COLABORADORES DE MÉXICO.....	29
3.6.3.	FASE III. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD APLICADOS EN EL ESTERO MACONTA CON LOS LÍMITES PERMISIBLES PARA CALIDAD DE AGUA	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		41

4.1. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS DESCARGAS DE LA PTAR 41	
4.2. APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO (ICA-NSF), DE FRANCISCO TORRES DE PUERTO RICO, Y EL ÍNDICE PROPUESTO POR OLGUÍN Y COLABORADORES DE MÉXICO	48
4.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD APLICADOS EN EL ESTERO MACONTA CON LOS LÍMITES PERMISIBLES PARA CALIDAD DE AGUA.....	54
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1. CONCLUSIONES	62
5.2. RECOMENDACIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	64

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2. 1. Calidad del agua asociada al valor del ICA (Escala de clasificación del ICA-NSF).....	18
Tabla 2. 2. Pesos relativos asignados a cada variable según el ICA-NSF.	19
Tabla 2. 3. Escala de Clasificación para el ICA-TORRES.....	20
Tabla 2. 4. Pesos relativos asignados a cada variable según el ICA Olguín et al	21
Tabla 2. 5. Escala de Clasificación para el ICA Olguín et al	21
Tabla 2. 6. Resultados del ICA-NSF en los puntos de tomas de muestras.....	22
Tabla 2. 7. Resultados de ICA-NSF	22

Tabla 3. 1. Método de análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos	27
Tabla 3. 2. Técnicas generales para la conservación de muestras de análisis físico - químicos....	30
Tabla 3. 3. Calidad del agua asociada al valor del ICA (Escala de clasificación del ICA-NSF).....	38
Tabla 3. 4. Escala de Clasificación para el ICA-TORRES.....	39
Tabla 3. 5. Pesos relativos asignados a cada variable según el ICA Olgún et al	40
Tabla 4. 1. Análisis de la descarga de aguas de la PTAR hacia el Estero Maconta del cantón Tosagua	46
Tabla 4. 2. Comparación de los resultados obtenidos con un estudio de Meseth (2013).....	47
Tabla 4. 3. Análisis de los parámetros seleccionados para el cálculo de los diferentes índices de calidad de agua de la presente investigación	51
Tabla 4. 4. Resultados del ICA - NSF en los diferentes puntos y tiempos de muestreo	52
Tabla 4. 5. Resultados del ICA - Torres en los diferentes puntos y tiempos de muestreo	52
Tabla 4. 6. Resultados del ICA - Olgún et al., en los diferentes puntos y tiempos de muestreo....	53
Tabla 4. 7. Comparación de los parámetros analizados con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097A en el Punto 1 de muestreo.....	54
Tabla 4. 8. Comparación de los parámetros analizados con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097A en el Punto 2 de muestreo.....	55
Tabla 4. 9. Comparación de los parámetros analizados con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097A en el Punto 3 de muestreo.....	56
Tabla 4. 10. Comparación de los parámetros analizados con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097A en el Punto 4 de muestreo.....	57
Tabla 4. 11. Comparación de los parámetros analizados con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097A en el Punto 5 de muestreo.....	58
Tabla 4. 12. Resumen de datos utilizados para el ANOVA en el ICA - NSF	59

Tabla 4. 13. Análisis de varianza de un factor ANOVA al 95% de los resultados calculados en el ICA - NSF.....	60
Tabla 4. 14. Resumen de datos utilizados para el ANOVA en el ICA - Torres	60
Tabla 4. 15. Análisis de varianza de un factor ANOVA al 95% de los resultados calculados en el ICA - Torres	60
Tabla 4. 16. Resumen de datos utilizados para el ANOVA en el ICA - Olgún et al.	60
Tabla 4. 17. Análisis de varianza de un factor ANOVA al 95% de los resultados calculados en el ICA - Olgún et al.....	61

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 2. 1. Función de Calidad NSF. Demanda Bioquímica de Oxígeno	17
Figura 2. 2. Función de Calidad NSF. Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto	17
Figura 2. 3. Función de Calidad NSF. Coliformes Fecales	17
Figura 2. 4. Función de Calidad NSF. Nitratos	17
Figura 2. 5. Función de Calidad NSF. Potencial de Hidrógeno (pH).....	17
Figura 2. 6. Función de Calidad NSF. Temperatura.....	17
Figura 2. 7. Función de Calidad NSF. Sólidos Disueltos	18
Figura 2. 8. Función de Calidad NSF. Fosfatos	18
Figura 2. 9. Función de Calidad NSF. Turbidez	18
Figura 3. 1. Ubicación geográfica del sitio de estudio.....	24
Figura 3. 2. Función de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	32

Figura 3. 3. Función de Oxígeno Disuelto	33
Figura 3. 4. Función de Coliformes Fecales.....	33
Figura 3. 5. Función de Nitratos.....	34
Figura 3. 6. Función de pH.....	34
Figura 3. 7. Función de Variación de Temperatura.....	35
Figura 3. 8. Función de Sólidos Totales Disueltos	35
Figura 3. 9. Función de Fosfatos	36
Figura 3. 10. Función de Turbidez.....	36
Figura 4. 1. Diagrama de procesos de la Planta de Tratamiento de aguas residuales del cantón Tosagua.....	45
Figura 4. 2. Localización geográfica de los puntos de muestreo establecidos en el Estero Maconta	49

CONTENIDO DE FÓRMULAS

[Ec 2. 1] Fórmula del Índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento.....	16
[Ec 2. 2] Fórmula del Índice de calidad de agua ICA Torres.....	20
[Ec 2. 3] Fórmula del Índice de calidad de agua ICA Olguín et al	21
[Ec. 3. 1] Fórmula para calcular el subíndice de Temperatura – ICA Torres.....	37
[Ec. 3. 2] Fórmula para calcular el subíndice de pH – ICA Torres.....	37

[Ec. 3. 3] Fórmula para calcular el subíndice de Oxígeno disuelto – ICA Torres	37
[Ec. 3. 4] Fórmula para calcular el subíndice de Coliformes fecales – ICA Torres	37
[Ec. 3. 5] Fórmula para calcular el subíndice de Nitratos – ICA Torres	37
[Ec. 3. 6] Fórmula para calcular el subíndice de Fósforo total – ICA Torres	37
[Ec. 3. 7] Fórmula para calcular el subíndice de DBO5 – ICA Torres	37
[Ec. 3. 8] Fórmula para calcular el subíndice de Sólidos suspendidos – ICA Torres	38
[Ec. 3. 9] Fórmula del Índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento	38
[Ec. 3. 10] Fórmula del Índice de calidad de agua ICA Torres	39
[Ec. 3. 11] Fórmula del Índice de calidad de agua ICA Olguín et al	39

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la afectación en la calidad del agua del estero Maconta por las descargas de aguas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del cantón Tosagua. Se procedió a diagnosticar el estado actual de las descargas de la PTAR, mediante la recolección de información previa y entrevistas con los técnicos encargados de la planta, obteniendo que sus descargas de agua se encuentran bajo la ley ambiental vigente. Posteriormente se aplicaron los índices de calidad de agua ICA – NSF, ICA Torres e ICA Olguín et al., en 5 puntos de muestreo con 3 muestras individuales en marzo, mayo y julio y se analizaron en laboratorio los parámetros coliformes fecales, pH, nitratos, fósforo total, fosfatos, DBO₅, temperatura, turbidez, sólidos totales, sólidos suspendidos y oxígeno disuelto. El agua del estero presenta una calidad entre media a mala según el ICA-NSF; una calidad pobre de acuerdo con el ICA Torres; y medianamente contaminada a contaminada basándose en el ICA de Olguín et al. Para finalizar se compararon los resultados de los parámetros analizados con los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Ministerial 097A concluyendo que la mayoría de los parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles para su uso en actividades agrícolas y pecuarias, a excepción de los coliformes fecales y el oxígeno disuelto principalmente. También se aplicó un análisis de varianza de un factor el cual demostró que no existen diferencias significativas entre las medias de los ICA de cada una de las muestras.

PALABRAS CLAVE

Calidad del agua, aguas residuales, descarga

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the impact on the water quality of the Maconta estuary due to the discharge of wastewater from the Wastewater Treatment Plant of the Tosagua canton. We proceeded to diagnose the status of the WWTP discharges, by collecting prior information and interviews with the technicians in charge of the plant, obtaining that their water discharges are under the current environmental law. Subsequently, the ICA - NSF, ICA Torres, and ICA Olguín et al. water quality indices were applied at 5 sampling points with 3 individual samples in March, May and July and fecal coliform parameters, pH, nitrates were analyzed in the laboratory., total phosphorus, phosphates, BOD₅, temperature, turbidity, total solids, suspended solids and dissolved oxygen. The water of the estuary has a medium to poor quality according to the ICA-NSF; a poor quality according to the ICA Torres; and moderately contaminated to contaminated based on the ICA of Olguín et al. Finally, the results of the analyzed parameters were compared with the maximum permissible limits established by Ministerial Agreement 097A, concluding that most of the parameters are within the permissible limits for use in agricultural and livestock activities, except for fecal coliforms. and mainly dissolved oxygen. An analysis of variance of one factor was also applied, which showed that there are no significant differences between the means of the ICA of each of the samples.

KEY WORDS

Water quality, wastewater, discharge

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación del agua por descargas residuales a nivel mundial y en especial en países en desarrollo conlleva a una afectación significativa de este recurso, ya que 90% de los países de tercer mundo las depositan directamente a ríos, lagos y zonas costeras sin recibir algún tipo de tratamiento (Hernández *et al.*, 2017) lo que se relaciona con el 40% de la población mundial en general sin acceso a un servicio de saneamiento adecuado (Olguín *et al.*, 2010). Actualmente se registró un aumento de los ciudadanos privados de tales servicios pasando de 1.900 millones en 2000 a 2.300 millones en 2015, debido a que la depuración natural ya no es capaz de mitigar estos efectos producidos a lo largo de los años (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2020).

La mayoría de los países a nivel mundial han implementado plantas de tratamiento de aguas residuales en cada una de las ciudades para lograr brindar un servicio de saneamiento adecuado (Niama, 2016). Sin embargo, las descargas producidas tienen que ser evaluadas puesto que deben cumplir con normas básicas para la protección de la salud pública y del medio ambiente, ya que si no realiza un buen proceso de estas podrían llegar a convertirse en fuentes de contaminación con graves repercusiones (Espinoza y Zumba, 2018).

En Latinoamérica debido al crecimiento demográfico se registra más del 80% de la población concentrada en las ciudades incrementando la generación de aguas residuales, por lo que se necesita analizar constantemente si dichas descargas contienen parámetros adecuados. El mayor problema que se da para su control es que el 70% no tienen tratamiento y esto se debe a la falta de coordinación entre usuarios y autoridades teniendo así una provisión de agua insuficiente (Meoño *et al.*, 2015).

Por otra parte, en Ecuador a pesar de los proyectos planteados en los últimos años en busca de una adecuación del manejo del agua residual, sigue siendo una problemática enfrentada de manera ineficaz en su mayoría, presentando infraestructuras físicas insuficientes y descargas de las mismas en un 90% a

cuerpos hídricos dulces sin ningún tratamiento previo (Montero *et al.*, 2020). La falta de atención por parte de las autoridades es lo que dificulta la pronta atención y pone en riesgo, no solo la calidad de vida de las personas, sino también del medio ambiente general, pues el gobierno solo desvía su atención en obras suntuarias y de estética que poco aportan al buen vivir. Por lo expuesto se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo se ve afectada la calidad del agua del estero Maconta por las descargas de la PTAR?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Con las preocupaciones acerca de la creciente contaminación ambiental en especial del agua se han desarrollado a nivel mundial diversos Índices de Calidad de Aguas (ICAs) (Nicola y Proaño, 2017), como una herramienta para facilitar la evaluación del estado del agua ya sea para consumo humano, bovino o aviar. Para esto dentro de sus ecuaciones matemáticas se toma en cuenta múltiples parámetros siendo estos físicos, químicos y biológicos logrando determinar así la vulnerabilidad del cuerpo hídrico en caso de amenazas potenciales (Caho y López, 2017).

Las aguas residuales provenientes de un proceso de saneamiento deben de tener un adecuado tratamiento puesto que estas cuentan con altas concentraciones de residuos sólidos, DBO y DQO, carga bacteria, elementos tóxicos, etc. (Delgado, 2015). Conllevando así a la pérdida del oxígeno disuelto en el agua, la desaparición de macro y micro invertebrados y la consecuente destrucción del ecosistema fluvial por la interrupción de las cadenas alimenticias (Fiallos y Mosquera, 2016), es por ello que se realizan análisis en los cuerpos receptores para constatar que estos no están siendo afectados y son capaces de autodepurarse (Cabascango y Ortiz, 2019), además cabe recalcar que las aguas residuales portadoras de gran cantidad de materia orgánica, pueden llegar a causar eutrofización afectando gravemente el ecosistema acuático (Morillo *et al.*, 2019).

En el Ecuador para el control de la calidad del agua ya sea para consumo humano, uso agrícola, pecuario u otros fines existen límites permisibles establecidos en Norma Técnica Ambiental contemplada en el Texto Unificado de Legislación

Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), esto como cumplimiento de lo establecido en la Constitución del Ecuador para garantizar el *sumak kawsay* o buen vivir y los derechos de la naturaleza y también lo planteado en el COA. Además, existen otros mecanismos como sustento para la determinación de la calidad del agua y estos son: Acuerdo ministerial N° 097 y Norma INEN 1108.

Por lo antes expuesto, esta investigación se encuentra inmersa dentro de las iniciativas de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la cual busca desarrollar proyectos que ayuden a la comunidad a tener conciencia ambiental para el beneficio tanto de las personas como del medio que los rodea.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la afectación en la calidad del agua del estero Maconta por las descargas de aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del cantón Tosagua.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado actual de las descargas de la PTAR.
- Aplicar los índices de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF), de Francisco Torres de Puerto Rico, y el índice propuesto por Olguín y colaboradores de México.
- Comparar los resultados de los índices de calidad aplicados en el estero Maconta con los límites permisibles para calidad de agua.

1.4. IDEA A DEFENDER

La calidad del agua del estero Maconta es regular por la afectación de las aguas residuales.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son aquellas originadas en las viviendas o instalaciones comerciales privadas y/ o pública. Es por ello que, Carvajal (2005) menciona que están compuestas por aguas fecales y aguas de lavado y limpieza. Los principales contaminantes que contiene son gérmenes patógenos, materia orgánica, sólidos, detergentes, nitrógeno y fósforo, además de otros en menos proporción.

Desde un punto de vista sanitario, interesan los gérmenes de origen fecal que se eliminan con el agua porque producen enfermedades. De todos los gérmenes que son evacuados una parte son producidos por el aparato digestivo, y de estos una parte pueden ser patógenos, la medida directa de los gérmenes patógenos en un agua residual es impracticable debido al gran número de familias que puede haber. Sería necesario realizar una amplia batería de análisis, lo cual resultaría poco práctico y antieconómico, la técnica que se emplea es una medida indirecta. Son técnicas presuntivas, lo que busca en el agua son microorganismos indicadores de la contaminación (Gomez, 2012).

Estos microorganismos deben ser fecales exclusivamente, aunque no debe ser necesariamente patógenos, y no deben desarrollarse en ambientes naturales, la presencia del indicador nos dice que hay contaminación fecal, y por lo tanto puede ser posible que haya gérmenes fecales.

2.2. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas contaminadas provienen de diferentes fuentes, como pueden ser las industrias y las zonas habitacionales, por lo que están compuestas de partículas muy variadas, tanto en tamaño como en composición, refiriéndose solo el agua proveniente de una casa, esta trae consigo desperdicios alimenticios, grasas, desechos del inodoro, jabones utilizados en baños para lavar ropa, y un sinnúmero de materia orgánica e inorgánica que es desalojada, por esto es necesario hacer una división de los procesos de limpieza, simplificados y estableciendo los objetivos

que se persiguen con cada sistema utilizado, para poder medir su eficacia (Hernandez, 2013).

Los tratamientos para las aguas de desechos pueden reconocerse por su ubicación en el proceso de limpieza, como primarios, secundarios y avanzados (Buenaño, 2015). Los últimos tienen fines muy específicos, pero en su lugar es muy conveniente analizar algunos sistemas alternativos que pueden formar parte crucial en el diseño del proyecto.

2.3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Para la selección de un sistema de tratamiento de aguas residuales es necesario seguir criterios de acuerdo con el análisis que se realizará, es decir con base en criterios. Es importante y necesario contar con una selección de tratamientos de aguas residuales que den óptimos resultados, debido al crecimiento de la población y el desarrollo industrial han llevado las tasas de consumo de agua a valores superiores a los esperados, mientras el consumo se duplica cada 10 años, la cantidad de agua con que se cuenta por precipitaciones y fuentes naturales no aumenta y en algunos lugares disminuye cada vez más (Caicedo, 2014).

Este déficit creciente, sumado a los problemas ecológicos causados por los grandes volúmenes de residuos generados por nuestra sociedad, ha creado la obligación de tratar y reutilizar los residuos domésticos e industriales.

A través de los años, Rendón (2012) expresa que se han aplicado diferentes criterios para seleccionar un sistema de tratamiento de residuos, y en especial, los líquidos, el tratamiento de las aguas residuales se hizo necesario para contrarrestar las enfermedades que se originaron por esta situación, posteriormente, la escasez de fuentes de agua y la contaminación de los abastecimientos existentes, llevo a tener en cuenta el rendimiento de los procesos en relación con los parámetros considerados críticos hoy en día, además del rendimiento de factores muy variados como DBO, DQO, etc., que se tienen en cuenta en la selección la disponibilidad tecnológica y el costo del tratamiento.

En la búsqueda de alternativas de tratamiento que permitan disminuir los valores de los parámetros físicos-químicos y microbiológicos, de las aguas residuales, se han planteado varias alternativas para el tratamiento de los efluentes residuales, definiendo los siguientes criterios de selección:

- Demanda Química de oxígeno (DQO)
- Sólidos sedimentables
- Sólidos suspendidos
- Coliformes fecales
- pH

2.4. PROCESO DE TRATAMIENTO

Dentro de los tratamientos tenemos los procesos químicos y físicos, los cuales son un conjunto de procesos destinados a disminuir o eliminar aquellos componentes de un flujo residual de origen industrial (Fonseca, 2013).

2.4.1. QUÍMICOS

- Neutralización: la neutralización proceso el cual es utilizado para el tratamiento de aguas residuales ácidas que contienen metales. La incorporación de un reactivo alcalino aumenta de los residuos ácidos, esto forma un precipitado que recoge los metales no deseados.
- Oxidación/ Reducción: este proceso tiene como objetivo la eliminación de compuestos solubles no biodegradables, presentes en las aguas residuales. El proceso consiste en una oxidación química en condiciones suaves de presión y temperatura hasta la mineralización completa de contaminantes.
- Adsorción: proceso ampliamente utilizado en todos los tipos de tratamiento de agua, el término se utiliza para describir la adhesión de una delgada capa de moléculas a la superficie de los líquidos o sólidos que entran en contacto con ella.
- Precipitación: la precipitación química se la utiliza para remover la mayoría de los metales de las aguas residuales, y algunas especies aniónicas como

sulfato y fluoruro, los compuestos orgánicos en las aguas residuales pueden formar complejos de metal y reducir la eficacia de este tipo de tratamiento.

2.4.2. FÍSICOS

- Separación de sustancias finas y gruesas con ayuda de cribado y tamices: en este proceso por medio de tamices, el tamizado es un proceso mecánico físico por el cual las partículas sólidas de diferentes tamaños se separan al pasar a través de un tamiz. Un tamiz es una herramienta que tiene a lo largo de toda su superficie poros generalmente de igual tamaño.
- Separación mecánica de sustancias sólidas mediante filtración: se denomina filtración al proceso de separación de partículas sólidas de un líquido utilizando un material poroso llamado filtro, la técnica consiste en verter la mezcla solido-líquido que se quiere tratar sobre un filtro que permita el paso del líquido pero que retenga las partículas sólidas.
- Tratamiento de aguas residuales mediante flotación: la flotación por aire es un proceso de separación física para el tratamiento de aguas residuales industriales, que remueve grasas, aceites y sólidos suspendidos.

2.5. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua actualmente es un tema primordial que en parte se debe al gran incremento de la población, su expansión y desarrollo urbano, por lo que a lo largo de los años se han ido mejorando cada una de las técnicas desarrolladas para su control, sin embargo, esta evaluación es una materia compleja no exenta de controversias en lo referente a las diversas metodologías utilizadas para su control (Beamonte *et al.*, 2004). Dicha calidad será definida según su uso ya este para consumo humano, agrícola, pecuario, etc., teniendo en cuenta un conjunto de características químicas, físicas y biológicas (Servicio Geológico de los Estados Unidos [USGS], 2017).

En lo referente a aquellas destinadas para consumo humano, su buena evaluación es un factor determinante en las condiciones de la salud de las poblaciones (Briñez *et al.*, 2012), siendo su mayor impacto originado por los sistemas de abastecimiento de agua debido a la falta de seguridad de este recurso hídrico tan importante (Ríos

et al., 2017), provocando riesgos de brotes de enfermedades tanto para el hombre como para los animales o alterando el normal desempeño de las labores dentro del hogar o la industria (Torres *et al.*, 2009). Sin dejar de lado que un cuerpo de agua en mala condición puede traer consigo graves problemas para la flora y fauna acuática del mismo (Vásquez *et al.*, 2012).

2.6. PARÁMETROS PARA MEDIR LA CALIDAD DE LAS AGUAS

Los parámetros para medir la calidad de las aguas son utilizados para el control de procesos de tratamientos realizando mediciones de forma continua o discreta.

2.6.1. FÍSICO-QUÍMICOS

Samboni *et al.* (2007, como se citó en Orozco, *et al.*, 2005) señalan que los parámetros físico-químicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; por su lado Gualdrón (2016) menciona que los métodos biológicos aportan esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que es recomendable la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico. Asimismo, Sánchez (2016) revela que los parámetros físicos, no son índices absolutos de contaminación más bien son considerados indicadores relativos, y pueden llegar a variar considerablemente sus valores normales, consecuentemente estos cambios pueden generar que con solo un parámetro se pueda tener una proyección aproximada del grado de contaminación y extensión del lugar afectado.

Pérez y Restrepo (2008) mencionan que estas variables son de gran importancia para los ecosistemas acuáticos debido a que son indicativos de la composición y dinámica de los agentes contaminantes y contribuyen en la evaluación de la calidad de agua de los cuerpos loticos.

A continuación, se detallan algunos de los parámetros físico-químicos más importantes:

2.6.1.1. TURBIDEZ (UNT)

Este parámetro puede generarse por la presencia de partículas suspendidas y disueltas ya sean gases, líquidos y sólidos; los cuales pueden ser orgánicos o inorgánicos (ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A, 2012). Flores *et al.* (2018) indican que su tamaño podría ser desde coloidal hasta partículas macroscópicas dependiendo de su nivel de turbulencia.

López *et al.* (2005) mencionan que esta es una medida de la claridad o transparencia del agua, y se puede deber a muchos factores, como finas partículas de minerales en suspensión, alta concentración de bacterias o incluso finas burbujas debido a la excesiva aireación. Por otra parte, Galvín (2008) menciona que, la transparencia es más utilizada en estudios limnológicos, está afectada por las floraciones algales en la masa de agua.

2.6.1.2. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN (TSS)

Según Murillo (2009) es un parámetro de gran importancia en los procesos de depuración de las estaciones de tratamiento de aguas residuales, ya que se considera como un indicador de la contaminación del vertido. Por otra parte, Torres (2015) indica que es la cantidad de sólidos no filtrables que tiene una muestra.

Pérez (2020) menciona que los sólidos en suspensión se determinan gravimétricamente mediante filtración, a vacío o presión, con filtros de diámetro de poro 0,45 μm ; a partir de un volumen conocido de agua bruta, se determinan los sólidos que quedan retenidos, denominándose TSS (Total Suspended Solids) al residuo seco retenido en los mismos y son expresados en mg/l.

2.6.1.3. TEMPERATURA

De acuerdo con Galvín (2008) la temperatura del agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido. Samboni *et al.* (2007) señalan que las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y en general a todas sus propiedades, tanto químicas como microbiología. De la misma forma Beltrán y Campos (2016) establecen que la temperatura de un agua residual varía de estación en estación y también con la

posición geográfica; en regiones frías, la temperatura varía de 7 a 18°C mientras que en regiones cálidas la variación será de 13 a 30°C. Quiroz *et al.* (2017) indica que la temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango 25 a 35°C

ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A (2012) aluden que la temperatura es una de la constante física que tiene gran importancia en el desarrollo de los diversos fenómenos que se realizan en el seno del agua. Por ejemplo, en la solubilidad de los gases y de las sales, así como en las reacciones biológicas, las cuales tienen una temperatura óptima para poder realizarse (Zamora, 2009). Por otro lado, López *et al.* (2005) señalan que cuando se da un aumento anormal de temperatura puede ser por causa de vertidos de aguas utilizadas en procesos industriales de intercambio de calor.

2.6.1.4. CONDUCTIVIDAD

Zamora (2009) señala que la conductividad es la habilidad de una solución para conducir electricidad. Asimismo, Galvín (2008) indica que son pequeñas partículas cargadas eléctricamente, llamadas iones, que pueden llevar una corriente eléctrica a través de soluciones de agua. Por otra parte, López *et al.* (2005) alude que la conductividad se encuentra en el primer nivel de control de calidad y se le establece un valor recomendado de 400 μ S/cm.

Además, Aznar (2000) menciona que la conductividad es el resultado de sustancias disueltas que generan al agua la capacidad de transportar corriente eléctrica, por lo que es considerada como una medida indirecta de la cantidad de sólidos disueltos.

2.6.1.5. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Minaya (2017) señala que el pH es un indicativo del grado de acidez, basicidad y alcalinidad del agua. Además, Pérez y Restrepo (2008) establecen que este parámetro origina variación en la composición de la fauna y flora de los cuerpos de agua e influye en el grado de toxicidad de ciertos compuestos, como el amoníaco, metales pesados, hidrógeno sulfurado, entre otros.

Zamora (2009) menciona que el registro del pH en las aguas puede ser de tipo natural o artificial, puede variar entre 4.5 y 8.5 e incluye el valor de 5.6 del pH del agua de lluvia en equilibrio con el CO₂ atmosférico. Es por ello, que Galvín (2008) denomina al pH como un factor muy importante en los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales.

2.6.1.6. OXÍGENO DISUELTO (OD)

Gualdrón (2016) señala que este parámetro da un indicativo de la contaminación del agua y del soporte que está puede dar para el crecimiento y reproducción animal y vegetal. Beltrán y Campos (2016) mencionan que la concentración de oxígeno disuelto presenta una variación senoidal a lo largo del día, es decir el contenido en oxígeno es mínimo al amanecer y máximo por la tarde, y puede oscilar entre un valor nulo hasta la sobresaturación. Galvín (2008) alude que la principal fuente de oxígeno disuelto es la fotosíntesis, seguida por la reaireación superficial.

Por otra parte, Silva y Palma (2006) expresan que el oxígeno disuelto se considera un indicador de contaminación por materia orgánica debido a descargas de residuales tanto domésticos como industriales en cuerpos de agua. Picone *et al.* (2003) establecen que las concentraciones bajas de oxígeno disuelto pueden localizarse donde la materia orgánica está en descomposición, lo que significa que las bacterias utilizan el oxígeno para descomponer el desecho.

Peña *et al.* (2006) aluden que las aguas con concentraciones de oxígeno disuelto por encima de 4,1 mg/L son consideradas de muy buena calidad, por otro lado, Galvín (2008) destaca que las bajas concentraciones de oxígeno disuelto afectan la vida de organismos acuáticos que requieren de este elemento para sobrevivir.

2.6.1.7. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Flores (2021) señala que la DQO es un indicador que se usa para calcular la cantidad de contaminantes orgánicos que se encuentran en las aguas residuales. Asimismo, Gualdrón (2016, como se citó en Sierra, 2011) indica que la DQO determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de un agente oxidante, temperatura y tiempo. Por otro lado, Beltrán y Campos (2016) señalan

que el oxígeno es muy importante ya que permite descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica.

Beltrán y Campos (2016, como se citó en Vargas, 2006) mencionan que el método DQO se usa a menudo para medir los contaminantes en las aguas naturales y residuales y para evaluar la fuerza de desechos tales como aguas residuales municipales e industriales. Además, también es usado en aplicaciones de centrales eléctricas, industria química, industria papelera, lavanderías, estudios medioambientales y educación general (Galvín, 2008).

2.6.1.8. DBO₅

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) es una medida de la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para descomponer la materia orgánica en el agua, así que un cuerpo de agua que con niveles de DBO₅ por encima de 100 mg/L está muy contaminado y sugiere la presencia de materia orgánica (Peña *et al.*, 2006). Por otra parte, Minaya (2017) indica que es la cantidad de oxígeno disuelto total consumido por aquellos microorganismos presentes en los cinco primeros días donde se realiza la biodegradación de materia orgánica en el cuerpo de agua.

La DBO₅ es una prueba empírica, en la cual se usan procedimientos de laboratorio estandarizados para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de las aguas de desechos, efluentes y aguas contaminadas (Beltrán y Campos, 2016). De la misma manera Aguilar (2012) indica que la DBO₅ es utilizada como una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica bioquímicamente degradable en una muestra.

2.6.1.9. NITRATOS

El nitrógeno (N) es un contaminante presente en las aguas residuales que debe ser eliminado por múltiples razones: reduce el oxígeno disuelto de las aguas superficiales, es tóxico para el ecosistema acuático, entraña un riesgo para la salud pública y junto al fósforo, son responsables del crecimiento desmesurado de organismos fotosintéticos (eutrofización) (Larios, 2009).

Plomares (2013) indica que los nitratos son iones formados por tres átomos de oxígeno, uno de nitrógeno y con una carga negativa (NO_3^-), no tienen color ni sabor y se encuentran en la naturaleza disueltos en el agua. De la misma manera ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A (2012) señala que son compuestos que representan la forma oxidada estable del ciclo del nitrógeno (N), su concentración en el agua suele ser baja, pero puede llegar a presentar niveles altos tanto en aguas subterráneas como superficiales como consecuencia de actividades antropogénicas descontroladas que provoquen oxidación del amoníaco y fuentes similares.

Sardiña y Pérez (2004) aluden que los nitratos pueden ser producidos tanto por fuentes naturales como antropogénicas, por ejemplo, los residuos industriales constituyen una fuente importante de nitratos en las aguas, siendo las industrias más contaminantes los mataderos, destilerías, azucareras, industrias de levadura, de almidón, textiles y fertilizantes.

2.6.1.10. FOSFATOS

Nicola y Proaño (2017, como se citó en ALPHA, 1995) señalan que los fosfatos son las sales o los ésteres del ácido fosfórico; tienen en común un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica. Los fosfatos secundarios y terciarios son insolubles en agua, a excepción de los de sodio, potasio y amonio. Marcillo y Palacios (2021, como se citó en Pütz, 2010) indican que en las aguas residuales y en las aguas superficiales se encuentran los compuestos de fosfatos, los cuales se originan a partir de las excreciones de humanos y animales, fertilizantes eliminados del suelo por el agua y productos de limpiezas.

Bolaños (2017) indica que el ion fosfato (PO_4^-) se forma a partir del fósforo inorgánico que existe como mineral y contribuye directamente en el ciclo de este elemento en el ambiente; también puede existir en solución como partículas, como fragmentos sueltos o en los cuerpos de organismos acuáticos.

2.6.2. BIOLÓGICOS

Los parámetros biológicos en la calidad del agua son de suma importancia, puesto que el agua es un potencial lugar para desarrollar un foco de propagación de enfermedades que pueden llegar a modificar significativamente las propiedades fisicoquímicas del agua (Sandoval, 2020). Las aguas crudas pueden tener una gran variedad de microorganismos, algunos de estos son patógenos y otros no patógenos; Gualdrón (2016) define como patógenos aquellos organismos con la capacidad de causar enfermedades a los seres vivos, mientras que los no patógenos no generan efectos en la salud humana o animal.

Por su parte, Beltrán y Campos (2016) indican que los organismos bacteriológicos u organismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden provenir de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una enfermedad determinada.

2.6.2.1. COLIFORMES FECALES

Los coliformes fecales son bacterias también llamadas termotolerantes porque pueden soportar temperaturas hasta 45°C, su presencia en el agua es un claro indicio de que existe contaminación fecal de origen humano o animal, en su mayoría la especie que más se presenta es la *Escherichia coli* (Minaya, 2017). Es por ello que, Silva *et al.* (2004) indican que la evaluación de contaminación de origen fecal del agua es importante, porque a través de ella se pueden determinar microorganismos cuya presencia indica que la muestra estuvo expuesta a condiciones que pudieran determinar la llegada a la misma de microorganismos peligrosos, permitiendo la proliferación de especies patógenas.

Por otra parte, Minaya (2017) menciona que estas bacterias se depositan en la capa superficial del cuerpo de agua o en los sedimentos de este. No obstante, Cortés (2003) alude que niveles bajos de coliformes fecales son buenos indicadores de ausencia de organismos patógenos; su evaluación es relativamente simple y directa; su concentración en aguas residuales (unos 100 millones/100 mililitros) es significativamente más alta que el contenido de patógenos fecales en las mismas aguas; no se multiplican fuera del tracto intestinal de animales de

sangre caliente; asimismo, su presencia en sistemas acuáticos es evidencia de contaminación de origen fecal (Molina y Brenes, 2010).

2.6.2.2. RADIOLÓGICOS

Se considera en caso de que el agua no llegue a tener contacto con sustancias radioactivas (Sandoval, 2020).

2.7. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

Los ICA son considerados una herramienta de gran importancia, para poder medir los cambios que se den en la calidad del agua en los distintos tramos de un río a lo largo del tiempo y a la vez permite compararlo con ríos de todo el mundo (Samboni, Carvajal y Escobar, 2007). Su metodología permite generar información reproducible acerca del estado del agua y además sirve para simplificar en un único valor numérico todos los datos disponibles facilitando el manejo de los mismos (Pérez y Rodríguez, 2008).

Aplicando estos índices es posible proveer una descripción de forma general y entendible la condición global de un cuerpo contaminado (Quiroz *et al.*, 2017). El desarrollo de estos está dirigido primordialmente al estudio de ríos o corrientes y lagunas de oxidación (Pérez y Rodríguez, 2008). Es reconocido que existen alrededor de más de 30 ICA y cuentan con variables entre 3 y 72, de todos ellos el más empleado es el Water Quality Index (WQI) y el National Sanitation Foundation (ICA NSF) (Quiroz, Izquierdo y Menéndez, 2017).

2.7.1. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO (ICA – NSF)

Apareció en los años setenta y actualmente es una herramienta importante en la supervisión de la calidad de los ríos con el paso del tiempo, además permite realizar comparaciones en las aguas de abastecimiento en EEUU y otros país del mundo (Samboni *et al.*, 2007), se han realizado algunas modificaciones del mismo para desarrollar índices de calidad del agua que sean específicos para una determinada región o país, y poder así aplicarlo en varios estudios a nivel internacional (Torres, *et al.*, 2010).

Este ICA-NSF es considerado como un índice público y esto se debe a que ignora el uso que posteriormente se le dará al agua o los métodos que se emplearan para la determinación de sus características físicas, químicas y biológicas (Aguirre, *et al.*, 2016); y al ser de carácter público facilita la aplicación de una evaluación rápida y precisa del estado del cuerpo de agua (Dunán, 2019). Los parámetros a evaluar dentro de este ICA son:

- pH
- Oxígeno disuelto
- DBO
- Nitratos
- Fosfatos
- Cambio de temperatura
- Turbidez
- Sólidos totales
- Coliformes fecales

El cálculo del ICA-NSF es una ponderada suma lineal en donde su resultado a obtener debe encontrarse entre 0 y 100, el 0 representará al agua muy pobre y el 100 al agua excelente. Su ecuación es la siguiente (Nicola y Proaño, 2017):

$$ICA = \sum_{i=1}^9 SI_i W_i \quad [\text{Ec 2. 1}]$$

Dónde: ICA: índice de Calidad de Agua

***Sub_i*:** Subíndice del Parámetro i

***w_i*:** Factor de Ponderación para el Subíndice i

Para obtener el factor de ponderación se utilizan curvas de función en cada parámetro analizado, las cuales rangos de concentraciones con su respectivo valor Q (valor de calidad) (NSF, 2010), estas se muestran a continuación:

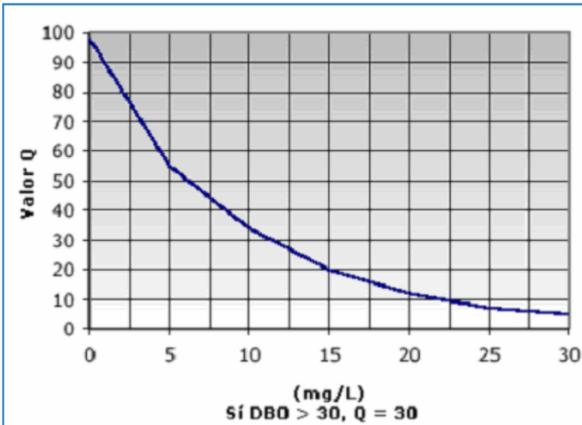


Figura 2. 1. Función de Calidad NSF. Demanda Bioquímica de Oxígeno
Fuente: NSF (2010)

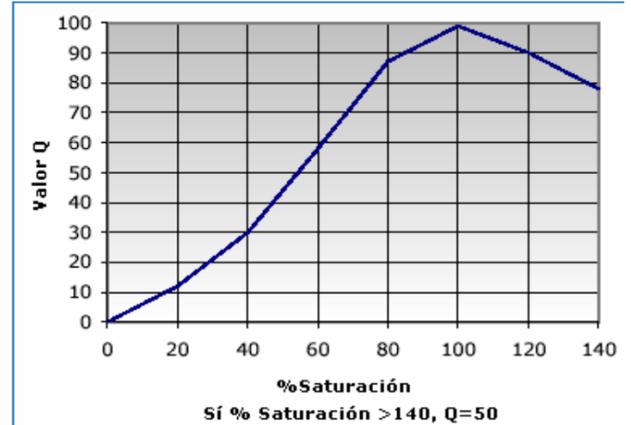


Figura 2. 2. Función de Calidad NSF. Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto
Fuente: NSF (2010)

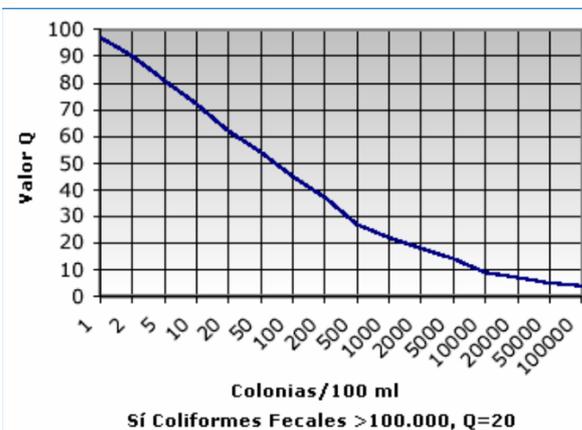


Figura 2. 3. Función de Calidad NSF. Coliformes Fecales
Fuente: NSF (2010)

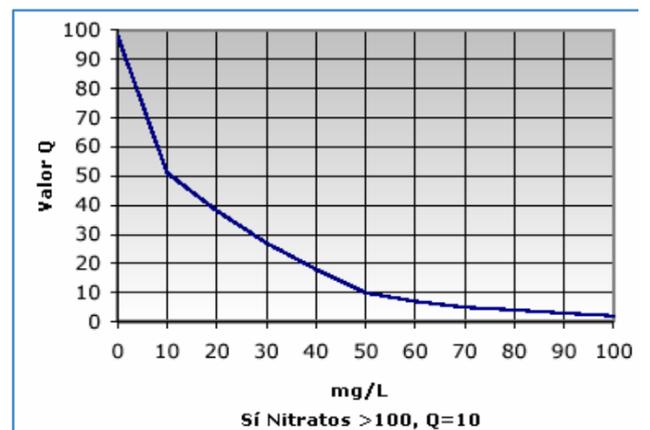


Figura 2. 4. Función de Calidad NSF. Nitratos
Fuente: NSF (2010)

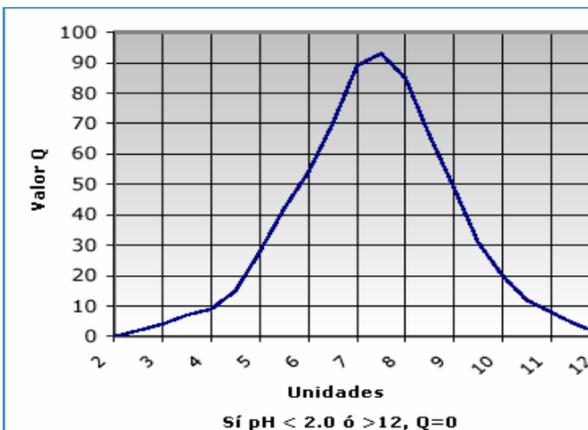


Figura 2. 5. Función de Calidad NSF. Potencial de Hidrógeno (pH)
Fuente: NSF (2010)

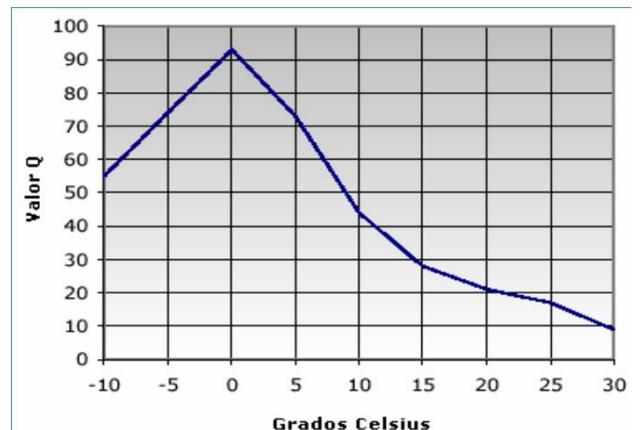


Figura 2. 6. Función de Calidad NSF. Temperatura
Fuente: NSF (2010)

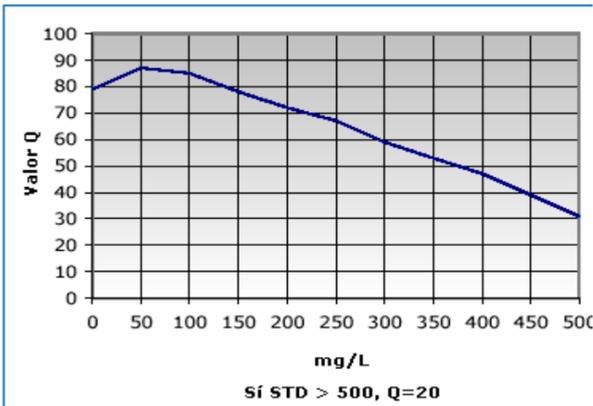


Figura 2. 7. Función de Calidad NSF. Sólidos Disueltos
Fuente: NSF (2010)

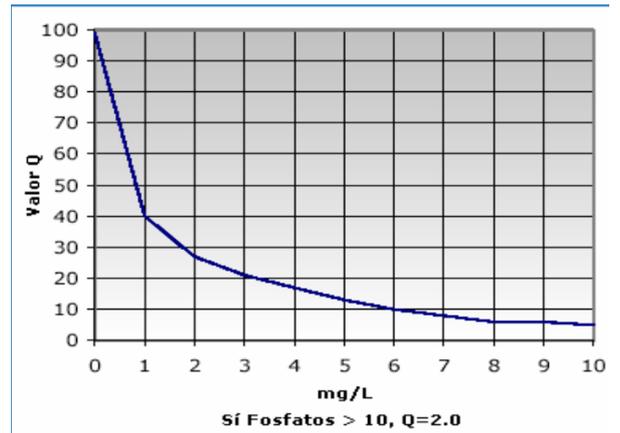


Figura 2. 8. Función de Calidad NSF. Fosfatos
Fuente: NSF (2010)

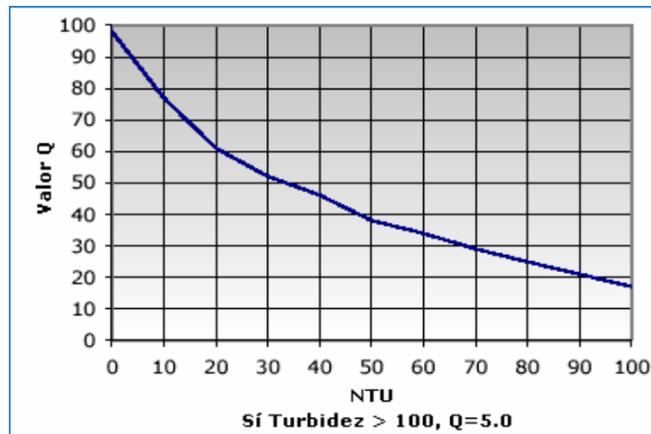


Figura 2. 9. Función de Calidad NSF. Turbidez
Fuente: NSF (2010)

En la Tabla 2.1 se refleja la escala utilizada para interpretar el resultado final de la calidad del agua de acuerdo con este índice:

Tabla 2. 1. Calidad del agua asociada al valor del ICA (Escala de clasificación del ICA-NSF).

Calidad del agua	Valor del ICA
Excelente	91 – 100
Buena	71 – 90
Media	51 – 70
Mala	26 – 50
Muy mala	0 – 25

Fuente. Quiroz, Izquierdo y Menéndez (2017)

En la Tabla 2.2 se presentan los pesos asignados a cada variable:

Tabla 2. 2. Pesos relativos asignados a cada variable según el ICA-NSF.

Parámetro	Peso ponderado
Oxígeno Disuelto (OD)	0,17
Coliformes fecales (CF)	0,16
Potencial de hidrógeno (pH)	0,11
DBO5	0,11
Cambio de temperatura	0,10
Fosfatos totales	0,10
Nitratos	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totales	0,07

Fuente. Quiroz, Izquierdo y Menéndez (2017)

2.7.2. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA DE FRANCISCO TORRES DE PUERTO RICO

Fue creado por Francisco Torres en 2009 en la Universidad Puerto Rico, y para su aprobación este paso por un riguroso análisis para identificar sus bondades, deficiencias y aplicabilidad acordes a las condiciones de Puerto Rico. Su implementación se encuentra direccionada al empleo del agua para actividades como agricultura, ganadería, riego y prácticas de manejo (Torres, 2009). Los parámetros por evaluar dentro de este índice son los siguientes:

- pH
- Oxígeno disuelto
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Nitratos
- Temperatura
- Sólidos suspendidos
- Coliformes fecales
- Fósforo total

Para el cálculo del ICA-TORRES se debe de tener las mediciones de sus 9 parámetros, su ecuación es la siguiente (Nicola y Proaño, 2017):

$$ICA = (1 - N + \sum_{i=1}^N S_i^{-2.5})^{-0.4} \quad [\text{Ec 2. 2}]$$

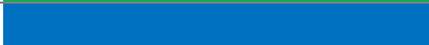
Dónde: ICA: índice de Calidad de Agua

N: Número de constituyentes considerados

S_i : Subíndice para cada constituyente considerado

En la Tabla 2.3 se refleja la escala de clasificación determinada para interpretar la calidad del agua con base en el ICA-TORRES:

Tabla 2. 3. Escala de Clasificación para el ICA-TORRES.

Clasificación	Rango	Color
Bueno	90 – 100	
Moderado	71 – 89	
Promedio	31 – 70	
Alerta	15 – 30	
Pobre	0 – 15	

Fuente. Nicola y Proaño (2017)

2.7.3. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA DE OLGUÍN ET AL., DE MÉXICO

Este índice de calidad de agua fue desarrollado por Olguín et al., (2010) con base en el índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA – NSF), reduciendo el número de parámetros de 9 a 7, considerando únicamente:

- Coliformes fecales
- Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO_5)
- Oxígeno disuelto
- pH
- Sólidos totales disueltos
- Nitratos
- Fosfatos

La temperatura fue desestimada como variable crítica, debido a que en el caso de estudio de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México, que fue donde se creó este índice, los ríos no se encontraban impactados por efluentes de tipo

industrial, que pudiesen ocasionar variaciones extremas. Para la turbidez, esta no fue tomada en cuenta dado que su peso ponderado en la fórmula del NSF es muy baja (Olguín et al., 2010).

La fórmula utilizada es la siguiente:

$$ICA = \sum_{i=1}^9 (S_i * w_i) \text{ [Ec 2. 3]}$$

Donde S_i es igual al subíndice del parámetro, y W_i es el factor de ponderación para el subíndice. Para este cálculo los autores del índice tuvieron que ajustar los pesos ponderados de cada parámetro individualmente, repartiendo proporcionalmente el peso de las dos variables que no fueron tomadas en cuenta y mencionadas anteriormente. Los pesos ponderados se muestran a continuación:

Tabla 2. 4. Pesos relativos asignados a cada variable según el ICA Olguín et al

Parámetro	Peso ponderado
Oxígeno Disuelto (OD)	0,1957
Coliformes fecales (CF)	0,1757
Potencial de hidrógeno (pH)	0,1457
DBO ₅	0,1257
Fosfatos totales	0,1257
Nitratos	0,1257
Sólidos totales	0,1058

Fuente: Olguín et al., (2010)

Para la normalización del subíndice de cada variable, se utilizaron las curvas de función estimadas a partir de la metodología establecida por el índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF, 2010).

Los resultados del ICA se clasifican utilizando la escala sugerida por House y Ellis (1987) donde:

Tabla 2. 5. Escala de Clasificación para el ICA Olguín et al

Calidad del agua	Valor del ICA
Altamente contaminada	10 – 25 %
Contaminada	26 – 50 %
Medianamente contaminada	51 – 70 %

Buena	71 – 90 %
Muy buena	91 – 100 %

Fuente: House y Ellis (1987)

2.8. ÍNDICES DE CALIDAD EN EL RÍO PORTOVIEJO

En el estudio realizado por Quiroz et al. (2017) en el río Portoviejo aplicando el ICA-NSF, en el punto cuatro de muestreo correspondiente al Puente 5 de junio, el cual sufría descargas de aguas residuales fue encontrado un incremento de la concentración de fosfato y además se registraron los mayores valores de DBO₅, turbidez, sólidos disueltos y menor concentración de OD.

Tabla 2. 6. Resultados del ICA-NSF en los puntos de tomas de muestras.

Semanas	Puntos de toma de muestras							
	1 (Santa Cruz)		2 (Ciudadela La Paz)		3 (Puente La Piedras)		4 (Puente 5 de Junio – Picoazá)	
	ICA	Calidad	ICA	Calidad	ICA	Calidad	ICA	Calidad
1	59,19	Media	51,03	Media	41,55	Mala	38,41	Mala
2	59,14	Media	50,09	Mala	43,74	Mala	33,07	Mala
3	59,22	Media	49,74	Mala	43,37	Mala	32,81	Mala

Fuente. Quiroz, Izquierdo y Menéndez (2017)

2.9. ÍNDICES DE CALIDAD EN LA QUEBRADA “LA AYURÁ”

En su metodología se estableció tres estaciones de muestreo ubicadas en la parte alta, media y baja. Las estaciones 2 y 3 establecidas reciben descargas de aguas residuales directas de los barrios, sin embargo, a pesar de esto en los resultados se obtuvo que la calidad del agua con base en la aplicación de ICA corresponde a un agua de calidad regular.

Tabla 2. 7. Resultados de ICA-NSF

Fecha de muestreo	Estación	NSF	Calidad	Color	Dinius	Calidad	Color
Noviembre de 2007	1	72,99	Buena		65,38	Regular	
	2	67,99	Regular		60,16		
	3	64,93	Regular		55,44		

Enero de 2008	1	73,54	Buena		65,73	
	2	67,01	Regular		64,13	
	3	63,55	Regular		58,92	
Febrero de 2008	1	68,53	Regular		65,55	
	2	60,92	Regular		58,86	
	3	54,85	Regular		57,13	

Fuente. González, Caicedo y Aguirre (2013)

2.10. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA CALIDAD DEL AGUA

Debido a la gran importancia del control referente a la calidad del agua a nivel mundial se han desarrollado diversos límites de manera internacional, acoplados a las particularidades de cada país o región, así mismo dentro de cada uno de los países se han desarrollado límites guiados con los estándares internacionales, pero ya más enfocados a sus características locales. En el caso de Ecuador se aplica lo siguiente:

2.10.1. ACUERDO MINISTERIAL 097

Este acuerdo tiene como objetivo principal la protección de la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. Es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Estero Maconta, ubicado en el cantón Tosagua, de la provincia de Manabí, situado geográficamente entre las coordenadas: inicio estero 583747 Este (X) y 9914665 Oeste (Y), y final estero 585847 Este (X) y 9921779 Oeste (Y).

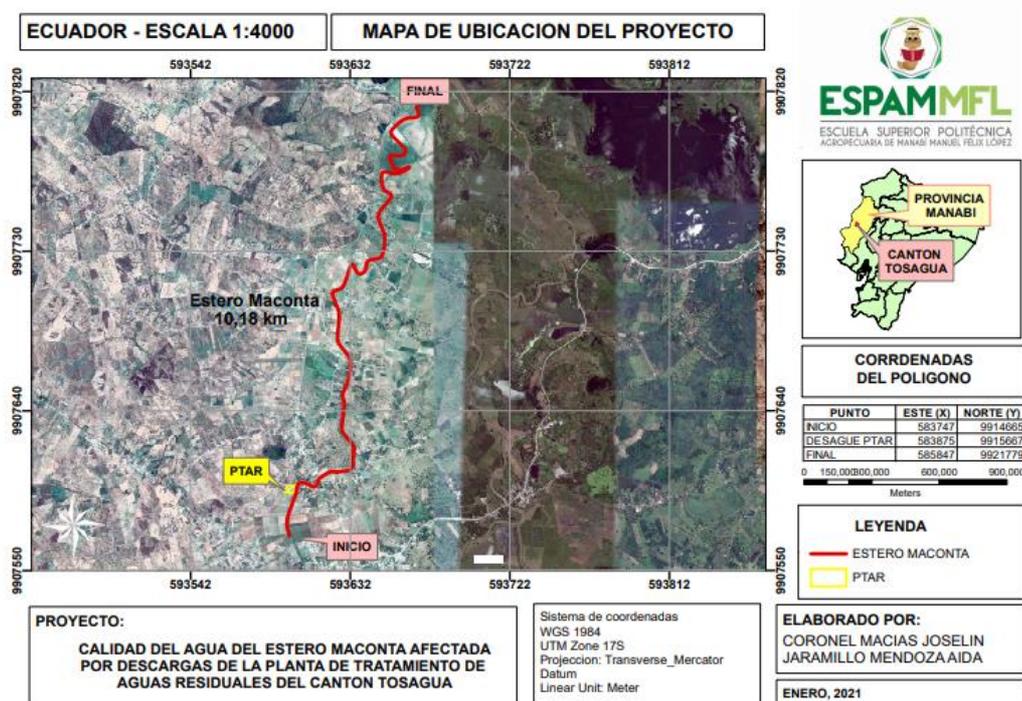


Figura 3. 1. Ubicación geográfica del sitio de estudio

3.2. DURACIÓN

El proyecto tuvo una duración de 9 meses a partir de la aprobación de la planificación del trabajo de integración curricular.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

De acuerdo con las características de este proyecto, esta investigación fue de tipo cuantitativa no experimental, en donde se analizó un objeto de estudio o situación de manera concreta en su contexto natural, en este caso fue la calidad de agua del estero, la cual permitió analizar los datos recolectados con base en muestreos de

agua, mismo que servirán como un elemento importante para investigaciones futuras que requieran de dichos datos. Para la presente investigación se utilizaron los siguientes métodos y técnicas:

3.3.1. MÉTODOS

3.3.1.1. MÉTODO INDUCTIVO

Para el presente trabajo de investigación se aplicó el método inductivo de acuerdo con lo expuesto por Bernal (2010), puesto que con la información que se obtuvo en campo basada en la toma de muestras, se estableció la calidad del agua del Estero Maconta, ya sea para consumo humano, agrícola o pecuario.

3.3.1.2. MÉTODO CUANTITATIVO

El método cuantitativo trata de determinar la fuerza de asociación o correlación entre variables, la generalización y objetivación de los resultados a través de una muestra para hacer inferencia a una población de la cual toda muestra procede (Cadena *et al.*, 2017). Es por ello, que con este método se identificó y cuantificó la calidad del agua del Estero Maconta afectada por descargas de la PTAR del cantón Tosagua, basados en la cuantificación de los puntos de muestreo.

3.3.2. TÉCNICAS

3.3.2.1. ANÁLISIS DOCUMENTAL

Esta técnica permitió recopilar la información bibliográfica con mayor relevancia obtenida de fuentes confiables como lo son revistas científicas, artículos científicos, libros, tesis, etc. (Ibarra y Bernal, 2018), teniendo así la información necesaria para dar una base sólida a nuestro estudio propuesto, enfocado principalmente al establecimiento de los índices de calidad del agua y la aplicación de estos.

3.3.2.2. ENTREVISTA

La entrevista es una herramienta de investigación muy importante ya que permitió la obtención de datos o información del sujeto de estudio mediante la interacción oral con el investigador, por lo que es más eficaz que un cuestionario (Troncoso y

Amaya, 2016). Esta técnica fue aplicada a la encargada de la Planta de Tratamiento Residual Tosagua, con el fin de obtener toda la información de mayor relevancia para la presente investigación.

3.3.2.3. OBSERVACIÓN DIRECTA

La observación directa permitió al investigador estar en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que trata de investigar, logrando así tener un registro visual y verificable de lo que se pretende conocer (Campos y Lule, 2012). Esta técnica se empleó con la finalidad de registrar situaciones puntuales asociadas a las descargas de efluentes en el estero y en las que visualmente se identifica alguna afectación.

3.3.2.4. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Esta técnica ayudó a observar las distintas características encontradas y los contextos en que interaccionan (Merino, 2017), en el caso de esta investigación se utilizó para realizar una síntesis de la información recopilada y posterior a esto, un análisis de esta, en lo referente a la síntesis se emplearon gráficos de tipo barra para representar los resultados de los parámetros analizados por índice, así también como los valores del ICA por puntos de muestreo.

3.3.2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó una prueba para determinar la normalidad de los datos, al tener tres muestras por cinco puntos de muestreo se obtuvieron quince muestras, por tanto, se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (prueba para menos de 50 datos) (Aslam, 2019). A la par se efectuó un análisis de varianza con prueba de Tukey al 95% de confianza de los datos obtenidos para los parámetros físicos-químicos aplicados por puntos, así como de los valores del ICA por muestreo.

3.3.2.6. EQUIPOS DE MUESTREOS IN SITU Y DE LABORATORIO

Tabla 3. 1. Método de análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Parámetro	Método
DBO ₅	Incubación y electrometría
pH	Electrometría
Conductimetría, Temperatura	Conductimetría
Oxígeno disuelto	Oxímetro
Nitratos, Fosfatos, Turbidez, Sólidos totales, Fósforo total, Sólidos suspendidos	Espectrofotómetro
Coliformes fecales	NMP

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

En la comunidad El Tambo del Cantón Tosagua se desarrolló un estudio en el cuerpo hídrico del estero Maconta, el cual es afectado por descargas de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales ubicada en la zona. Se aplicó 3 ICA para determinar la calidad del agua, los cuales se distribuyeron en 3 tomas de muestras recolectadas durante la época lluviosa y seca.

3.5. VARIABLES DE ESTUDIO

3.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Descargas de la PTAR.

3.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Calidad del agua

3.6. PROCEDIMIENTOS

3.6.1. FASE I. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS DESCARGAS DE LA PTAR

3.6.1.1. ACTIVIDAD 1. RECONOCIMIENTO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PTAR TOSAGUA

En esta actividad se realizó una visita a las instalaciones de la PTAR Tosagua, en donde se tomó nota de los procesos que se llevan a cabo en las aguas receptadas y los equipos utilizados durante estos, mediante un diagrama de procesos y la aplicación de una lista de chequeo. Además, para constatar la información obtenida, se efectuó una entrevista de tipo semiestructural en el horario matutino (8 a.m. - 11 a.m.), durante tres días consecutivos al técnico encargado de la PTAR, Ingeniera Química Katherine Macay Moreira, misma que está enfocada en determinar el estado situacional de la planta tanto en operatividad como en eficiencia (Anexo 1.2).

3.6.1.2. ACTIVIDAD 2. ANÁLISIS PREVIO A LA DESCARGA

Se realizó un diagnóstico de las actividades realizadas antes y después del punto de descarga de la PTAR Tosagua, registrando aquellas actividades que estén presentes en la zona de influencia de la PTAR, a través del registro en una matriz (Anexo 1.3), se efectuaron tres recorridos por semana durante un mes, para cubrir el área de influencia directa alrededor de la misma, el cual fue determinado en la entrevista realizada, asimismo, se emplearon registros históricos de análisis de descargas de aguas residuales antes de llegar al cuerpo receptor, efectuados durante el año 2020, para fortalecer el diagnóstico.

3.6.2. FASE II. APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO (ICA-NSF), DE FRANCISCO TORRES DE PUERTO RICO, Y EL ÍNDICE PROPUESTO POR OLGUÍN Y COLABORADORES DE MÉXICO

3.6.2.1. ACTIVIDAD 3. ESTABLECIMIENTO DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Se tomó en cuenta lo establecido en el Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos (Autoridad Nacional del Agua, 2016) donde se estipulan los criterios a considerar para los puntos de muestreo tomando en cuenta la ubicación de poblaciones y potenciales fuentes de contaminación y la cantidad de muestras fueron determinadas con base en el estudio realizado por Torres, *et al.* (2010), por tanto fueron cinco puntos de muestreo con tres frecuencias de monitoreo que corresponden a los meses de marzo, mayo y julio (de acuerdo con la estación lluviosa y seca) (Cevallos, 2019), con la ayuda de la herramienta ArcGis, se procesaron las coordenadas previamente tomadas con un GPS para obtener la ubicación de la zona de estudio de manera precisa y específica con cada uno de los puntos de muestreo determinados.

3.6.2.2. ACTIVIDAD 4. TOMA DE MUESTRAS

Las muestras fueron tomadas con base en los procedimientos establecidos en las normas NTE INEN 1105 y NTE INEN 2169:2013, que indican lo siguiente:

- Los frascos fueron llenados completamente y tapados de tal forma que no exista el aire sobre la muestra.
- Las muestras se guardaron a temperaturas más bajas que la temperatura a la cual se recolectaron
- Los recipientes fueron marcados y rotulados de manera clara y permanente, de manera que el laboratorio los identifique sin error
- Se anotó en la etiqueta:
 - o Fecha y hora del muestreo
 - o Nombre de la persona que tomó la muestra
 - o Tipo de análisis a realizar

Las técnicas generales para la conservación de muestras de análisis físico – químico utilizadas se detallan a continuación:

Tabla 3. 2. Técnicas generales para la conservación de muestras de análisis físico - químicos

Parámetro	Tipo de recipiente	Volumen típico y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo de preservación	Comentarios	Método de ensayo NTE INEN
DBO5	Plástico o Vidrio	1000 ml	Se enfría hasta a 1°C y 5 °C	24 horas	Mantener muestras almacenadas en la oscuridad	1202
Fosfatos	Vidrio, Plástico o vidrio borosilicatado	250 ml	Acidificar a pH 1 a 2 con H ₂ SO ₄ d	1 mes	La muestra debe ser filtrada en el lugar en el momento del muestreo	
Nitratos	Plástico o vidrio	250 ml	Se enfría hasta a 1°C y 5 °C	24 horas		975 995
Oxígeno disuelto	Plástico o vidrio	300 ml		4 días	Fijar el oxígeno en el lugar y mantener las muestras almacenadas en la oscuridad. El método electroquímico puede ser utilizado también y se puede llevar a cabo en el sitio	1106
pH	Plástico o vidrio	100 ml	Se enfría hasta a 1°C y 5 °C	6 horas	La prueba debe llevarse a cabo tan pronto como sea posible y, preferentemente inmediatamente en el lugar después del muestreo	973
Sólidos totales	Plástico o vidrio	100 ml	Se enfría hasta a 1°C y 5 °C	24 horas		
Sólidos suspendidos	Plástico o vidrio	500 ml	Se enfría hasta a 1°C y 5 °C	2 días		
Turbidez	Plástico o vidrio	100 ml	Se enfría hasta a 1°C y 5 °C. Mantener las muestras almacenadas	24 horas	Preferiblemente llevar a cabo en el campo	

			en la oscuridad			
--	--	--	--------------------	--	--	--

Fuente: NTE INEN 2169:2013

Para el caso de las muestras utilizadas en análisis microbiológicos se siguieron las siguientes recomendaciones:

- No destapar el frasco de la muestra sino hasta el momento del muestreo
- Durante el muestreo no tocar el interior, el tapón ni la boca del frasco; debiéndose protegerlos de la contaminación
- Cuando se toma la muestra, dejar un espacio de aire en el frasco, para facilitar el mezclado de la muestra por agitación, como paso previo al examen
- En muestreos directos de ríos, arroyos, lagos, reservorios, manantiales o pozos poco profundos no es recomendable captar las muestras demasiado cerca de las márgenes.
- Las muestras de ríos, arroyos, lagos o reservorios, pueden tomarse asiendo con la mano el frasco, cerca de su base, y sumergiéndolo abajo de la superficie, con la boca hacia abajo. En este momento, se invierte el frasco para que la boca quede ligeramente hacia arriba y en sentido opuesto a la corriente; si no existe corriente como en los reservorios, crearla artificialmente empujando el frasco en dirección opuesta a la de la mano. Si no es posible la recolección de muestras en estas condiciones, se puede fijar un lastre a la base del frasco, al que se hace descender en el agua.

3.6.2.3. ACTIVIDAD 5. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA SELECCIONADOS

Para esta actividad se realizó el análisis de los siguientes parámetros: Turbidez (Unidades de turbidez), sólidos totales (mg/l), sólidos suspendidos (mg/l), temperatura (°C), pH (Unidades de pH_i), DBO₅ (mg/l), nitratos (mg/l), fosfatos (mg/l), Oxígeno disuelto (mg/l) y coliformes fecales, expuestos para cada ICA en la sección del marco teórico de este documento, la mayoría de estos análisis fueron desarrollados en los laboratorios de la ESPAM MFL a excepción del parámetro de DBO₅, este fue enviado al laboratorio acreditado "ABGES LABORATORIO ANALÍTICO AMBIENTAL CIA. LTDA" de Quito. Para calcular el cambio de

temperatura se aplicó una diferente entre ;a temperatura ambiente y la temperatura del agua in situ

3.6.2.4. ACTIVIDAD 6. CÁLCULO DE SUBÍNDICE PARA CADA PARÁMETRO

- **Índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA – NSF)**

Para obtener los subíndices de los parámetros de este índice de calidad de agua, se utilizó la metodología definida por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF, 2010), la cual menciona que se deben utilizar los valores obtenidos de cada uno de los parámetros establecidos y las gráficas de función del índice, las cuales determinan en el eje horizontal la concentración del constituyente químico, físico o biológico, y en el eje vertical el valor Q (subíndice) requerido.

Las gráficas de función utilizadas se muestran a continuación:

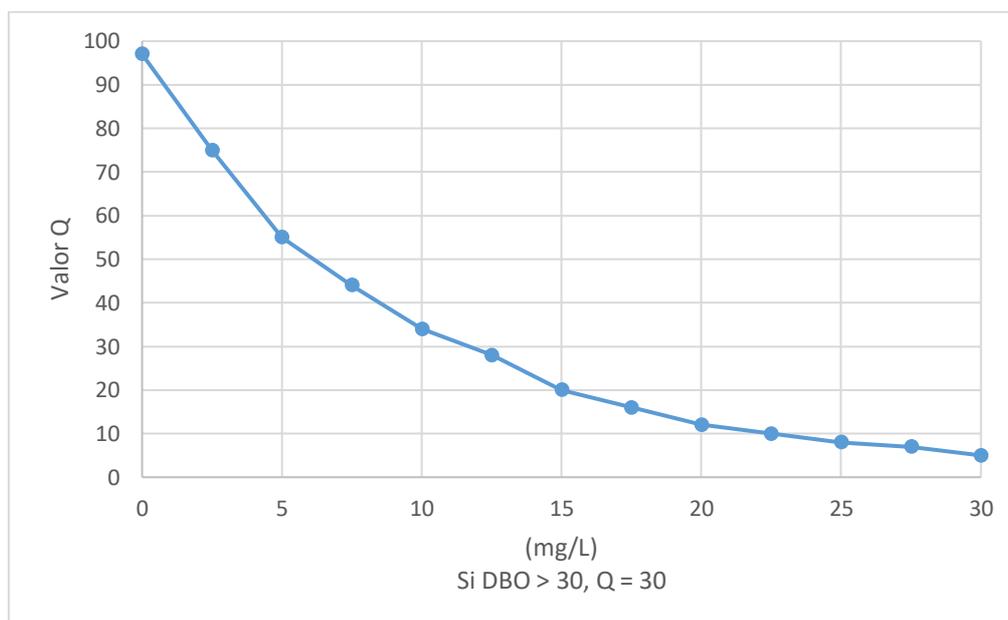


Figura 3. 2. Función de Demanda Bioquímica de Oxígeno

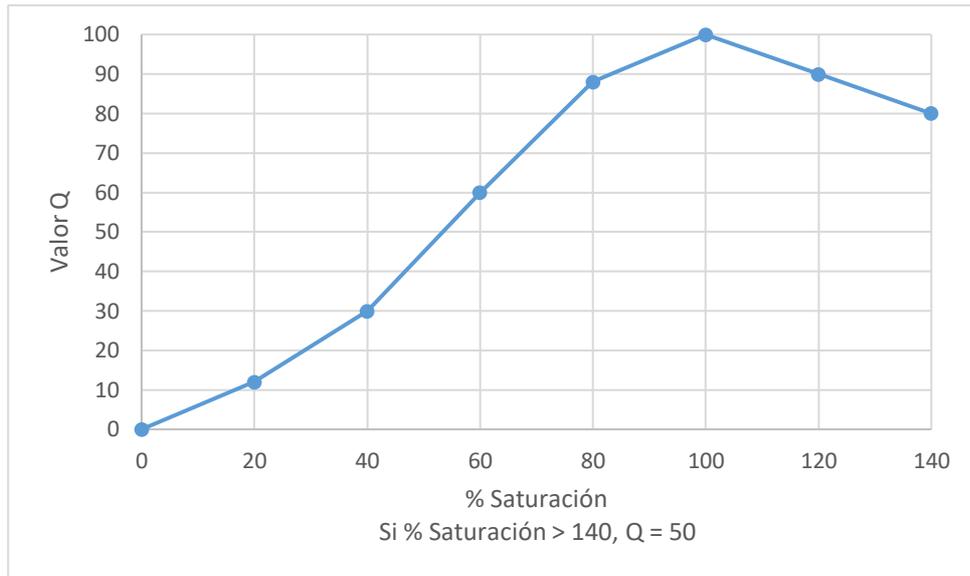


Figura 3. 3. Función de Oxígeno Disuelto

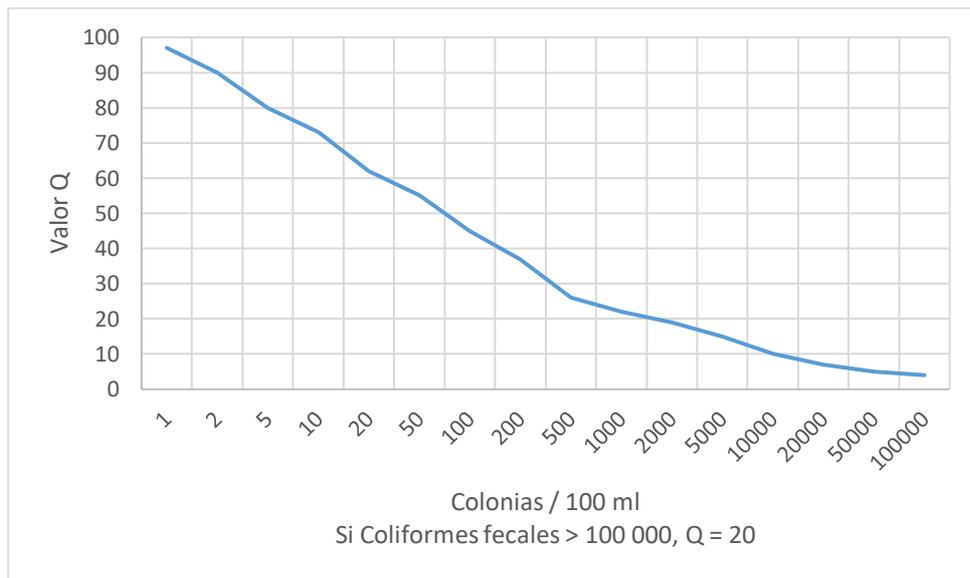


Figura 3. 4. Función de Coliformes Fecales

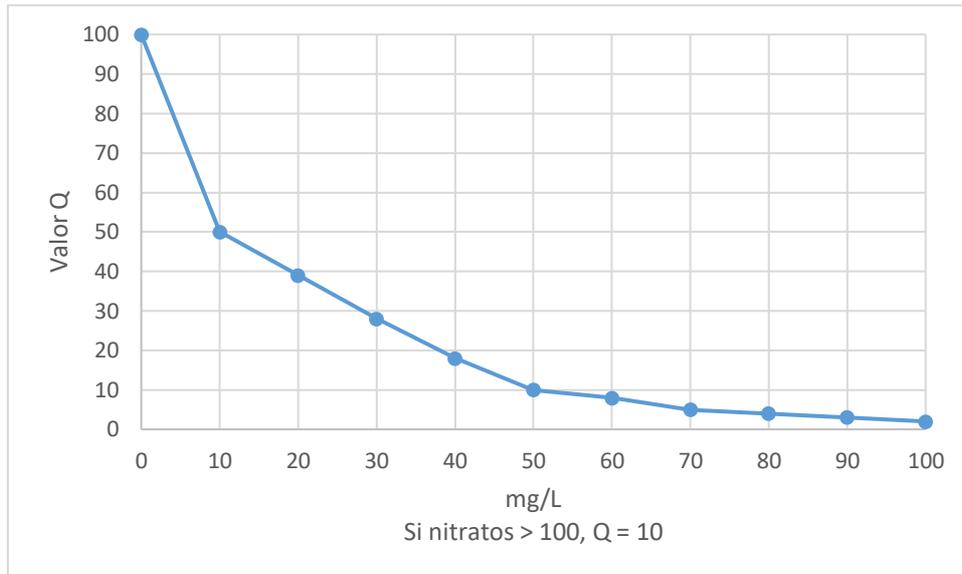


Figura 3. 5. Función de Nitratos

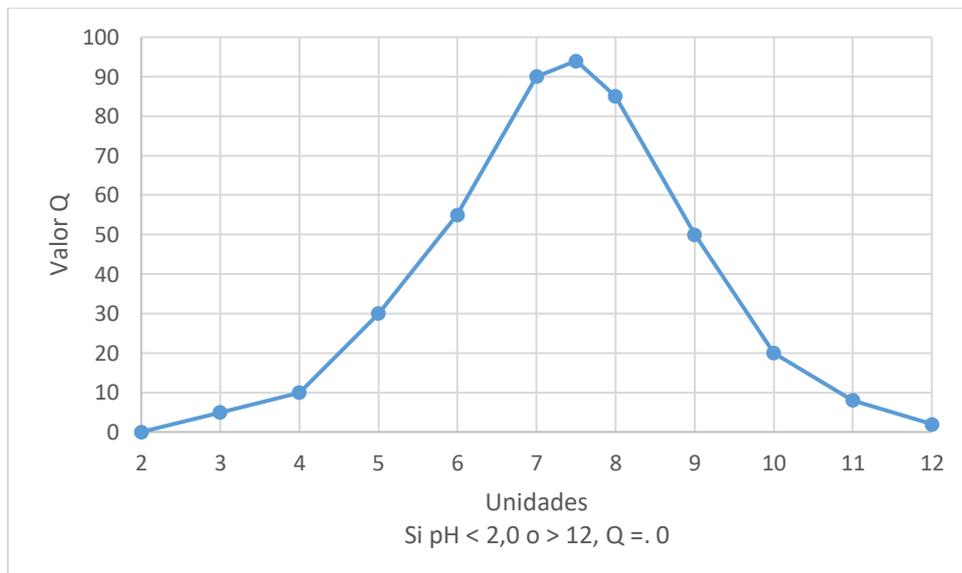


Figura 3. 6. Función de pH

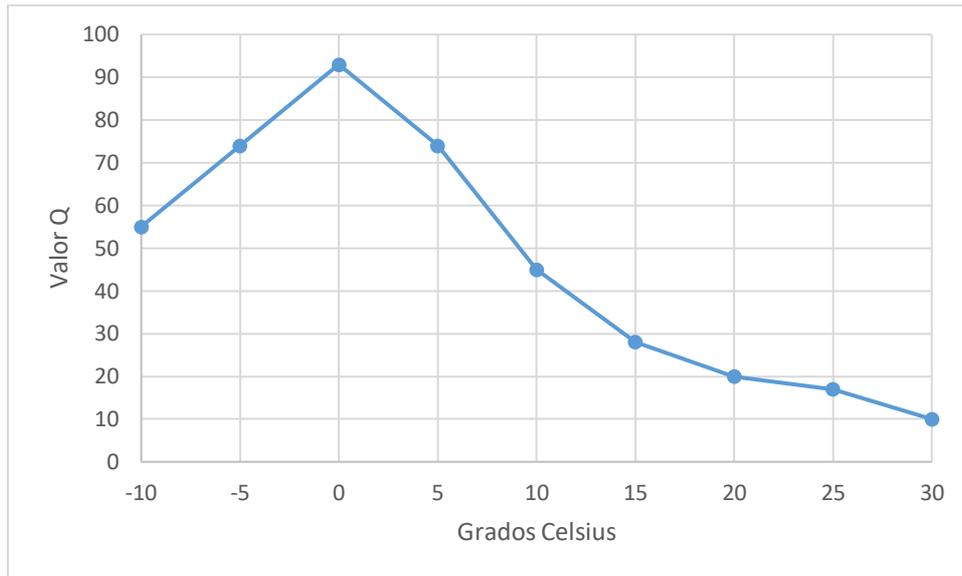


Figura 3. 7. Función de Variación de Temperatura

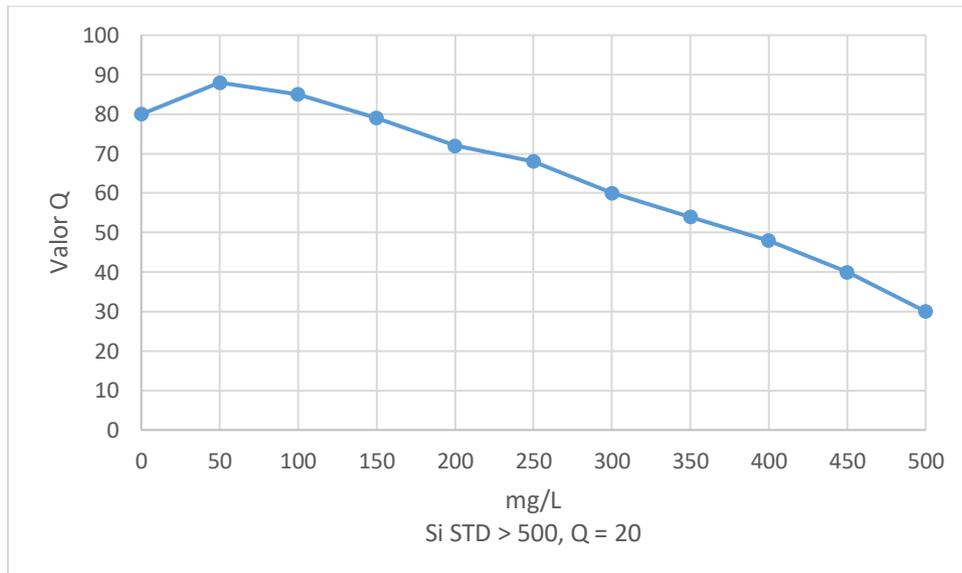


Figura 3. 8. Función de Sólidos Totales Disueltos

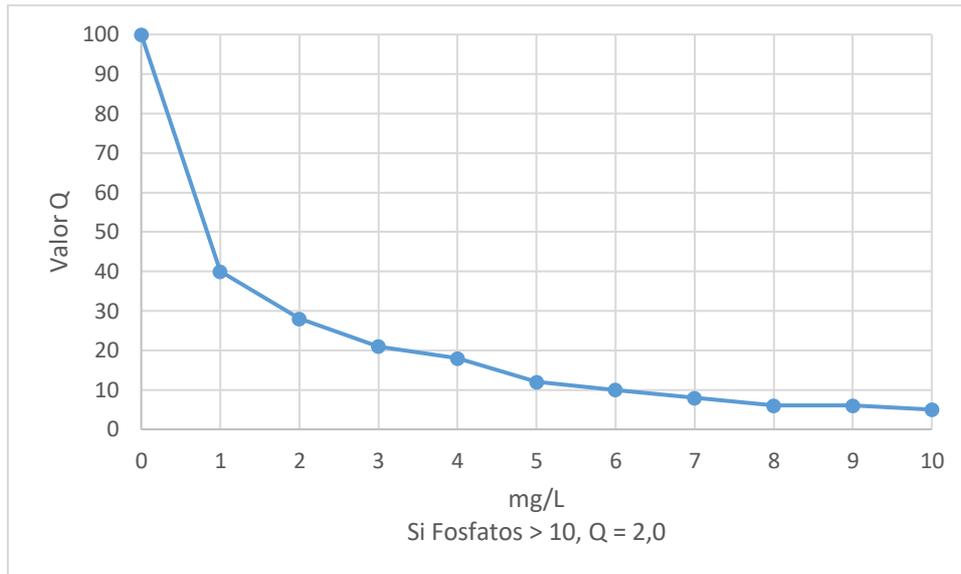


Figura 3. 9. Función de Fosfatos

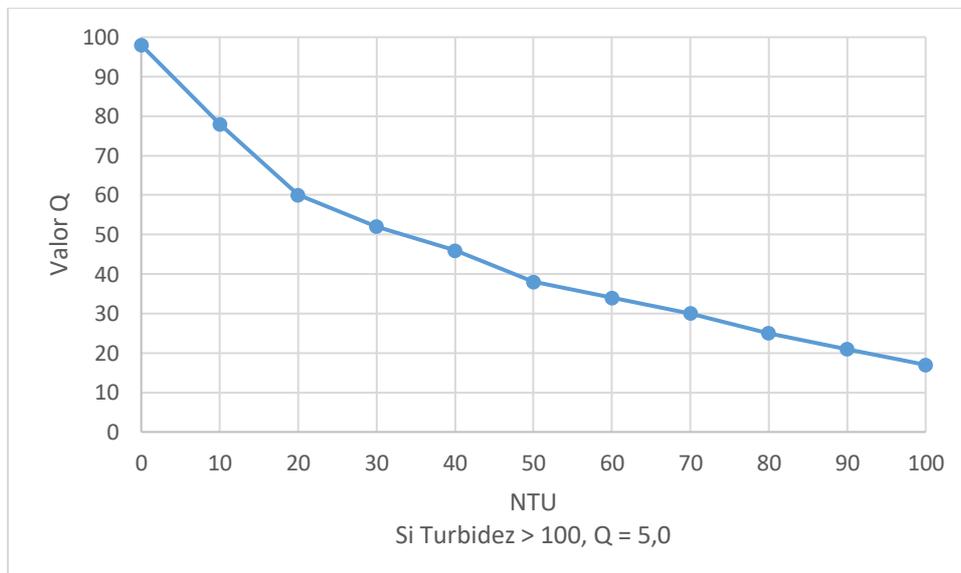


Figura 3. 10. Función de Turbidez

- **Índice de calidad de agua de Francisco Torres de Puerto Rico**

Para el cálculo de los subíndices de los parámetros de este índice de calidad de agua se aplicó la metodología de Torres (2009) quien manifiesta que mediante las gráficas desarrolladas por expertos se establecieron las siguientes ecuaciones correspondientes a cada parámetro:

- Temperatura:

$$S_{Temperatura} = \frac{0,18+198q^{0,43}}{7,1+(4,64x10^{-11}*q^{7,53})} \quad [\text{Ec. 3. 1}]$$

- pH

$$S_{pH} = \frac{4,17x10^{-3}q^4}{6+(1,42x10^{-8}*q^{10})} \quad [\text{Ec. 3. 2}]$$

- Oxígeno disuelto

$$S_{OD} = \frac{3,9q^{2,8}}{1,1+(2,8*q^{3,9})} \quad [\text{Ec. 3. 3}]$$

- Coliformes fecales

$$S_{Coliformes\ fecales} = \left(1 + \frac{q}{106,05}\right)^{-0,67} \quad [\text{Ec. 3. 4}]$$

- Nitratos

$$S_{Nitratos} = \left(1 + \frac{q}{2,33}\right)^{-0,92} \quad [\text{Ec. 3. 5}]$$

- Fósforo total

$$S_{Fósforo\ total} = \left(1 + \frac{q}{91,2}\right)^{-9,09} \quad [\text{Ec. 3. 6}]$$

- DBO5

$$S_{DBO5} = \left(1 + \frac{q}{19,63}\right)^{-5,02} \quad [\text{Ec. 3. 7}]$$

- Sólidos suspendidos

$$S_{\text{Sólidos suspendidos}} = \left(1 + \frac{q}{3,43 \times 10^8}\right)^{-6,9 \times 10^6} \quad [\text{Ec. 3. 8}]$$

Cabe indicar que el valor q corresponde a la concentración de cada variable analizada según los resultados de los laboratorios.

- **Índice de calidad de agua de Olguín *et al.*, de México**

Para la normalización del subíndice de cada variable se utilizaron las curvas de función con base en la metodología establecida por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF, 2010).

3.6.2.5. ACTIVIDAD 7. IDENTIFICACIÓN DE CALIDAD DE AGUA

Con los resultados obtenidos de los subíndices de cada parámetro por ICA se procedió a determinar la calidad del agua por medio de la aplicación de ecuaciones matemáticas y rangos establecidos de acuerdo con el índice.

- **Índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA – NSF)**

Se aplicó el método de promedio aritmético ponderado definido por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF, 2010) mediante la siguiente ecuación:

$$ICA = \sum_{i=1}^9 SI_i W_i \quad [\text{Ec. 3. 9}]$$

Donde SI_i es el subíndice del parámetro i y W_i el factor de ponderación para cada subíndice. El resultado final es interpretado de acuerdo con la siguiente escala de clasificación:

Tabla 3. 3. Calidad del agua asociada al valor del ICA (Escala de clasificación del ICA-NSF).

Calidad del agua	Valor del ICA
Excelente	91 – 100
Buena	71 – 90
Media	51 – 70
Mala	26 – 50

Muy mala

0 – 25

Fuente. Quiroz, Izquierdo y Menéndez (2017)

- **Índice de calidad de agua de Francisco Torres de Puerto Rico**

Se utilizó la metodología definida por Torres (2009) quien mediante métodos de agregación estableció la siguiente ecuación para el cálculo del índice de calidad de agua:

$$ICA = \left(1 - N + \sum_{i=1}^N S_i^{-2,5}\right)^{-0,4} \quad [\text{Ec. 3. 10}]$$

Donde:

N = número de constituyentes considerados

Si = subíndice para cada constituyente considerado

Una vez calculado el ICA se procedió a clasificar en que condición se encuentra el agua evaluada con base en la siguiente escala:

Tabla 3. 4. Escala de Clasificación para el ICA-TORRES.

Clasificación	Rango	Color
Bueno	90 – 100	
Moderado	71 – 89	
Promedio	31 – 70	
Alerta	15 – 30	
Pobre	0 – 15	

Fuente. Nicola y Proaño (2017)

- **Índice de calidad de agua de Olguín et al., de México**

Se aplicó la metodología detallada por Olguín *et al.*, (2010) quienes usaron el promedio aritmético ponderado mediante la siguiente ecuación:

$$ICA = \sum_{i=1}^7 SI_i W_i \quad [\text{Ec. 3. 11}]$$

Donde, Si es igual al subíndice de cada parámetro y Wi es el factor de ponderación para cada subíndice. El resultado obtenido se comparó se clasificó utilizando la escala sugerida por House y Ellis (1987):

Tabla 3. 5. Pesos relativos asignados a cada variable según el ICA Olgúin et al

Parámetro	Peso ponderado
Oxígeno Disuelto (OD)	0,1957
Coliformes fecales (CF)	0,1757
Potencial de hidrógeno (pH)	0,1457
DBO5	0,1257
Fosfatos totales	0,1257
Nitratos	0,1257
Sólidos totales	0,1058

Fuente: Olgúin *et al.*, (2010)

3.6.3. FASE III. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD APLICADOS EN EL ESTERO MACONTA CON LOS LÍMITES PERMISIBLES PARA CALIDAD DE AGUA

3.6.3.1. ACTIVIDAD 8. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA NORMATIVA APLICABLE

Luego de obtener los resultados de índices de calidad por cada ICA se procedió a realizar la tabulación de los datos en una tabla y posterior a esto se evaluaron si sus rangos estaban dentro de los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097 y según lo descrito por Cevallos (2019).

3.6.3.2. ACTIVIDAD 9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS

Se realizó un Análisis de varianza de un factor para establecer mediante el valor p si existen diferencias significativas entre los muestreos realizados, y la prueba de Tukey al 95% para establecer cuál de esas muestras presenta esa diferencia.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS DESCARGAS DE LA PTAR

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tosagua**

De acuerdo con la Ingeniera Katherine Macay, representante de la PTAR de Tosagua, la planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra ubicada en la Comunidad El Tambo del cantón Tosagua. Esta fue creada el 17 de diciembre de 2018 pero entró en funcionamiento en el 2019. La función de la planta es el tratamiento de las aguas residuales generadas por establecimientos, domicilios y locales comerciales del cantón Tosagua, cuyas descargas se encuentran conectadas directamente al alcantarillado sanitario hasta llegar a la estación de bombeo de San Pedro.

Para el tratamiento de estas aguas residuales se utilizan diferentes procesos tanto físicos, químicos y microbiológicos; mediante unidades de tratamientos convencionales o naturales con el fin de que el agua a tratar elimine la mayor cantidad de contaminantes, así sus parámetros cumplan con los límites máximos permisibles establecidos por las respectivas normas ambientales (Macay, 2020).

El proceso de tratamiento de las aguas residuales se detalla a continuación:

- Entrada del efluente:

Las aguas residuales de origen doméstico y comercial del cantón Tosagua descargan en la Estación de bombeo de San Pedro, donde mediante bombeo son expulsadas a las válvulas de entrada de la PTAR (Macay, 2020).

Belzona Inc. (2010), expresa que las aguas residuales del sistema municipal incluyen aguas residuales humanas y de viviendas, provenientes de inodoros, sumideros de baños y otros drenajes. Las industrias, escuelas y negocios aportan químicos y otros desperdicios de los procesos de las fábricas, operaciones de servicios de comida, aeropuertos, centros comerciales, etc. El agua de tormenta, la

más variable de estas tres fuentes, incluye agua de los drenajes de las calles, así como agua del subsuelo que ingresa a través de grietas hacia los drenajes.

Las plantas de Aguas Residuales, por lo general, tienen instaladas bombas centrífugas de succión a lo largo del proceso. Cuando un sistema se encarga de grandes volúmenes de agua, se usan también las bombas centrífugas de carcasa dividida o las bombas de flujo axial de tipo propulsor. Estas son similares a las bombas principales circulantes de agua que se ven en las plantas eléctricas más grandes (Belzona Inc., 2010).

- Sistema de recepción:

El flujo de aguas residuales se dirige a la entrada de la planta donde se encuentra la válvula de entrada para su respectivo tratamiento preliminar; por lo general se receiptan 1500 metros cúbicos de agua residual. Estas aguas pasan por un tratamiento de cribado, pasan por el desarenador, y terminan pasando por unas rejillas de barras de 100 micras; todo esto para eliminar los sólidos de gran tamaño presentes en estas aguas (Macay, 2020).

Meseth, (2013), manifiesta que el flujo de las aguas residuales ingresa a la entrada de la planta para el tratamiento preliminar. Las aguas residuales son filtradas mediante una rejilla de barras espaciadas de 20 mm. Todos los objetos grandes, tales como sólidos flotantes, papel, plástico, etcétera, son retenidos. Los sólidos removidos, conocidos como «escaneos», son retirados de la rejilla, lavados y compactados; luego son depositados en un contenedor y retirados fuera de la planta.

- Sistema de tratamiento primario:

Las aguas residuales pasan a un sedimentador primario, en donde se le realizara un tratamiento biológico utilizando un cultivo de microorganismos. Para el cultivo se utilizan 1 kg de bacterias sólidas las cuales se activan con 5 litros de melaza y se completa con agua residual en 2 tanques de 1000 litros de capacidad cada uno; esté preparado se deja reposar por 24 horas para su activación. Después, se distribuyen en los módulos para efectuar el tratamiento (Macay, 2020).

El tratamiento primario se refiere comúnmente a la remoción parcial de sólidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos, mediante sedimentación u otros medios y constituye un método de preparar el agua para el tratamiento secundario. Típicamente el tratamiento primario remueve alrededor del 60% de los sólidos suspendidos del agua residual cruda y un 35% de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) (De la Vega, 2012).

- Sistema de tratamiento secundario:

El flujo del agua continúa circulando por la acción de la gravedad desde el sedimentador primario hasta el primer módulo de aireación prolongada. Los lodos generados en este primer módulo se mezclan con las aguas residuales absorbiendo el oxígeno y tomando los nutrientes de estas.

Posterior a esto pasan a un sedimentador secundario en donde se permitirá la separación de estos lodos del agua tratada; esta agua vuelve a recircular para otro proceso de aireación y continuamente sedimentación y los lodos pasan a un proceso de deshidratación (Macay, 2020).

El propósito del Tratamiento Secundario es completar el proceso de tal modo que se evacúe el 90% de los contaminantes. El equipo usado es un Tanque de Aireación que proporciona enormes cantidades de aire a una mezcla de aguas residuales, bacterias y otros microorganismos. El oxígeno en el aire acelera el crecimiento de microorganismos útiles que consumen la materia orgánica dañina en el agua residual (Belzona Inc., 2010).

- Sistema de desinfección:

El agua luego de ser recirculada por el aireador y el sedimentador secundario pasa al proceso de desinfección; en donde, se trata el agua con Cloro y Cloruro de Sodio con la finalidad de eliminar cualquier organismo patógeno (Macay, 2020).

Belzona Inc., (2010) detalla que este proceso es el paso final antes de distribuir las aguas residuales ya tratadas al ambiente, y es para matar microorganismos que pueden representar un peligro para la salud. Este proceso, llamado desinfección puede ser alcanzado agregando cloro, exponiendo el agua residual a rayos

ultravioletas o mediante la ozonización. Mediante la cloración se mantiene el agua depurada en un depósito final de distribución con un contenido adecuado de cloro libre para evitar la proliferación de microorganismos con el objetivo de hacerla apta para su reutilización (Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa, s.f).

- Tratamiento de lodos deshidratados

El sedimentador primario, la cámara de aireación y el sedimentador secundario poseen válvulas de purgas que evacúan los lodos cada 15 días. Estos pasan por un proceso de deshidratación en las Eras de secado y el producto final puede ser utilizado para compost o de otra manera es retirado por el recolector para ser ubicado en las celdas emergentes de desechos del cantón Tosagua (Macay, 2020).

El objetivo del tratamiento es eliminar agua del lodo para convertirlo en una pasta sólida fácilmente manejable y transportable. El sistema depende de la cantidad de lodo y de terreno disponible. El primer sistema utilizado fue el de “Eras de secado” por su simplicidad y bajo costo. El procedimiento consiste en la disposición de los lodos a secar sobre una superficie al aire libre dotada de un buen drenaje. La altura de la capa extendida varía según las características del lodo. Para lodos urbanos digeridos se disponen capas de 20 a 30 cm. La superficie de las Eras varía en función del clima de la zona. La “torta” de lodos se suele secar cuando la humedad de la misma desciende por debajo del 40%. Un puente rascador que se mueve sobre unos carriles puede emplearse en la extracción de la torta de lodo (HC Ingenieros SAS, 2014).

- Descarga de agua tratada

El efluente final de la planta es descargado al estero Maconta, mismo que es utilizado por los moradores de dicha comunidad en sus sistemas de riego en siembras aledañas (Macay, 2020).

La planta de tratamiento debe contemplar entre los controles ambientales, el monitoreo de la calidad del efluente, de tal modo que las fallas operacionales puedan detectarse rápidamente para poder tomar las medidas pertinentes. La persona encargada de recoger las muestras debe dar información acerca de las

condiciones del lugar y la forma en que se realiza el muestreo. Esta información debe ser lo más detallada posible para que el analista del laboratorio y el químico que la interpretará puedan tener una visión cabal de las condiciones y problemas de funcionamiento de la planta. Este conocimiento proporciona la base para interpretar los resultados analíticos. El personal del laboratorio debe reproducir las condiciones principales del sitio de muestreo y para ello utilizará las anotaciones del recolector de muestras. El registro debe incluir una descripción sobre el aspecto del agua residual, su color, presencia de sólidos y material flotante, características olorosas. Es imprescindible medir la temperatura y el pH del agua in situ (HC Ingenieros SAS, 2014).

El proceso de tratamiento de las aguas residuales de la PTAR del cantón Tosagua se muestra en el siguiente flujograma:

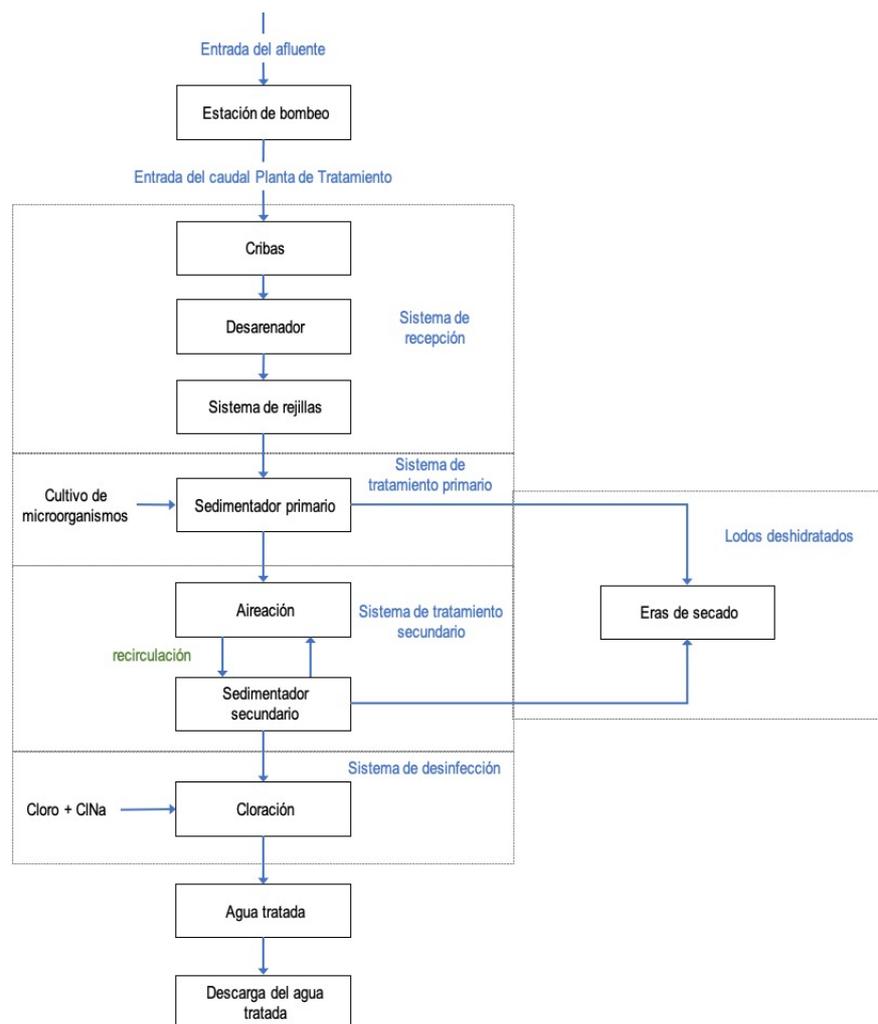


Figura 4. 1. Diagrama de procesos de la Planta de Tratamiento de aguas residuales del cantón Tosagua

- **Análisis de aguas de la descarga de la Planta de Tratamiento de aguas residuales del cantón Tosagua**

A continuación, se muestran unos resultados de la descarga de la PTAR de Tosagua, del 02 de diciembre de 2020:

Tabla 4. 1. Análisis de la descarga de aguas de la PTAR hacia el Estero Maconta del cantón Tosagua

Resultados análisis			
Parámetros	Unidad	Resultados	LMP
Coliformes fecales	NMP/100 ml	2100	2000
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,07	30
pH (campo)	-	7,11	6 – 9
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	15,2	50,0
Temperatura	°C	< 30,0	Condición natural ±3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	130	100,0
Aceites y grasas	mg/L	10,6	30,0
Sulfatos	mg/L	83	1000,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	271	200,0
Tensoactivos	mg/L	> 1,5	0,5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	106	130

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Tosagua

De acuerdo con los resultados obtenidos, los siguientes parámetros se encuentra fuera de los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Ministerial 097^a para descarga de aguas residuales a las fuentes de agua dulce:

- Coliformes fecales
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Demanda química de oxígeno
- Tensoactivos

Según Díaz *et al.* (2003), la presencia de microorganismos fecales en el agua es la causa principal de enfermedades de origen hídrico, que generan altos porcentajes de morbi-mortalidad en la población.

En el agua un alto contenido de DBO y DQO, demanda un alto consumo de oxígeno impidiendo su generación normal, matando así la vida acuática por asfixia. Habitualmente estos valores son utilizados como índices de contaminación: cuanto mayor sea su concentración más contaminada estará el agua (Muñoz, *et al.*, 2012).

Para el caso de los tensoactivos, dentro de los efectos más importantes en el recurso hídrico se tienen:

- Incremento de nutrientes en el agua (eutrofización) provocando la muerte de flora y fauna acuática
- Compuestos peligrosos presentes en el agua y que pueden llegar a la población (metales pesados, cloro, compuestos organoclorados) provocando efectos mutagénicos y cancerígenos (Brand, 2019).

Tabla 4. 2. Comparación de los resultados obtenidos con un estudio de Meseth (2013)

Resultados análisis			
Parámetros	Unidad	Resultados	Comparación estudios
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,07	0,02
pH (campo)	-	7,11	7,5
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	15,2	12,57
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	130	1,4
Sulfatos	mg/L	83	52,19
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	271	20,33
Sólidos suspendidos totales	mg/L	106	2,64

Los resultados obtenidos fueron comparados con un estudio de Meseth (2013) quien evaluó la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Tulsk (Irlanda) analizando los parámetros del afluente y del efluente de la misma; esto demostró que los valores de DBO, DQO, sulfatos y sólidos suspendidos totales muestran una notable diferencia con los del autor previamente mencionado. Esto indica que no existe una dilución considerable en el río y a pesar de que los valores se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana se debería realizar un análisis del impacto de estas concentraciones en el medio acuático del Estero Maconta

4.2. APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO (ICA-NSF), DE FRANCISCO TORRES DE PUERTO RICO, Y EL ÍNDICE PROPUESTO POR OLGUÍN Y COLABORADORES DE MÉXICO

Se establecieron cinco puntos de muestreo a lo largo del río Maconta tomando en consideración 2 puntos antes de la descarga de la PTAR y 3 puntos posteriores a esta, delimitando un tramo de 500 metros de longitud (Díaz y Murillo, 2020), con tres frecuencias de monitoreo correspondientes a los meses de marzo, mayo y julio. El mapa de localización de los puntos se muestra a continuación:

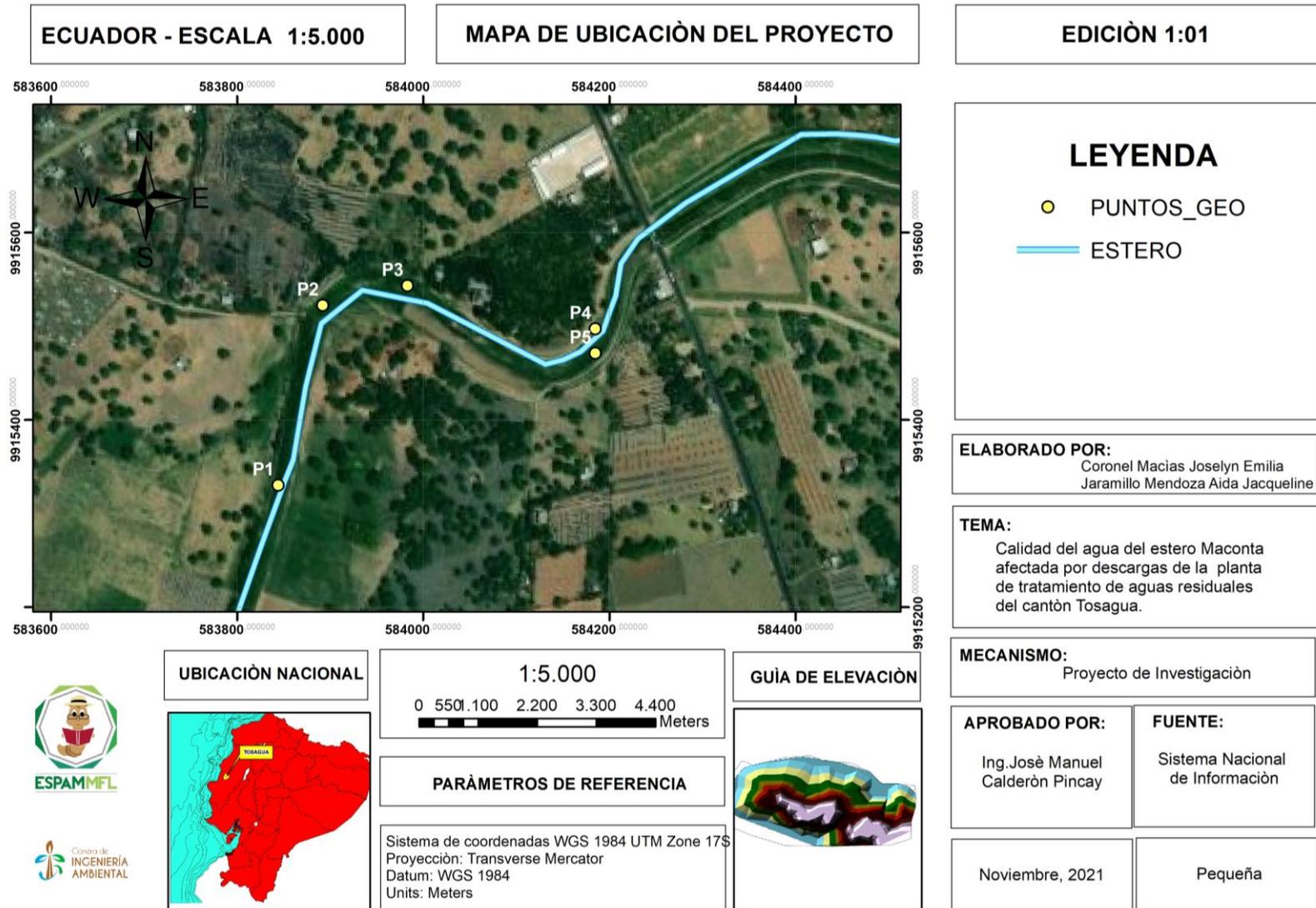


Figura 4. 2. Localización geográfica de los puntos de muestreo establecidos en el Estero Maconta

Según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2010), realizar un buen muestreo tanto en número de muestras como ubicación es de vital importancia para indicar la calidad del agua y todos los datos analíticos obtenidos mediante la determinación de parámetros como: las concentraciones de material inorgánico, minerales o químicos disueltos, gases disueltos, materia orgánica disuelta y materia en suspensión en el agua o en el sedimento en un tiempo y lugar específicos o a intervalos de tiempo y en un lugar en particular.

Los resultados de los análisis de los parámetros de los índices de calidad de agua en cada uno de los puntos de muestreo se detallan a continuación:

Tabla 4. 3. Análisis de los parámetros seleccionados para el cálculo de los diferentes índices de calidad de agua de la presente investigación

Parámetro	Unidad	P1			P2			P3			P4			P5		
		M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Coliformes fecales	UFC/ml	1,7x10 ²	2,9x10 ³	4,6x10 ²	8,5x10 ²	1,1x10 ³	6x10 ²	1,2x10 ⁴	3,8x10 ³	1,1x10 ⁴	1,4x10 ⁴	4,2x10 ⁴	1,2x10 ⁴	7,4x10 ³	1,3x10 ³	3,1x10 ⁴
pH	-	7,39	7,75	7,84	7,32	7,2	7,72	7,54	7,13	7,13	7,64	7,04	6,9	7,62	7	6,92
Nitratos	mg/L	0,12	0,06	0,09	0,13	0,12	0,1	0,08	0,24	0,15	0,08	0,19	0,15	1,07	0,17	0,15
Fósforo total	mg/L	2,67	0,86	0,38	2,77	1,47	0,86	1,6	2,55	1,37	1,17	4,12	2,55	1,10	3,19	3,8
Fosfatos	mg/L	8,2	2,7	1,2	8,5	4,6	2,7	4,9	8,0	4,3	3,6	12,9	8	3,4	10	11,9
DBO ₅	mg/L	15,04	6,5	17,85	13,68	6,5	6,5	47,3	6,5	44	34,6	11,2	49,6	15,3	8,75	74,8
Temperatura del agua	°C	30,1	26,3	25,4	30,5	26,5	27,5	29,5	27,1	29	33,8	28,4	28,9	34,6	29,9	27,7
Cambio de temperatura	°C	-3,1	1,3	2,5	-3,5	1,5	-0,5	-2,5	-0,1	-2	-6,8	-1,4	-1,9	-7,6	-2,9	-0,7
Turbidez	NTU	87	8,98	7,69	136	47,08	11,16	48,76	37,07	27,51	61	177	49,22	71	116	54
Sólidos totales	mg/L	640	915	640	640	915	640	877	928	700	877	947	639	947	953	639
Sólidos suspendidos	mg/L	15	50	60	16	630	170	18	320	720	19	1780	440	21	920	930
Oxígeno disuelto	% sat	81,56	71,6	66,27	76,32	57,5	76,92	71,05	45	24,68	80,56	60,26	12,99	72,22	73,33	20,51

- **Índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA – NSF)**

Tabla 4. 4. Resultados del ICA - NSF en los diferentes puntos y tiempos de muestreo

Puntos	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3		Promedio	
	ICA %	Escala	ICA %	Escala	ICA %	Escala d	ICA%	Escala
P1	55,18	Media	61,77	Media	57,34	Media	58,1	Media
P2	50,77	Media	52,55	Media	61,94	Media	55,09	Media
P3	51,02	Media	49,04	Mala	43,85	Mala	47,97	Mala
P4	52,36	Media	45,55	Mala	39,74	Mala	45,88	Mala
P5	48,14	Mala	49,9	Media	40,08	Mala	46,04	Mala
Promedio	51,49	Media	51,76	Media	48,59	Mala	50,62	Mala

La calidad del agua del Estero Maconta se encuentra en rangos de media a mala, disminuyendo de valor en la trayectoria del cauce del estero desde el punto 1 con un valor de 58,1% hasta el punto 5 con un 46,04%. Estos valores coinciden con un estudio realizado por Quiroz *et al.*, (2017) en donde se evaluó la calidad del agua del río Portoviejo mediante la aplicación del índice de calidad de agua ICA – NSF. Los autores manifestaron que la calidad del agua disminuye de media a mala y es coherente con el deterioro paulatino a lo largo del curso del río.

Con base en investigaciones llevadas a cabo por la Dirección de Medio Ambiente del Municipio de Portoviejo (DMAP, 2011) y Macías y Díaz (2010), la causa principal de esta problemática es la escasa cobertura del sistema de alcantarillado, el notable incremento del asentamiento poblacional en los márgenes del río y la deficiente operación de la estación depuradora existente son los aspectos fundamentales, lo que contribuye a la degradación paulatina de la calidad ambiental de las fuentes hídricas superficiales hasta llegar a la situación actual de grave deterioro.

- **Índice de calidad de agua de Francisco Torres de Puerto Rico**

Tabla 4. 5. Resultados del ICA - Torres en los diferentes puntos y tiempos de muestreo

Puntos	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3		Promedio	
	ICA %	Escala	ICA %	Escala	ICA %	Escala	ICA %	Escala
P1	5,74	Pobre	19,77	Alerta	3,87	Pobre	9,79	Pobre
P2	6,88	Pobre	0	Pobre	3,26	Pobre	3,38	Pobre
P3	0,21	Pobre	0,16	Pobre	0	Pobre	0,12	Pobre
P4	0,61	Pobre	0	Pobre	0,01	Pobre	0,21	Pobre
P5	4,28	Pobre	0	Pobre	0	Pobre	1,43	Pobre
Promedio	3,54	Pobre	3,99	Pobre	1,43	Pobre	2,99	Pobre

La calidad del agua del Estero Maconta se encuentra en un rango pobre según el índice de calidad de agua propuesto por Torres (2009). Solo en el punto 1, el muestreo 2 realizado en el mes de junio se puede ver una calidad un poco mayor, no obstante, es considerada de alerta con un 19,77%

Según el estudio realizado por el creador del índice (Torres, 2009), en donde se evaluó la calidad del agua del río Grande Añasco en Puerto Rico, el ICA promedio calculado en una condición promedio de temperatura y humedad del ambiente va desde 0,03% a 25,02% lo cual se clasifica en un rango de Alerta. El autor manifiesta que el ICA presenta valores más altos en condiciones húmedas y menores en condiciones secas. Esto es debido a que en épocas húmedas la acumulación de cargas de contaminantes es menor por las lluvias, cosa que no sucede en la época seca y los contaminantes se pueden acumular en mayores cantidades.

En este índice de calidad de agua existen 5 constituyentes que muestran una influencia mayor para su valor final, los cuales son coliformes fecales, plomo, nitratos, DBO y OD (Torres, 2009). De todos estos, en el caso de estudio el plomo fue excluido, y los coliformes fecales y la DBO fueron parámetros que influyeron bastante en los valores bajos del ICA, lo cual se vio reflejado en el cálculo del subíndice.

- **Índice de calidad de agua de Olguín *et al.*, de México**

Tabla 4. 6. Resultados del ICA - Olguín *et al.*, en los diferentes puntos y tiempos de muestreo

Puntos	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3		Promedio	
	ICA	Escala	ICA	Escala	ICA	Escala	ICA	Escala
P1	55,48	Medianamente contaminada	56,43	Medianamente contaminada	52,04	Medianamente contaminada	54,65	Medianamente contaminada
P2	51,91	Medianamente contaminada	50,25	Contaminada	57,13	Medianamente contaminada	53,1	Medianamente contaminada
P3	48,95	Contaminada	44,67	Contaminada	38,53	Contaminada	44,05	Contaminada
P4	52,76	Medianamente contaminada	45,07	Contaminada	35,17	Contaminada	44,33	Contaminada
P5	48,63	Contaminada	50,92	Contaminada	35,58	Contaminada	45,04	Contaminada
Promedio	50,01	Contaminada	47,49	Contaminada	46,69	Contaminada	43,69	Contaminada

La calidad del agua del Estero Maconta se encuentra en rangos de medianamente contaminada a contaminada, disminuyendo de valor en la trayectoria del cauce del estero desde el punto 1 con un valor de 54,65% hasta el punto 5 con un 45,04%.

Olguín *et al.*, (2010) crearon este índice en un estudio donde evaluaron la contaminación de los ríos urbanos de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México. El análisis manifestó que para la época seca encontraron valores pertenecientes a los rangos de altamente contaminada, contaminada y medianamente contaminada; y para la época lluviosa los rangos de contaminada y medianamente contaminada. Una de las causas por la disminución de la contaminación a lo largo de los ríos es la disminución poblacional, se pudo observar que a medida que el río se encontraba en zonas periféricas y escasamente pobladas la contaminación disminuía.

Desde el punto de vista ecológico, el daño al ecosistema es múltiple. Los altos niveles de contaminación encontrados posiblemente han eliminado la mayor parte de la fauna del río así como algunas especies de plantas (CNA, 2000). En este sentido, el Estero Maconta requiere de una rehabilitación de manera integral, debido a la baja calidad en la que se encuentran todas las estaciones monitoreadas.

4.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD APLICADOS EN EL ESTERO MACONTA CON LOS LÍMITES PERMISIBLES PARA CALIDAD DE AGUA

Los resultados de los parámetros analizados fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097A para descargas a un cuerpo de agua dulce.

Tabla 4. 7. Comparación de los parámetros analizados con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097A en el Punto 1 de muestreo

Parámetro	Unidad	P1			LMP (AM 097A)	Unidad	Comentarios
		M1	M2	M3			
Coliformes fecales	UFC/ml	170	290	460	2000	NMP	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
pH	-	7,39	7,75	7,84	6 – 9	-	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Nitratos	mg/L	0,12	0,06	0,09	-		
Fósforo total	mg/L	2,67	0,86	0,38	10	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites

							máximos establecidos por la ley
Fosfatos	mg/L	8,2	2,7	1,2	-		
DBO5	mg/L	15,04	6,5	17,85	100	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Temperatura del agua	°C	30,1	26,3	25,4	Condición natural \pm 3	°C	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Turbidez	NTU	87	8,98	7,69	-		
Sólidos totales	mg/L	640	915	640	1600	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Sólidos suspendidos	mg/L	15	50	60	130	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Oxígeno disuelto	mg/L	6,2	5,8	5,5	> 3,2*	mg/L	Todas las muestras se encuentran sobre el mínimo establecido por la Normativa de la Comisión Nacional del Agua de México

Tabla 4. 8. Comparación de los parámetros analizados con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097A en el Punto 2 de muestreo

Parámetro	Unidad	P2			LMP (AM 097A)	Unidad	Comentarios
		M1	M2	M3			
Coliformes fecales	UFC/ml	850	1100	600	2000	NMP	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
pH	-	7,32	7,2	7,72	6 – 9	-	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Nitratos	mg/L	0,13	0,12	0,1	-		
Fósforo total	mg/L	2,77	1,47	0,86	10	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Fosfatos	mg/L	8,5	4,6	2,7	-		
DBO5	mg/L	13,68	6,5	6,5	100	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Temperatura del agua	°C	30,5	26,5	27,5	Condición natural \pm 3	°C	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley

Turbidez	NTU	136	47,08	11,16	-		
Sólidos totales	mg/L	640	915	640	1600	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Sólidos suspendidos	mg/L	16	630	170	130	mg/L	Las muestras 2 y 3 exceden los límites máximos permisibles establecidos por la normativa de descarga a un cuerpo de agua dulce
Oxígeno disuelto	mg/L	5,8	4,6	6	> 3,2*	mg/L	Todas las muestras se encuentran sobre el mínimo establecido por la Normativa de la Comisión Nacional del Agua de México

Tabla 4. 9. Comparación de los parámetros analizados con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097A en el Punto 3 de muestreo

Parámetro	Unidad	P3			LMP (AM 097A)	Unidad	Comentarios
		M1	M2	M3			
Coliformes fecales	UFC/ml	12000	3800	11000	2000	NMP	Todas las muestras exceden los límites máximos establecidos por la ley
pH	-	7,54	7,13	7,13	6 – 9	-	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Nitratos	mg/L	0,08	0,24	0,15	-		
Fósforo total	mg/L	1,6	2,55	1,37	10	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Fosfatos	mg/L	4,9	8,0	4,3	-		
DBO5	mg/L	47,3	6,5	44	100	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Temperatura del agua	°C	29,5	27,1	29	Condición natural \pm 3	°C	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Turbidez	NTU	48,76	37,07	27,51	-		
Sólidos totales	mg/L	877	928	700	1600	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Sólidos suspendidos	mg/L	18	320	720	130		Las muestras 2 y 3 exceden los límites máximos permisibles establecidos por la normativa de descarga a un cuerpo de agua dulce
Oxígeno disuelto	mg/L	5,4	3,6	1,9	> 3,2*	mg/L	Todas las muestras se encuentran sobre el mínimo

							establecido por la Normativa de la Comisión Nacional del Agua de México, a excepción de la muestra 3
--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 4. 10. Comparación de los parámetros analizados con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097A en el Punto 4 de muestreo

Parámetro	Unidad	P4			LMP (AM 097 ^a)	Unidad	Comentarios
		M1	M2	M3			
Coliformes fecales	UFC/ml	14000	42000	12000	2000	NMP	Todas las muestras exceden los límites máximos establecidos por la ley p
pH	-	7,64	7,04	6,9	6 – 9	-	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Nitratos	mg/L	0,08	0,19	0,15	-		
Fósforo total	mg/L	1,17	4,12	2,55	10	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Fosfatos	mg/L	3,6	12,9	8	-		
DBO5	mg/L	34,6	11,2	49,6	100	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Temperatura del agua	°C	33,8	28,4	28,9	Condición natural ± 3	°C	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Turbidez	NTU	61	177	49,22	-		
Sólidos totales	mg/L	877	947	639	1600	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Sólidos suspendidos	mg/L	19	1780	440	130		Las muestras 2 y 3 exceden los límites máximos permisibles establecidos por la normativa de descarga a un cuerpo de agua dulce
Oxígeno disuelto	mg/L	5,8	4,7	1	> 3,2*	mg/L	Todas las muestras se encuentran sobre el mínimo establecido por la Normativa de la Comisión Nacional del Agua de México, a excepción de la muestra 3

Tabla 4. 11. Comparación de los parámetros analizados con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097A en el Punto 5 de muestreo

Parámetro	Unidad	P5			LMP (AM 097 ^a)	Unidad	Comentarios
		M1	M2	M3			
Coliformes fecales	UFC/ml	7400	1300	31000	2000	NMP	Todas las muestras exceden los límites máximos establecidos por la ley para su
pH	-	7,62	7	6,92	6 – 9	-	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Nitratos	mg/L	1,07	0,17	0,15	-		
Fósforo total	mg/L	1,10	3,19	3,8	10	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Fosfatos	mg/L	3,4	10	11,9	-		
DBO5	mg/L	15,3	8,75	74,8	100	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Temperatura del agua	°C	34,6	29,9	27,7	Condición natural \pm 3	°C	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Turbidez	NTU	71	116	54	-		
Sólidos totales	mg/L	947	953	639	1600	mg/L	Todas las muestras se encuentran bajo los límites máximos establecidos por la ley
Sólidos suspendidos	mg/L	21	920	930	130		Las muestras 2 y 3 exceden los límites máximos permisibles establecidos por la normativa de descarga a un cuerpo de agua dulce
Oxígeno disuelto	mg/L	5,2	5,5	1,6	> 3,2*	mg/L	Todas las muestras se encuentran sobre el mínimo establecido por la Normativa de la Comisión Nacional del Agua de México, a excepción de la muestra 3

Los resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos comparados con la normativa ambiental vigente se detallan desde la Tabla 4.7 hasta la Tabla 4.11.

Los valores más altos de coliformes fecales se presentaron a partir del punto 3 de muestreo, donde este parámetro se encontró fuera de los límites máximos permisibles de la normativa ambiental vigente. Estos valores altos se deben a la descarga directa de la planta de tratamiento de aguas residuales del sitio (Olguín

et al., 2010) el cual se encuentra ubicado entre los puntos 2 y 3 de monitoreo. En cuanto a la DBO5, este parámetro mostró valores típicos del agua residual doméstica en los puntos 3, 4 y 5 de monitoreo.

Los Sólidos suspendidos totales (SST) son pequeñas partículas sólidas que permanecen en suspensión en agua como coloide o debido al movimiento del agua (Bordalo, *et al.*, 2006). Este parámetro se encontró fuera de los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Ministerial 097A a partir del punto 2, en los muestreos 2 y 3; esto ahonda aún más la teoría de una mala planificación y vigilancia de las autoridades; así como también de la necesidad de una mejora en los procesos de tratamiento de la PTAR del cantón ya que el tratamiento primario de una planta de tratamiento permite remover entre un 60 a 70 % de sólidos suspendidos totales (De la Vega, 2012).

Los ríos son capaces de autodepurarse por la acción de los organismos vivientes que consumen materia orgánica y por el proceso de sedimentación que facilita la formación del lecho del río. En el momento en que ocurre la descarga de aguas residuales, inicia la descomposición biológica en la cual se consume oxígeno, disminuyendo así la concentración de oxígeno disuelto (Jáuregui, *et al.*, 2007), esto se observa en los resultados obtenidos ya que los valores más bajos de oxígeno disuelto se encontraron en el punto 3 y 4 después de la descarga de la PTAR.

El pH es otro de los parámetros que afecta de manera esencial los procesos biológicos. Muchos organismos solo pueden sobrevivir en un intervalo específico de pH (Chaturvedi y Bassin, 2010). Sin embargo, en este trabajo, el pH fue el parámetro más estable manteniéndose en un intervalo estrecho de 6.9 a 7,84, valores que se encuentran dentro de los niveles normales (6.0 a 9).

- **Análisis estadístico de resultados**

- Índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA – NSF)

Tabla 4. 12. Resumen de datos utilizados para el ANOVA en el ICA - NSF

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	5	257,47	51,494	6,58368

Columna 2	5	258,81	51,762	37,56157
Columna 3	5	242,95	48,59	106,9988

Tabla 4. 13. Análisis de varianza de un factor ANOVA al 95% de los resultados calculados en el ICA - NSF

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	30,9443733	2	15,4721867	0,31	0,741	3,88529383
Dentro de los grupos	604,5762	12	50,38135			
Total	635,520573	14				

Debido a que el valor p es mayor a 0,05 se acepta la hipótesis nula por lo tanto se establecen que no existen diferencias significativas entre las medias de los ICA NSF de cada una de las muestras

- Índice de calidad de agua de Francisco Torres de Puerto Rico

Tabla 4. 14. Resumen de datos utilizados para el ANOVA en el ICA - Torres

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	5	17,72	3,544	9,05423
Columna 2	5	19,93	3,986	77,85938
Columna 3	5	14,93	2,986	16,19773

Tabla 4. 15. Análisis de varianza de un factor ANOVA al 95% de los resultados calculados en el ICA - Torres

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2,51121333	2	1,25560667	0,037	0,964	3,88529383
Dentro de los grupos	412,44536	12	34,3704467			
Total	414,956573	14				

Debido a que el valor p es mayor a 0,05 se acepta la hipótesis nula por lo tanto se establecen que no existen diferencias significativas entre las medias de los ICA NSF de cada una de las muestras

- Índice de calidad de agua de Olguín et al., de México

Tabla 4. 16. Resumen de datos utilizados para el ANOVA en el ICA - Olguín et al.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	5	257,73	51,546	8,08123
Columna 2	5	247,34	49,468	23,38812
Columna 3	5	218,45	43,69	103,83605

Tabla 4. 17. Análisis de varianza de un factor ANOVA al 95% de los resultados calculados en el ICA - Olgún et al.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	165,700173	2	82,8500867	1,837	0,201	3,88529383
Dentro de los grupos	541,2216	12	45,1018			
Total	706,921773	14				

En todos los análisis de varianza de los índices de calidad estudiado es al valor p resultó mayor a 0,05 por lo tanto se establece que no existen diferencias significativas entre las medias de los ICA de cada una de las muestras.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La Planta de tratamiento de aguas residuales de Tosagua utiliza diferentes procesos tanto físicos, químicos y microbiológicos; mediante unidades de tratamientos convencionales o naturales con el fin de que el agua a tratar elimine la mayor cantidad de contaminantes, así sus parámetros cumplan con los límites máximos permisibles establecidos por las respectivas normas ambientales. El proceso de tratamiento incluye un sistema de recepción con un tratamiento preliminar de cribado y filtración; un sistema de tratamiento primario, que incluye un sedimentador primario y tratamiento biológico; un sistema de tratamiento secundario, donde prima la aireación del fluido; el sistema de desinfección, en donde, se trata el agua con Cloro y Cloruro de Sodio con la finalidad de eliminar cualquier organismo patógeno; adicional a esto se realiza un tratamiento de lodos deshidratados para su uso principal como abono; y por último, la descarga del agua tratada hacia el estero Maconta, cuyos parámetros analizados no exceden los límites máximos permisibles por la normativa ambiental.
- La calidad del agua del Estero Maconta se encuentra en rangos de media a mala, según el índice de calidad ICA - NSF disminuyendo de valor en la trayectoria del cauce del estero desde el punto 1 con un valor de 58,1% hasta el punto 5 con un 46,04%. De acuerdo con el índice propuesto por Torres la calidad del agua se encuentra en un rango pobre. Y en el caso del índice de calidad propuesto por Olguín *et al.*, la calidad del agua del Estero Maconta se encuentra en rangos de medianamente contaminada a contaminada, disminuyendo desde el punto 1 con un valor de 54,65% hasta el punto 5 con un 45,04%.
- La mayoría de los parámetros analizados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles comparados con la tabla de descargas de agua a un cuerpo de agua dulce, a excepción de los coliformes fecales y sólidos suspendidos. Estos valores altos se deben a la descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales del sitio.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones cuya finalidad sea la mejora del tratamiento establecido en la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Tosagua; como un trabajo mancomunado entre autoridades cantonales y universidades de la provincia; de esta manera se tendrá una mejor calidad de agua del estero y de las fuentes hídricas en general.
- Proponer un estudio de tiempos prolongados, en donde se analice la variación de la calidad del agua del estero Maconta alrededor de la épocas tanto húmeda y seca y los años de estudio. Estos resultados serán la base de las propuestas de planificación del sitio de estudio con la finalidad de mejora del estero ya que mediante esta base de datos se definirá con especificidad las causales de la contaminación.
- Motivar a las autoridades sectoriales y cantonales a una mejora de su planificación y a una mejor vigilancia en el sector; para identificar las descargas ilegales de aguas residuales domésticas y cortar de raíz la fuente de contaminación principal del estero.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R. (2012). *Efecto de los microorganismos eficientes (ME) en las aguas residuales de la granja porcina de Zamorano, Honduras*.
- Aguirre, M., Vanegas, E. y García, N. (2016). *Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala*. Rev Cie Téc Agr. Vol. 25(2).
- Aslam, M. (2019). Introducing Kolmogorov–Smirnov tests under uncertainty: an application to radioactive data. *ACS omega*, 5(1), 914-917.
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos*. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/2011-protocolo-anaperu.pdf
- Aznar, A. (2000). *Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas*. Gestión Ambiental 2000. Vol. 2(23). p 12-19.
- Beamonte, E., Casino, A. y Veres, E. (2004). *Un indicador global para la calidad del agua. Aplicación a las aguas superficiales de la Comunidad Valenciana*. Estadística Española. 46(156), 357-384.
- Beltrán, T. y Campos, C. (2016). *Influencia de microorganismos eficaces sobre la calidad de agua y lodo residual, planta de tratamiento de Jauja*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional - Universidad Nacional del Centro del Perú
- Belzona Inc. (2010). *Tratamiento de aguas residuales*. España: Belzona Inc.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación*. <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
- Bolaños, J., Cordero, G. y Segura, G. (2017). *Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación*

- ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15-27.
- Bordalo, A., Teixeira, R., y Wiebe, W. (2006). Índice de calidad del agua aplicado a una cuenca fluvial internacional compartida: el caso del río Duero. *Environ Manage*, 910 - 920.
- Brand, D. (2019). Efectos de los tensoactivos en el medio ambiente. *Gerencia Ambiental y Desarrollo Sostenible Empresarial*, 1-15.
- Briñez, K., Guarnizo, J. y Arias, S. (2012). *Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima*. Rev. Fac. Nac. Salud Pública. Vol. 30(2). p 175-182.
- Buenaño, M. (2015). *Tecnologías en aguas y saneamiento ambiental* .
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10534/1/CD-6234.pdf>
- Cabascango, T y Ortiz, K. (2019). *Evaluación de la eficacia de tratamientos de aguas residuales sintéticas utilizando peces cebras (Danio rerio) como bioindicador en un sistema de exposición no forzada*.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20572/1/CD%2010068.pdf>
- Cadena, P., Rendón, R., Aguilar, J., Salinas, E., de la Cruz, F. y Sangerman, D. (2017). *Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales*.
<https://www.redalyc.org/pdf/2631/263153520009.pdf>
- Caho, C. y López, E. (2017). *Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI*. *Producción + Limpia*. 12(2), 35-49.
- Caicedo, L. (2014). *Criterios para selección de tratamientos de aguas residuales*.
file:///D:/escritorio/Downloads/Dialnet-CriteriosParaLaSeleccionDeUnSistemaDeTratamientoDe-4902483.pdf
- Campos, G. y Lule, N. (2012). "La observación, un método para el estudio de la realidad". *Revista Xihmai*. Vol. 7(13). p 45 – 60.

- Carvajal, E. (2005). *Ingeniería de Aguas Residuales*.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/CAPITULO%202.pdf>
- Cattaneo, M. y López, E. (2013). *Evolución de la calidad del agua de la cuenca Matanza-Riachuelo*. Revista de Ciencia y Tecnología. Vol. 13. p 251 – 278.
- Cevallos, M. (2019). Evaluación de las variables físicas en el agua del humedal la Segua Chone en periodo seco y lluvioso del 2019.
<http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1200/1/TTMA67.pdf>
- Chaturvedi, M., y Bassin, J. (2010). Evaluación del índice de calidad del agua de tratamiento de agua y pozos perforados en la planta de Delhi, India. *Environ Monit Assess*, 449 - 453.
- Comisión Nacional del Agua de México (CNA). (2010). *Datos hidrológicos de la subcuenca del río Sordo*. México: Gerencia Regional Golfo Centro.
- Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa. (s.f.). *Descripción del proceso de tratamiento de aguas residuales en la plantas de tratamiento*. México: Ayuntamiento de Xalapa.
- Cortés, M. (2003). Importancia de los coliformes fecales como indicadores de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. *Revista Biomédica*, 14(2), 121-123.
- De la Vega, M. (2012). *Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. México: Refugia Centro para la Conservación de la Ecobiodiversidad A.C.
- Debels, P., Figueroa, R., Urrutia, R., Barra, R., y Niell, X. (2005). Evaluación de la calidad del agua en el río Chillán (Chile Central) mediante parámetros fisicoquímicos y un índice de calidad del agua modificado. *Environ Monit Asses*, 301 - 322.
- Delgado, S. (2015). *“Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia San Mateo del Cantón Esmeraldas”*.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4766/1/96T00324%20UDCTFC.pdf>

Díaz, C., Fall, C., Quentin, E., Jiménez, M., Esteller, V., Garrido, S., . . . García, D. (2003). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. Colombia: RIPDA-CYTED.

Díaz, K. y Murillo, M. (2020). Evaluación preliminar del recurso hídrico en la municipalidad de Yoro, Yoro, Honduras. https://www.researchgate.net/publication/340930051_Evaluacion_preliminar_del_recurso_hidrico_en_la_municipalidad_de_Yoro_Yoro_Honduras

Dirección de Medio Ambiente del Municipio de Portoviejo (DMAP). (2011). *Situación actual de los recursos naturales del Cantón Portoviejo*. Portoviejo: DMAP.

Dunán, P. (2019). *Evaluación de la calidad de las aguas superficiales del río Yamanigüey mediante el Índice de Calidad de Agua ICA-NSF*. <http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3699/DunanAvila2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A. (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac Y Cusco*. <https://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>

Espinoza, D. y Zumba, T. (2018). *Estudio del impacto ambiental en la calidad del agua del río Cuenca producido por la descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba*. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30325/1/3.Trabajo-de-titulacion.pdf>

Fiallos, C. y Mosquera, C. (2016). *“Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales descargadas en los ríos Pumacunchi y Cutuchi, generadas en la Brigada de Fuerzas Especiales N.- 9 PATRIA, PERIODO 2015 - 2016”*. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/3249/1/T-UTC-00516.pdf>

- Flores, C. (2021). *Microorganismos eficaces para el tratamiento de aguas residuales domésticas San Francisco De Asís, Pomalca*. [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional - Universidad Cesar Vallejo.
- Flores, S., Siu, J., Ttira, E., Cerna, T. y Castro, A. (2018). *Parámetros de calidad del agua y estado trófico de humedal artificial costero: caso de laguna "La Mansión" – Lima (Perú)*. Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo. Vol. 4(1). p 31 – 43.
- Fonseca, J. (2013). *Aguas Residuales separación*.
file:///D:/escritorio/Downloads/Dialnet-CriteriosParaLaSeleccionDeUnSistemaDeTratamientoDe-4902483.pdf
- Fundación Nacional de Saneamiento (NSF). (2010). *Información: índice de calidad de agua (WQI)*. www.nsf.orf
- Galvín, R. M. (2008). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. España: EMACSA.
- Gomez, M. (2012). *Aguas Residuales*.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/CAPITULO%202.pdf>
- González, V., Caicedo, O. y Aguirre, N. (2013). *Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP*.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54569918/Aplicacion_de_los_indices_de_calidad_de_agua_NSF__DINIUS_y_BMWP.pdf?1506661745=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAplicacion_de_los_indices_de_calidad_de.pdf&Expires=1613350616&Signature=hOIPwQc2iN~rPSTzXXIO~kqHF-fwFTL4OTL2GLTK9c-0orQX7Juf823BbbS~11kR0sTkS6RxaA1c3uwIRxQ8vNsG4Zo9UNGgnddfnx85as5~ABeL37TX8mMkP3Za3rsr9UP2FV~hIPVh5noFLrW9bhFDW5PO8UavodX8n7fUCVJd1LGaCplaiVMLfedO0gflXrW03jjSz9GYVJ2nKfGBvrAZDLvg5Hri9YlaV04F1~1Ou9nr621HxiCjKB1u

BuA5hebvfCjVR3tluaCFtgSa3fxL9CSSSor5Ve84Dh6vxX3ko0VNXYdoZEg
 q0CIH8CUosj5ZEVvRdaNx3tYBA45Nw__&Key-Pair-
 Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Gualdrón, L. (2016). *Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos*. [Tesis de Pregrado, Universidad Libre Colombia]. Repositorio institucional - Universidad Universidad Libre Colombia

HC Ingenieros SAS. (2014). *Manual de operación, mantenimiento y control de planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Medellín: HC Ingenieros SAS. <https://www2.utp.edu.co/cms-utp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/1480454882-INSTRUCTIVODEOPERACIN.pdf.pdf>

Hernández, A., Moreno, J. y Sandoval, L. (2017). *Tratamiento de aguas residuales industriales en México: Una aproximación a su situación actual y retos por atender*. Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable. Vol. 2(1-2). p 75-88.

Hernandez, C. (2013). *Tratamientos de Aguas Residuales*. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lar/oropeza_b_vm/capitulo4.pdf

House, M., y Ellis, J. (1987). The development of water quality indices for operational management. *Water Science and Technology*, 145-154.

Ibarra, G., y Bernal, A. (2018). Análisis documental de las Metodologías de Enseñanza. *Revista Electrónica Desafíos Educativos-Redeci*, 38-53.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). (2010). *Muestreo, transporte y conservación de muestras de agua*. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-muestreo_agua.pdf

Jáuregui, C., Ramírez, S., Espinosa, M., Tovar, R., Quintero, B., & Rodríguez, I. (2007). Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río

- Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 65-73.
- Kannel, P., Lee, S., Soo, Y., Kanel, S., y Khan, S. (2007). Aplicación de índices de calidad de agua y oxígeno disuelto como indicadores para la clasificación de aguas fluviales y evaluación de impacto urbano. *Environ Monit Assess*, 93 - 110.
- Larios, L. (2009). Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 13(2).
- León, M. (2014). *“Diagnóstico de la calidad del agua de la microcuenca del río congüime y diseño de una propuesta de mitigación para la zona crítica establecida mediante el índice de calidad de agua (ICA BROWN) en la Provincia de Zamora Chinchipe Cantón Paquisha.”*
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2256/1/T-UCE-0012-296.pdf>
- Macay, K. (2020). Diagnóstico inicial de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Tosagua. (J. Coronel, y A. Jaramillo, Entrevistadores)
- Macías, R., y Díaz, S. (2010). Estrategias generales para el control y prevención de la contaminación del agua superficial en la cuenca del río Portoviejo. *Ciencias Biológicas - Centro Nacional de Investigaciones Científicas*, 1 - 7.
- Marcillo, I. y Palacios, Y. (2021). Calidad del agua de consumo humano y uso doméstico en el cantón Rocafuerte, Manabí. [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Manabí “MFL”]. Repositorio institucional - Escuela Superior Politécnica de Manabí “MFL”.
- Meoño, L., González, C. y Morales, Y. (2015). *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú*. Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL. Vol. 2. p 09-25.

- Merino, J. (2017). *La potencialidad de la Regresión Logística Multinivel: Una propuesta de aplicación en el análisis del estado de salud percibido*. *Revista de metodología de ciencias sociales*. Vol. 36. p 177-211.
- Meseth, E. (2013). Estudio de una planta de tratamiento de aguas residuales de Irlanda y su impacto en el medioambiente. *Ingeniería Industrial*, 141 - 163.
- Minaya, R. (2017). *Parámetros físicos, químicos, microbiológicos, para determinar la calidad del agua en la laguna Moronacocha, época de transición creciente-vaciante. Iquitos. Perú. 2016.*
http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4690/Reynaldo_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Molina, J. y Brenes, G. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología en marcha*, 23(5), 34-40.
- Montero, F., Molina, C., Pillco, B., Sarduy, L. y Diéguez, K. (2020). *Evaluación del impacto ambiental de la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*. Caso Río Pindo Chico, Puyo, Pastaza, Ecuador. *Ciencia, Ambiente y Clima*. 3(1), 23-39.
- Morillo, L., Naranjo, D., Pérez, J., Villacis, W., Vargas P. y Muñoz, F. (2019). *Remoción de tensoactivos y coliformes en aguas residuales domésticas mediante procesos FENTON*. *Ecuador. Rev. Int. Contam. Ambie*. Vol. 35. p 931-943.
- Muñoz, H., Suárez, J., Vera, A., Orozco, S., Batlle, J., Ortiz, A., & Mendiola, J. (2012). Demanda bioquímica de oxígeno y población en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Revista de investigación Contaminación Ambiental*, 27-38.
- Murillo, J. (2009). Turbidez y sólidos en suspensión de las aguas de escorrentía susceptibles de ser utilizadas en la recarga artificial del acuífero granular profundo subyacente a la ciudad de San Luis de Potosí (México). *Bol. Geol. Min*, 120, 169-184.

- Niama, G. (2016). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para el barrio El Carmen en el cantón Chambo*.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6513/1/96T00369.PDF>
- Nicola, B y Proaño, M. (2017). *Aplicación de ICA'S para valorar la calidad de las aguas de consumo del ganado aviar en la granja Zambrano, Chone Manabí*.
<http://repositorio.esPAM.edu.ec/bitstream/42000/622/1/TMA140.pdf>
- Olgúin, E., González, R., Sánchez, G., Zamora, J. y Owen, T. (2010). *Contaminación de ríos urbanos: El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México*. Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal. Vol. 1. p 178-190.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2020). *Aguas Residuales: sistema de alerta temprana de COVID-19*. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/aguas-residuales-sistema-de-alerta-temprana-de-covid-19>
- Palomares, A. (2013). Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento. <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento>
- Pérez, A y Rodríguez, A. (2008). *Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación*. Rev. biol. trop. Vol. 56(4).
- Peña, O., Rubalcaba, S., Novo, M., Rodríguez, H. y Pérez, A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 6, 202-206.
- Peñates, K. (2020). *Validación del método gravimétrico para la determinación de sólidos disueltos (SDT) en aguas naturales y residuales, en el laboratorio de aguas de la universidad de Córdoba*.
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/2967/Pe%C3%B1ates%C3%81lvarezKaren.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Pérez, C. (2020). *Eliminación de sólidos en suspensión en corrientes de aguas residuales industriales*. [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio institucional - Universidad Politécnica de Cartagena.
- Pérez, G. y Restrepo, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Vol. 15). Universidad de Antioquia.
- Picone, L., Andreoli, Y., Costa, J., Aparicio, V., Crespo, L., Nannini, J. y Tambascio W. (2003). Evaluación de nitratos y bacterias coniformes en pozos de la cuenca alta del Arroyo Pantanoso (BS. AS). *RIA*. 32(1):99-110
- Quiroz, L., Izquierdo, E. y Menéndez, C. (2017). *Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador*. Riha. Vol. 38(3).
- Rendón, C. P. (2012). *Manejo de aguas residuales*. <https://es.slideshare.net/carodiaz7906/captulo-3-criterios-de-seleccin-para-el-tratamiento-de-las-aguas-residuales>
- Ríos, S., Agudelo, R. y Gutiérrez, L. (2017). *Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano*. Rev. Fac. Nac. Salud Pública. Vol. 35(2).
- Samboni, N., Carvajal, Y. y Escobar, J. (2007). *Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua*. Revista Ingeniería e Investigación. Vol. 27(3). p 172-181.
- Sánchez, D. (2016). *Calidad del agua y su control*. http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/11_Calidad-agua-y-control_v2015_resumen.pdf
- Sandoval, O. (2020). *Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca la Marquesa Cantón Cotacachi, Provincia de Imbabura*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21270/1/CD%2010786.pdf>

- Sardiñas, O. y Pérez, A. (2004). Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 42(2), 0-0.
- Severiche, C., Luna, J. y Gonzalez, H. (2013). *Evaluación analítica para la determinación de fósforo total en aguas por el método del ácido ascórbico*. [https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/740/316-61~1%20\(1\).PDF;jsessionid=0291764FB1F5A10D5528271F1B89138C?sequence=1](https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/740/316-61~1%20(1).PDF;jsessionid=0291764FB1F5A10D5528271F1B89138C?sequence=1)
- Silva, J., Ramírez, L., Alfieri, A., Rivas, G., y Sánchez, M. (2004). Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela. *Revista de la sociedad venezolana de microbiología*, 24(1-2), 46-49.
- Silva, N. y Palma, S. (2006). Oxígeno disuelto, pH y nutrientes en canales y fiordos australes. *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos*. N. Silva & S. Palma (eds.), Comité Oceanográfico Nacional-Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 37-43.
- Toasa, F. (2012). *Validación de los métodos de ensayo para fenoles, tensoactivos, sólidos suspendidos y total de sólidos disueltos (TDS)*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/894/1/T-UCE-0017-19.pdf>
- Torres, P., Hernán, C. y Patiño, P. (2009). *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. Vol. 8(15). p 79-94.
- Torres, P., Cruz, C., Patiño, P., Escobar, J. y Pérez, A. (2010). *Aplicación de índices de calidad de agua - ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano*. *Revista Ingeniería e Investigación*. Vol. 30(3). p 86-95.

- Torres, A. (2015). *Análisis de aguas residuales*. http://www.a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion_ANTONIO.pdf
- Torres, F. (2009). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico*. http://prwreri.uprm.edu/publications/PR_2009_01.pdf
- Troncoso, C. y Amaya, A. (2016). *Entrevista: guía práctica para la recolección de datos cualitativos en investigación de salud*. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfmun/v65n2/0120-0011-rfmun-65-02-329.pdf>
- TULSMA Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2013). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- USGS - Servicio Geológico de los Estados Unidos. (2017). *Calidad del agua*. <https://water.usgs.gov/gotita/waterquality.html#:~:text=Calidad%20del%20agua%20es%20un,se%20le%20va%20a%20dar.&text=Estos%20excedentes%20qu%C3%ADmicos%20llamados%20%22nutrientes,bajar%20la%20calidad%20del%20agua>.
- Vásquez, G., Herrera, L., Cantera, J., Galvis, A., Cardona, D. y Hurtado, I. (2012). *Metodología para determinar niveles de eutrofización en ecosistemas acuáticos*. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. Vol. 4. p 112-12.
- Villegas, M. y Vidal, E. (2009). *Gestión de los procesos de descontaminación de aguas residuales domésticas de tipo rural en Colombia*. <https://core.ac.uk/download/pdf/286649459>.
- Zamora, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. *Pensamiento Actual*, 9(12), 125-134.

ANEXOS

Anexo 1. Recorrido por las instalaciones de la PTAR Tosagua.



Anexo 1.1. Check list para verificación de la operatividad de la PTAR Tosagua.

VISITA DE INSPECCIÓN Y CONTROL PTAR TOSAGUA			
Fecha de Visita:	01/03/2021	Dependencia	Estudiantes - ESPAM MFL / Aida S. y Josselyn C.
Departamento:	EL TAMBO	Municipio	TOSAGUA
Objetivo de la Visita	Reconocimiento de la situación actual de la Planta de Tratamiento Residual Tosagua		
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOSAGUA	Ítem	Cumplimiento	Observaciones
	Manual de Operaciones	SI NO	Ninguna
	Certificado de Competencia Laboral - Operario	X	Ninguna
	Planos de la PTAR Tosagua	X	Ninguna
	Válvula de Entrada	X	Ninguna
	Rejillas autoimpiantes y Desarenador	X	Ninguna
	Tanque séptico	X	Ninguna
	Sedimentador primario	X	Ninguna
	Lagunas anaerobias	X	Es una planta compacta con tecnología de lodos activados.
	Lagunas facultativas	X	Es una planta compacta con tecnología de lodos activados.
	Lagunas aireadas	X	Es una planta compacta con tecnología de lodos activados.
Filtración por arena	X	Ninguna	
Eliminación por nutrientes	X	Ninguna	

Anexo 1.2. Entrevista al técnico encargado de la PTAR, Ingeniera Química Katherine Macay Moreira.



ENTREVISTA

1. ¿En qué año empezó la operatividad de la PTAR?
La planta fue creada el 7 de diciembre del 2017 pero entró en funcionamiento en el 2018.
2. ¿Cuál es el tratamiento preliminar que realiza la PTAR?
El flujo de aguas residuales se dirige a la entrada de la planta donde se encuentra la válvula de entrada para su respectivo tratamiento preliminar (5000 m³ de agua residual diariamente). Estas aguas residuales son filtradas mediante una rejilla de barras de 200 micras.
3. ¿Cómo se da el proceso de la llega del agua a la PTAR?
Estas aguas residuales son aprovechadas por establecimientos, domicilios y locales comerciales, puesto que se conectan directamente al alcantarillado sanitario hasta llegar a la estación de bombeo de San Pedro donde el agua residual se bombea a través de bombas y así llegan a la válvula de entrada de la PTAR.
4. ¿Qué tipo de método utilizan para el tratamiento de estas aguas residuales?
Para el tratamiento de estas aguas residuales se utilizan diferentes procesos físicos, químicos y microbiológicos; mediante el uso de tratamientos convencionales y naturales con el fin de que el agua a tratar elimine la mayor cantidad de contaminantes, por los procedimientos que se le aplica mediante parámetros ambientales.
5. ¿De qué manera se realiza el preparativo de las bacterias?
Se utilizan 2 tanques de recolección de capacidad, luego se vierte 1 kilo de bacterias sólidas las cuales se activan con 5 litros de melaza y se completa con 200 litros de agua, se deja reposar por 24 h para su activación y después se agregan en los tanques para la depuración.
6. ¿Cuál es el tratamiento secundario que se le da a estas aguas?
El flujo de agua continúa circulando por la acción de la gravedad desde el colector directamente al módulo 2 de aereación por flotación, luego se agregan algunos litros de un mezclado con las aguas que se recolectan desde el colector del 1^{er} y finalizan los tratada

de estos aguas. Después en la fase de sedimentación se permite la separación de los sólidos suspendidos del agua tratada dentro de su depósito, para finalmente enviarla al proceso de aereación. Finalmente, en la fase de sedimentación el sistema de depuración se nutre por un determinado tiempo para que posteriormente el agua sea enviada a la clarificación.

7. ¿De qué manera se lleva a cabo la purificación de las aguas residuales?
El agua clara es tratada para su desinfección con cloro ya que es la forma más común de tratar aguas residuales para eliminar cualquier organismo patógeno.

8. ¿Qué tratamiento se les da a los lodos?
El sedimentador primario, la cámara de aireación y el clarificador secundario poseen válvulas de purgas que evacúan los lodos cada 15 días, este se deshidrata en las áreas de secado y se puede utilizar para compost o de otra manera es vertido en el recolector de basura hasta la caldera evaporante (Lodos de desechos de Tuzaguá).

9. ¿Cuál es el cuerpo receptor al cual se hacen las descargas de la PTAR?
El efluente final de la planta es descargado al estero Macaná, mismo que es utilizado por los moradores de dicha comunidad como sistema de riego en siembras adyacentes.

10. ¿Cómo realizan el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales?
Para el correcto funcionamiento del sistema de tratamiento es necesario realizar algunas operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo, ya que ciertas partes de los equipos por los que se maneja el agua, necesitan ser lubricadas:
- Mantenimiento preventivo: bombas sumergibles, aereador, infraestructura.
- Mantenimiento correctivo: bombas sumergibles, material de repuesto, sistema eléctrico, conductores, interruptores.

11. ¿Para la limpieza de los cárcamos utilizan algún tipo de detergente o esto afectaría en el tratamiento del agua residual?
Para su limpieza se debe tomar en cuenta que únicamente se debe usar agua, cualquier tipo de detergente afectaría las propiedades del agua al realizarse un análisis químico.

12. ¿En cuanto a los encargados del mantenimiento con qué tipo de equipos de seguridad cuentan?
Las personas encargadas del mantenimiento cuentan con los equipos necesarios para la prevención, minimizar y evitar que ocurran accidentes que puedan comprometer la salud física de los trabajadores.
El operador y personal de mantenimiento deben contar con el uniforme y el equipo de seguridad completo para el desarrollo de las actividades de operación y mantenimiento. Estos equipos son:
* Casco de seguridad
* Mascasilla de medio rostro con filtros para gases ácidos y vapores orgánicos
* Guantes de seguridad
* Overoles desechables
* Guantes de látex anticorte
* Botas de caucho
* Traje pescador
*



Anexo 1.3. Datos sobre la descarga de la PTAR.



Matriz* de actividades asociadas a las PTAR's	Presencia	Ausencia	Observaciones
Acceso a la energía eléctrica	✓		Ninguno
Edificio de operaciones	✓		Ninguno
Laboratorio de la PTAR		✓	No tiene laboratorio
Falta de saneamiento legal	✓		Ninguno
Invasiones en terrenos aledaños	✓		Ninguno
Viviendas a menos de 100 m de distancia a la PTAR	✓		Ninguno
Acumulación de basura en los alrededores	✓		Ninguno
Inseguridad en el sector		✓	Ninguno
Robos reportados		✓	Ninguno
Sabotaje por vecinos		✓	Ninguno
Actividades agrícolas y pecuarias antes de la PTAR	✓		Ninguno
Descargas directas al estero antes de la PTAR		✓	Ninguno
Actividades agrícolas y pecuarias después de la PTAR	✓		Ninguno
Descargas directas al estero después de la PTAR		✓	Ninguno

*Matriz construida en base a los lineamientos del capítulo 4. Diseño, Construcción y Operación de las PTAR del Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) del Perú.

Informe de ensayo			
Guayaquil OL N°: 105134/4			
Datos del Cliente			
Cliente: GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN TOSAGUA			
Dirección: MANABÍ / TOSAGUA / TOSAGUA / BOLIVAR SIN Y ASCAZUBI			
Solicitado por: Ing. Paola Micay			
Muestra realizada por: Bureau Veritas CTD	Tipo de muestreo: Muestreo Simple, método INSP-LAB-INS-020		
Fecha de muestreo: 02/12/2020	Hora de muestreo: 11:40	Lugar de muestreo: Tosagua Bolívar SIN y Ascazubi	
Fecha de recepción: 03/12/2020	Fecha de análisis: 03/12/2020	Reporte final: 26/12/2020	
NOTA: Los resultados reportados corresponden únicamente a las (muestras) recibida(s) en el laboratorio, la identificación de las muestras es la responsabilidad del cliente. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio. Preguntas o comentarios comuníquese al 042-3891952. Ext. 107-110			
Laboratorio de Ensayo Acreditado por AZLA con certificado No.: 2185-01 y 2185-02			

Datos de la muestra						
Tipo: Agua Residual	Cantidad: 3.200 ml	Envase: cerrado, de plástico, lleno.				
Identificación de la muestra: M1 - Agua Residual Domésticas Afluente						
Resultados de Microbiología						
Parámetros	Métodos	AZLA	SAE	Unidad	Resultados	LMP
Coliformes Fecales	BVE-CTD-LAB-SOP-107 (Standard Methods 9221B)		✓	NMP/100 ml	2100	--

Resultados Ambientales							
Parámetros	Métodos	AZLA	SAE	Unidad	Resultados	(±)U	LMP
Nitrógeno Amoniacal	INSP-LAB-SOP-117 / Spectroquant Nova 60 14752			mg/L	0,07	-	--
*pH (campo)	INSP-LAB-SOP-074 / Standard Methods 22h 4500-H+B			--	7,11	-	6-9
Nitrogeno total Kjeldahl	BVE-CTD-LAB-SOP-141/Standard Methods Ed. 23.2017 4500-Norg.	✓	✓	mg/L	15,2	4,05	60.0
Temperatura	BVE-CTD-LAB-SOP-057/ Standard Methods Ed. 23.2017 2550-B	✓	✓	°C	< 30,0	-	< 40.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	BVE-CTD-LAB-SOP-037/Standard Methods 22h 5210D/Oxitop Manual-WTW/Respirometric Method	✓	✓	mg/L	130	18,75	250.0
Aceites y Grasas	BVE-CTD-LAB-SOP-035/Standard Methods Ed.23.2017; 5520B	✓	✓	mg/L	10,6	0,58	70.0
Sulfatos	BVE-CTD-LAB-SOP-051/Spectroquant Nova 60 1.14548	✓	✓	mg/L	83	12,86	400.0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	BVE-CTD-LAB-SOP-038/Spectroquant Soluciones A-B para DQO Nova 60 144538,114539,114679,114680 análogo al Standard Methods Ed. 23.2017 5220D	✓	✓	mg/L	271	9,45	500.0
Tensoactivos	BVE-CTD-LAB-SOP-140/Spectroquant Nova 60 1.02552	✓	✓	mg/L	> 1,5	-	2.0
Solidos suspendidos totales	BVE-CTD-LAB-SOP-042/Standard Methods Ed. 23.2017 2540 D	✓	✓	mg/L	106	5,60	220

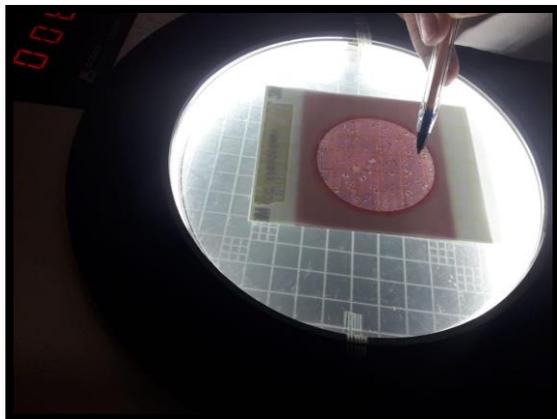
Anexo 2. Establecimiento de los puntos de muestreo.



Anexo 3. Toma de muestras y análisis in situ.



Anexo 4. Análisis de coliformes fecales en el laboratorio de microbiología.



Anexo 5. Análisis de los parámetros correspondientes a cada ICA en el laboratorio de Ingeniería Ambiental.

