

Revista de Ciencias Sociales

50 *Años*
ANIVERSARIO

Análisis estadístico de parámetros de calidad del agua del Estero El Macho en la ciudad de Machala-Ecuador*

Zhindon-Almeida, Rafael Gilberto**
Sánchez-Ancajima, Raúl Alfredo***
Castañeda-Guzmán, Walter Javier****

Resumen

La calidad del agua está relacionada con parámetros biológicos, químicos y físicos y el grado de concentración de estos componentes presentes en el agua y que, de acuerdo a su nivel de presencia, afectan el consumo del recurso hídrico. Por ello, es necesario analizar la presencia de estos elementos en el agua del Estero El Macho en la ciudad de Machala, Ecuador a través de la aplicabilidad del método estadístico. El diseño de la investigación es correlacional con el apoyo de métodos estadísticos, regresión lineal múltiple y análisis de componentes principales presentes en las aguas. Los resultados evidenciaron la presencia de agentes tales como: Coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, hierro y oxígeno disuelto fuera de los límites permitidos para un agua de calidad, por consiguiente, el agua del estuario de El Macho no cumple los criterios de calidad para poder ser consumida sin problemas. Se concluye que se deben desarrollar políticas para mitigar la presencia e impacto de estos componentes identificados, que afectan la calidad del agua.

Palabras clave: Calidad del agua; análisis del agua; agua de consumo humano; Estero El Macho; criterios de calidad del agua.

* La presente investigación proyecta los datos más significativos de la tesis de investigación titulada: “Modelo estadístico de calidad del agua del Estero El Macho, Machala-El Oro”.

** Master en Ingeniería del Agua; Tratamiento, Depuración y Gestión de Residuos. Magister en Alta Gerencia. Magister en Energías Renovables. Docente Investigador en la Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, Perú. E-mail: zhindon.itso@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3901-1829>

*** Doctor en Matemáticas. Magister en Ciencias con mención en Matemática Aplicada. Docente Investigador del Programa de Maestría de Salud Familiar y Comunitaria en la Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, Perú. E-mail: rsanchez@untumbes.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3341-7382>

**** Doctor en Ciencias de la Educación. Magister en Educación Superior. Docente Principal e Investigador en la Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, Perú. E-mail: wcasta@untumbes.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9483-0210>

Statistical analysis of water quality parameters of the El Macho estuary in the city of Machala-Ecuador

Abstract

Water quality is related to biological, chemical and physical parameters and the degree of concentration of these components present in the water and that, according to their level of presence, affect the consumption of water resources. Therefore, it is necessary to analyze the presence of these elements in the water of Estero El Macho in the city of Machala, Ecuador through the applicability of the statistical method. The research design is correlational with the support of statistical methods, multiple linear regression and analysis of principal components present in the waters. The results showed the presence of agents such as: fecal coliforms, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, iron and dissolved oxygen outside the limits allowed for quality water, therefore, the water of the El Macho estuary does not comply the quality criteria to be able to be consumed without problems. It is concluded that policies must be developed to mitigate the presence and impact of these identified components, which affect water quality

Keywords: Water quality; water analysis; water for human consumption; Estero El Macho; water quality criteria

Introducción

La indispensabilidad que tiene el agua para la vida en todas sus formas es innegable y, por ello, ha sido uno de los elementos de mayor relevancia al momento de evaluar las condiciones de existencia, así como las posibilidades de progreso en esta y otras épocas de la humanidad. En principio, las sociedades tradicionales conciben los recursos hídricos como aquellos que definen y salvaguardan la vida, confiriéndoles, incluso, un lugar entre las divinidades que protegen al ser humano. Sin embargo, tal como señala Gómez (2022), la industrialización desmedida ha llevado a una visión pragmática del agua, asociada más a las formas de hacer negocios que a su importancia social y humanística. Al respecto, Quispe-Mamani et al. (2022), evidencian que:

La minería informal desarrollada en la cabecera de cuenca del río Suches, por mineros bolivianos y peruanos, afecta a los sistemas de producción familiar de los peruanos, dedicados principalmente a la crianza de alpacas para carne y fibra, que vienen siendo afectados por la presencia

de elementos químicos provenientes de las actividades mineras que contaminan el río Suches, cuyas aguas desde tiempos ancestrales se emplean para el riego de pastos naturales, alimento de los camélidos y consumo de los propios habitantes del distrito de Cojata (p. 305)

Al reflexionar sobre la calidad del agua como recurso hídrico, se destaca el agua como un elemento fundamental para la vida, y cuyo uso y acceso es de suma importancia en sectores sociales, alimentarios, agrícolas (Muñoz y Bustos, 2021; Suarez et al., 2021), en sí representa la subsistencia de la sociedad. Chaparro y Leguizamón (2022), mencionan cómo en América Latina se debate sobre la disponibilidad y calidad del agua enmarcada en su impacto e importancia social y ecológica, asimismo, se ve el recurso como un elemento estratégico en cuanto a su carácter de gobernabilidad, por lo que, algunos países tienen ventajas geográficas y ecológicas que les dan posición de poder ante ciertas negociaciones regionales.

Al referirse a la Calidad del Agua (CA), son varios factores que deben ser

considerados al tratarse indistintamente de cuál sea su ubicación y cuáles son aquellos factores ecosociales que intervengan. El Banco Mundial (2011), destaca que a través de un análisis y diagnóstico tomando como punto de referencia indicadores químicos, físicos o biológicos, las mediciones obtenidas del agua pueden indicar el estado del recurso híbrido, permitiendo un control sistemático de las variables de las aguas superficiales y tomando en cierto punto medidas que mejoren su calidad.

Por su parte, Pradillo (2016) destaca que la calidad del agua está determinada en cierta medida por la presencia de características físicas y químicas bajo un enfoque técnico que implica la recolección de líquidos y su posterior estudio. Lo que se percibe como aquellos parámetros que debe presentar el agua cuando se trata de su consumo. Socialmente hablando, se refiere a caracterizar el recurso hídrico en función de su utilidad para el sostenimiento de una calidad de vida digna desde el punto de vista humanístico, destacando que a nivel mundial existen preceptos normativos por país que rigen la calidad del agua; sin embargo, todos han de enfocarse en su impacto social y la importancia de ser distribuida (Recabarren, 2016).

Dado a su importancia social e impacto en otros sectores, a través de la Resolución 64/292 de la Asamblea General de las Naciones Unidas en el 2010 reconoce internacionalmente y jurídico al agua potable y su acceso como un derecho fundamental para el ser humano (Naciones Unidas, 2014).

Lo que concierne a la calidad del agua del Estero El Macho, de la ciudad de Machala, en la provincia El Oro de Ecuador, se destaca que esta recibe la descarga de Aguas Residuales (AR) de aproximadamente el 48% de los habitantes de la ciudad, a través de trece descargas que se visualiza como un caudal de AR neta igual a 422.40 lt/s (Sarie, 2020).

Por otra parte, se debe tomar en cuenta que el canal "El Macho" en su parte alta sirve de drenaje a 800 ha. de cultivo de banano (Aguas Machala EP, 2022); siendo 139.52 lt/s de aguas servidas producto de esta actividad. Adicional se presenta un drenaje de 700 ha. de camarón que están asentadas en

su margen a partir de la mitad hasta la zona baja y que aportan 1.350 lt/s; esta situación ha contaminado las aguas de ese ecosistema.

Por consiguiente, la cantidad de aguas residuales que llega al Estero producto de las actividades antrópicas están cambiando su calidad; al no existir un mecanismo de fácil acceso que permita conocer el estado de contaminación de este cuerpo de agua, y que influya para que se tomen medidas para su control.

En lo relacionado con la provincia de El Oro, el Acuerdo normativo vigente que establece la concentración es el *Acuerdo Ministerial 097-A de 2015*, lo cual lleva por Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. De allí, la importancia de analizar con el apoyo de métodos estadísticos, los parámetros fisicoquímicos y biológicos que inciden en la calidad del agua del Estero El Macho de la ciudad de Machala-Ecuador. Para lograr el objetivo planeado se destaca el uso de método estadísticos para enfatizar la importancia de realizar un análisis y comprender su variación en cuanto a su espacialidad y temporalidad de la calidad del agua presente en el Estero El Macho de la ciudad de Machala, Ecuador.

Los modelos estadísticos son utilizados para evaluar y pronosticar la calidad del agua, mediante la codificación de datos de laboratorio y la realización de predicciones (Torres, Cruz y Patiño, 2009; Gómez y Peñuela, 2016; Gómez, 2022). Lo que resulta de gran utilidad para la toma de decisiones en procesos de remediación o mejoramiento del agua. El uso de la estadística también permite interpretar datos e identificar tendencias sobre la calidad del agua, facilitando la gestión del recurso hídrico en ríos, arroyos y esteros.

1. Fundamentación teórica

1.1. Calidad del agua y su importancia social

La importancia social que se le atribuye a la disponibilidad y acceso a un agua de

calidad, es algo que se puede rastrear hasta la cultura de las sociedades antiguas. Como afirma Argudo (2019), ya en los primeros asentamientos poblacionales en Babilonia, se tenía en cuenta la necesidad de suplir con agua a sus habitantes, tanto para actividades de salubridad como para el aspecto alimentario o, como en el caso de los romanos, para la socialización en sus famosos baños públicos. De hecho, la relevancia social del agua pasa por esa diversidad de usos que tiene para la dinámica civilizacional, tanto en la antigüedad como, en los tiempos modernos.

Ahora bien, específicamente en lo que concierne a la CA, algunos autores como Baque-Mite et al. (2016); y, Obando et al. (2019), profundizan en los matices diversos que se presentan cuando se discute este tema. Resulta común que la definición que se hace del vocablo “calidad”, referido al agua, se oriente y adopte una jerga relacionada con la orientación técnica, profesional o científica de quien realiza la conceptualización, así, se encuentran diferencias lógicas entre biólogos, ingenieros o, científicos sociales, propiamente dichos.

No obstante, se entiende que el concepto sobre CA refiere básicamente a la posibilidad de su consumo humano, aunque su caracterización repose en una terminología técnica. En ese sentido, cuando de su utilización social se trata, sus indicadores deben mostrar idoneidad para actividades como higiene personal y aquellas que son inherentes a la vida de las familias, incluyendo la alimentación (Gil, 2014; 2020). Esto explica la preocupación social por mantener los recursos hídricos en condiciones que no representen ningún riesgo para la vida y la salud de las personas.

Técnicamente, referirse a la CA implica considerar sus características en cuanto a indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos. Socialmente, ese mismo concepto de calidad difiere según las perspectivas de uso, pues, no se necesitan las mismas condiciones, si se trata de agua para la agricultura o para una piscina en un centro turístico. De acuerdo con esta perspectiva, se analiza la calidad al valorar ciertos parámetros, contrastados con

los objetivos de uso, para lo cual se elaboran algunos índices que servirán en el momento de gestionar el recurso (Herrera y Suárez, 2005; Benítez et al., 2016).

Bajo esta perspectiva se destaca de manera suspicaz como destaca en diversas investigaciones, la demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, temperatura, como de vital importancia para identificar puntos contaminantes y sus causas. Por su parte, Raffo y Ruiz (2014) destacan que la demanda bioquímica de oxígeno se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para garantizar la efectiva oxidación de la materia orgánica biodegradable. Pues Mayarí et al. (2005), señalan cómo esta “ofrece una medida que destaca la fortaleza con respecto a los contaminantes de los distintos residuales, en términos del oxígeno que ellos necesitarían si se descargan dentro del curso de aguas receptoras” (p. 2), lo que implica que un perfecto equilibrio es vital para su calidad.

Brajovic (2023), plantea que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) mide la cantidad de oxígeno necesario para que los microorganismos descompongan la materia orgánica presente en el agua, a mayor valor, mayor es el nivel de contaminación del agua, este factor es esencial, pues, permite determinar el nivel de oxígeno necesario para garantizar la supervivencia de los organismos acuáticos.

Cabe destacar que, son muchos los parámetros que complican en cierto punto la pureza o salubridad del recurso hídrico, pero sin duda alguna, esta calidad ha sido influenciada hasta cierto punto, por las actividades de la vida diaria cotidianas y comunes, aquellas que se desarrollan (actividades comerciales e industriales, doméstico, alimentario, actividades de salud, entre otras) y que generan de sus procesos, agentes contaminantes (Fan del Agua, 2017). El monitoreo de esos procesos contaminantes es una tarea importante que debe ser asumida por los gobernantes y las organizaciones sociales de perfil ambientalista, impulsando acciones que disminuyan el impacto de la agresión contra la CA superficial.

Por lo que, atendiendo a lo planteado por Castro et al. (2014), “el monitoreo de las fuentes de agua se convierte en una herramienta de gran importancia para su vigilancia. Los indicadores ambientales nacen como respuesta a la necesidad de obtener información relevante sobre diversos temas ambientales” (p. 112); sin embargo, monitorear por sí solo no es suficiente, esa vigilancia debe ir acompañada de la legitimación de ciertos métodos de análisis para la determinación de la calidad.

Diversos organismos internacionales que tienen entre sus objetivos la defensa de los ciudadanos a contar con agua apta para el consumo humano, por lo que se han desarrollado resoluciones en los últimos años para englobar algunos criterios que permita tener Índices de Calidad del Agua (ICA); no obstante, es engorroso homologar criterios que dependen de condiciones naturales, ambientales e hidrológicas específicas de ciertas regiones del mundo.

Así pues, Girardi et al. (2018) plantean que la finalidad de construir un ICA, es como una herramienta sencilla y manejable que permita tomar decisiones a los organismos competentes, así como, proponer alternativas de desarrollo sustentable; no obstante, implica la imposibilidad de existencia de un solo ICA para varios países, aunque pueden homologarse algunos criterios o indicadores. Más allá de los aspectos técnicos, existe preocupación por la salud y el acceso al agua libre de agentes contaminantes.

La posible contaminación de este recurso representa un riesgo significativo a nivel global, impulsando la necesidad de concienciación sobre la importancia de preservar este recurso, el monitoreo constante requiere de un proceso de concientización sobre el agotamiento del recurso, y su impacto económico, social y político. Se insta a la generación de iniciativas políticas, sociales y científicas, para revalorizar la importancia social de la CA (Quiroga, 2007).

Es fundamental en la actualidad asegurar la disponibilidad y el uso consciente del agua para poder garantizar la sostenibilidad,

especialmente su acceso, pues, en los hogares, la mala calidad del agua puede generar problemas sociales y afectar directamente a la salubridad del agua y puede propiciar diversas complicaciones.

Por consiguiente, Obando et al. (2019) señala que la importancia del líquido vital ha ocasionado que las comunidades asiduamente luchen tanto por su servicio como por su calidad, por lo cual los servicios comunitarios del agua se han convertido en un relevante escenario para demostrar el efecto de los poderes e implementar políticas. Se destaca en la sociedad el nivel de impacto, considerándola y destacándola como un recurso natural que favorece el progreso de la comunidad, sobre todo la equidad social y la disminución de la carencia económica (Molina, 2021).

1.2. Principales contaminantes del agua

Al tratarse de la calidad del agua, la misma está determinada por las condiciones físicas, químicas y biológicas presentes, tras un análisis del líquido. Son varios los elementos que inciden y pueden afectar su calidad (Rubio-Arias et al., 2016). De allí la importancia de un constante monitoreo para garantizar las óptimas condiciones y que estas puedan ser utilizadas para el consumo humano. El planteamiento de Brousett-Minaya et al. (2018), destaca que algunos de los principales contaminantes del agua, que requieren una evaluación y análisis continuo son:

a. Microorganismos patógenos: Se destacan bacterias, virus y protozoos que causan enfermedades en humanos, animales y plantas. Estos suelen tener un origen de desechos orgánicos vertidos en ríos, embalses o estanques sin previo tratamiento.

b. Sustancias químicas inorgánicas: Como metales, mercurio y plomo, así como ácidos.

c. Sustancias químicas orgánicas: Compuestos en su mayoría por carbono, oxígeno, nitrógeno y fósforo, adicional a estos

el petróleo, aceites y alcoholes, entre otros.

d. Sustancias radiactivas: Caracterizados por elementos que se desintegran y emiten partículas alfa, partículas beta y radiación gamma.

Asimismo, se destacan parámetros de calidad microbiológica, los cuales requirieren de un monitoreo constante, pues, su presencia afecta el recurso hídrico a tal punto de limitar su consumo, tales como: Bacterias, virus, parásitos, protozoo y coliformes fecales (Barrera-Escorcia et al., 2013; Ríos-Tobón, Agudelo-Cadavid y Gutiérrez-Builes, 2017). Asimismo, criterios de calidad físico-químicos centrados en características como el aroma, el sabor y la apariencia o la turbida. Por consiguiente, los parámetros químicos constituyen elementos adicionales de composición que alteran las propiedades físicas del agua, tales como: Potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto, temperatura y salinidad (Garcés, 2021; Caballero, 2021; Flores y Pozo, 2023).

2. Metodología

En relación con el objetivo propuesto, la investigación se enfocó como primer punto en la búsqueda, recolección y procesamiento de los fundamentos teóricos conceptuales que posibilitaron profundizar todos los elementos relacionados con la calidad del agua. Asimismo, se llevaron a cabo las características conceptuales para el diseño de un modelo estadístico que brinde la posibilidad de la descripción y evolución de los parámetros de calidad del agua del Estero El Macho de la ciudad de Machala, provincia de El Oro en Ecuador, como elementos clave y de impacto social (Sarie, 2020).

Según Baeza-Serrato y Vázquez-López (2014), en cuanto al nivel de profundización de una investigación, el presente estudio puede considerarse descriptivo, puesto que su propósito es observar y definir detalladamente las características o propiedades del agua, utilizando métodos estadísticos. El diseño de la investigación es correlacional, utilizando un

modelo estadístico multivariante de regresión lineal múltiple y análisis de componentes principales, debido a que la investigación proporcionó datos de impacto que permitieron determinar parámetros importantes, como la demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto y la temperatura, los cuales fueron fundamentales para identificar puntos contaminantes y las razones detrás de esos parámetros (Isea et al., 2015).

El modelo de regresión lineal múltiple, con q variables, se puede expresar de la siguiente manera:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_q X_{iq} + \varepsilon_i$$

Donde: Y = variable dependiente, valor observado; X = variable independiente, variable predictora; β = magnitud de las observaciones; y , ε = error debido a factores no controlados.

El objeto de estudio serán las aguas del Estero El Macho de la ciudad de Machala, provincia de El Oro en Ecuador, para lo cual se enfocó en 4 puntos de recolección de muestras que fueron sometidas a estudios de laboratorio. Se destaca, que el estudio de calidad del agua en el Estero El Macho fue realizado utilizando muestras recolectadas durante el año 2018 por la Empresa Pública Aguas Machala de Ecuador, en cuatro puntos o sectores: A-1 Drenaje Macho, El Cambio; A-2 La Primavera 1; A-3 La Primavera 2; y A-4 Estero Salinas, empleando equipos que posibilitan la recolección para el posterior análisis del agua del Estero; tomando muestras en dos puntos y en tres momentos considerando 3 semanas consecutivas; y, luego se enviaron las muestras a un laboratorio de la ciudad.

Asimismo, se destaca el uso de la base de datos tomada del monitoreo realizado por prestadores externos de la Empresa Pública Aguas Machala, Ecuador. Las muestras de las aguas fueron recolectadas y manipuladas manteniendo la asepsia en las instalaciones de Aguas Machala, la cual cuenta con acreditación ISO 9001:2015. Por consiguiente, fueron utilizadas las salas y destinadas para esas actividades, las cuales se encuentran reservadas y esterilizadas, destacando que

los materiales que se emplean para trasvase, reserva, mezclas, refrigeración, son de uso para el personal previamente autorizado.

2.1. Plan de procesamiento y análisis de datos

De igual manera, para el procesamiento y análisis de datos, fue desarrollado un plan basado en un método propuesto por los investigadores García et al. (2023), con la finalidad de determinar, según los modelos estadísticos, la calidad del agua del Estero El Macho de la ciudad de Machala, provincia de El Oro en Ecuador:

a. Analizar estadísticamente los parámetros fisicoquímicos y biológicos que afectan, donde la serie de procedimientos fue: 1) La selección de 4 puntos de recolección de muestras; 2) análisis de laboratorio de los

parámetros fisicoquímicos y biológicos de las muestras de agua; y, 3) organización de los datos recopilados.

b. Para determinar la influencia estadística de los parámetros en la calidad del agua, se llevaron a cabo las siguientes actividades: 1) Diseño y utilización de método de análisis de componentes principales y un modelo estadístico multivariante de regresión lineal múltiple; 2) Empleo de parámetros de comparación con lo establecido en el Acuerdo Ministerial No. 097-A, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (ver Cuadro 1); y 3) análisis de componentes principales (PCA) mediante el *software* estadístico R para simplificar los datos e identificar nuevas variables que afecten la calidad del agua del Estero, con el apoyo de la Empresa Pública Aguas Machala (2019) en su análisis anual.

Cuadro 1
Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios

Parámetros	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoniaco Total	NH ₃	mg/l	-	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN ⁻	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl ₂	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/l		2,00
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3

Cont... Cuadro 1

Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 60
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l	0,001	0,001
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Selenio	Se	mg/l	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	NO ₂ -	mg/l	0,2	
Nitratos	NO ₃ -	mg/l	13	200
DQO	DQO	mg/l	40	-
DBO ₅	DBO ₅	mg/l	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condicion natural	-

Fuente: Elaboración propia, 2024 a partir del Acuerdo Ministerial No. 097-A de 2015.

De igual manera, se busca obtener la ecuación y gráficas requeridas para modelar, estudiar y controlar, los diferentes parámetros y resultados obtenidos, por lo que se utilizará *software* estadístico, específicamente el programa SPSS.

3. Calidad del agua superficial: Interpretación de resultados obtenidos

Para los efectos, este apartado presentará los principales resultados obtenidos en el análisis del agua a través de los hallazgos de proyección estadística, por consiguiente, a continuación, serán descritos los parámetros.

3.1. Descripción de parámetros

Con la finalidad de describir los parámetros se proyecta a manera de referencia la evolución de los datos, tomados del monitoreo realizado por la Empresa Pública Aguas Machala en el año 2018, debido a que esta constituye en Ecuador un referente en cuanto al servicio de distribución de aguas, su análisis anual en este caso 2018, permitió una proyección en cuanto a la evolución en los cuatro puntos o sectores: A-1 Drenaje Macho, El Cambio; A-2 La Primavera 1; A-3 La Primavera 2; y, A-4 Estero Salinas (ver Tabla 1), destacando que hasta estos momentos no existe una actualización de los mismos.

Tabla 1
Resultados de monitoreo de agua

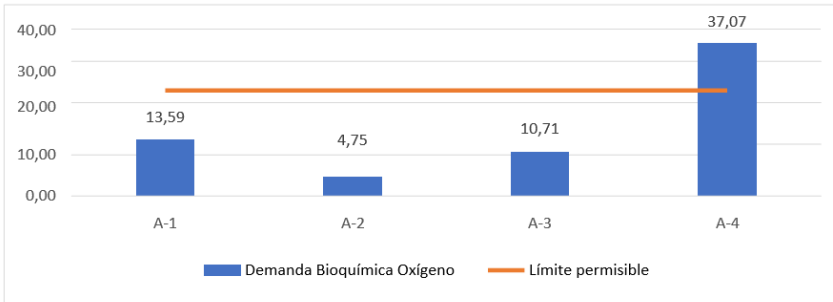
Parámetros		Sector			
		A-1	A-2	A-3	A-4
Parámetros biológicos	Demanda Bioquímica Oxígeno	13,59	4,75	10,71	37,07
	Sólidos Disueltos Totales	1.280,00	638,00	1.046,00	22.784,00
	Temperatura	25,00	24,80	25,00	21,10
	Turbidez	9,50	20,70	17,80	15,30
	Aceites GrasasIR	0,2	0,2	0,2	0,2
Parámetros físicos	Potencial Hidrógeno	7,87	7,44	7,17	7,38
	Demanda Química Oxígeno	30,80	10,00	22,00	75,30
	Oxígeno Disuelto	97,55	64,83	14,93	33,26
	Fosfatos	5,54	1,23	1,74	1,56
	Nitritos	0,01	0,032	0,01	0,012
	Nitratos	1	1	1	1
	Sulfatos	151,20	102,50	103,50	1582,00
	Arsénico	0,008	0,005	0,006	0,003
Parámetros químicos	Cadmio	0,0004	0,0004	0,0008	0,0004
	Cobre	0,002	0,0024	0,002	0,001
	Hierro	0,54	0,8	0,9	0,56
Parámetros microbiológicos	Coliformes Fecales	540,00	13,00	68,00	24,00
	Coliformes Totales	920,00	27,00	330,00	40,00

Fuente: Zhindon (2023).

A continuación, se analiza la evolución de cada uno de ellos con base en lo establecido en el Acuerdo Ministerial No. 097-A, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua:

a. Parámetros biológicos

Dentro de los parámetros biológicos, se encuentra la demanda biológica de oxígeno, que mide la cantidad de oxígeno requerido para desintegrar la materia orgánica en una muestra de agua, la cual se evidencia que en el sector A-4, en el año 2018, ha sobrepasado los límites permisibles (ver Gráfico I).



Fuente: Zhinda (2023).

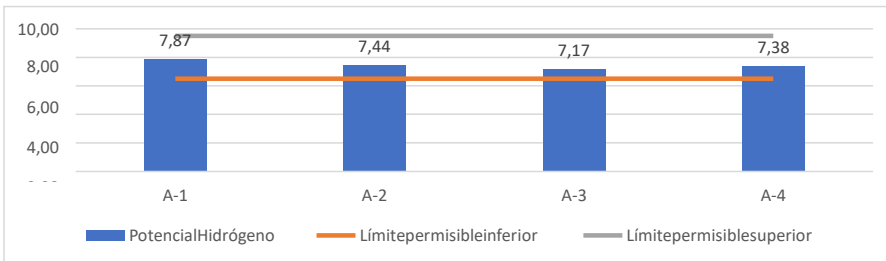
Gráfico I: Demanda Bioquímica de Oxígeno

Mientras que en los otros puntos de análisis se observa que aún permanecen dentro de los niveles aceptables, siendo el sector A-1 el más susceptible de llegar a un punto de contaminación alto.

hidrógeno, los límites permitidos se encuentran entre 6,5 y 9,5 según la norma de calidad ambiental del Ministerio de Ambiente, por tanto, se considera que las aguas del Estero El Macho aún se mantienen dentro de los rangos permitidos (ver Gráfico II).

b. Parámetros físicos-químicos

En relación con el potencial de

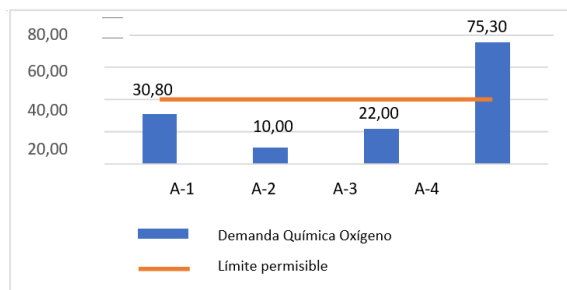


Fuente: Zhinda (2023).

Gráfico II: Potencial de hidrógeno pH

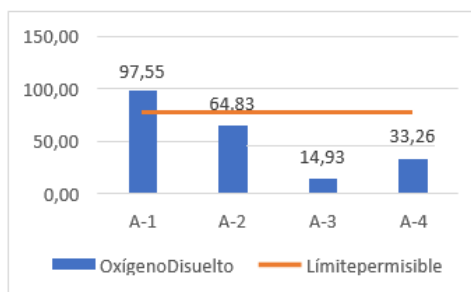
Dentro de los parámetros físicos-químicos, además en el Gráfico III, se muestran los resultados de la demanda química de oxígeno, evidenciándose que en el sector A-4 se ha superado los límites permitidos, por tanto, existe un alto grado de contaminación en esa área. Asimismo, en el Gráfico IV sobre el

oxígeno disuelto, se muestra que en las zonas A-2, A-3 y A-4, los niveles de este parámetro se encuentran por debajo de los límites permitidos, lo que indica que no hay suficiente oxígeno para soportar una diversidad de vida acuática.



Fuente: Zhindon (2023).

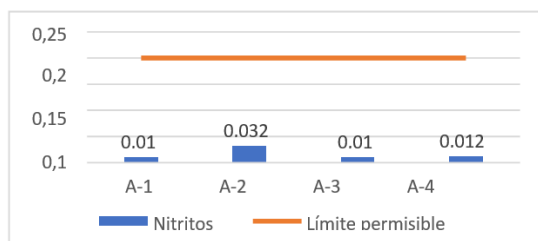
Gráfico III: Demanda química de oxígeno



Fuente: Zhindon (2023).

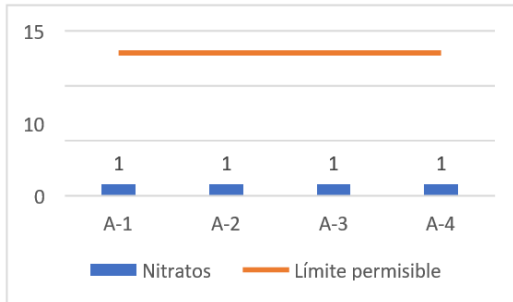
Gráfico IV: Oxígeno disuelto

En cuanto a los Nitritos y Nitratos, ambos se encuentran dentro de los límites permisibles en las cuatro zonas analizadas, tal como se observa en los Gráficos V y VI.



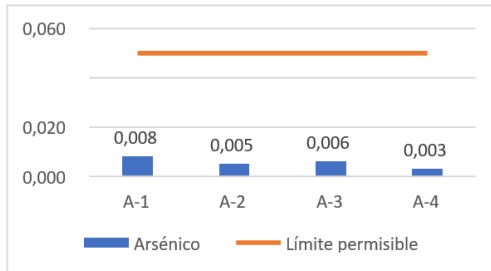
Fuente: Zhindon (2023).

Gráfico V: Nitritos

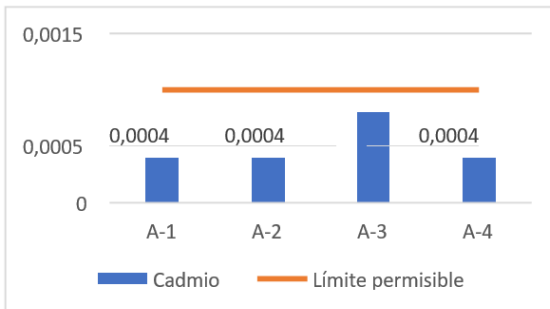


Fuente: Zhinda (2023).
Gráfico VI: Nitratos

Asimismo, las concentraciones de Arsénico y Cadmio se encuentran dentro de los límites permisibles para aguas de estuario (ver Gráficos VII y VIII), siendo importante monitorear el elemento Cadmio en el sector A-3, debido a que empieza a acercarse al límite permisible.



Fuente: Zhinda (2023).
Gráfico VII: Arsénico

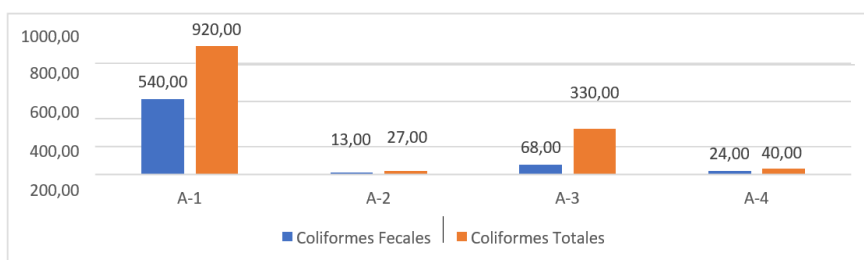


Fuente: Zhinda (2023).
Gráfico VIII: Cadmio

En todas las zonas analizadas, el Cobre se mantiene dentro de los límites permisibles para aguas de estuario. Mientras que, las concentraciones de Hierro están por encima de los límites permisibles, ocasionando cambio en las características físicas de color y sabor metálico indeseable.

c. Parámetros microbiológicos

Respecto a estos parámetros



Fuente: Zhindon (2023).

Gráfico IX: Coliformes fecales y coliformes totales

3.2. Tratamiento de datos: Regresión lineal múltiple

Un modelo de regresión lineal múltiple es un modelo estadístico versátil para evaluar las relaciones entre un destino continuo y los predictores.

a. Comprobación de correlación de la demanda bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros físicos

Para la comprobación de la correlación entre la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos disueltos totales, y los Parámetros físicos tales como: Temperatura, Turbidez y Aceites Grasas IR, se empleó el método de

“Stepwise” o “Por pasos”, con la finalidad de que el programa SPSS evalúe y determine un modelo o modelos que presenten mayores correlaciones. Al analizar, mediante la correlación de Pearson, la variable dependiente con las variables independientes, se comprobó una correlación significativa con: Sólidos disueltos totales. Lo anterior permitió descartar las variables de temperatura y turbidez, además, se excluyó Aceites y Grasas IR, por mantener valores constantes.

Las correlaciones se muestran en la Tabla 2. Se aplicó el método de regresión múltiple por pasos, se generó un solo modelo de regresión debido a que: La variable Sólidos Disueltos Totales tiene una correlación de Pearson de 0,972; y la significancia de la variable Sólidos Disueltos Totales es $p < 0,05$.

Tabla 2
Correlaciones de la bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros físicos

Demanda Bioquímica Oxígeno		Sólidos Disueltos Totales	Temperatura	Turbidez	Aceites y Grasas IR	
Correlación de Pearson	Demanda Bioquímica Oxígeno	1,000	0,972	-0,952	-0,302	
	Sólidos Disueltos Totales	0,972	1,000	-0,997	-0,096	
	Temperatura	-0,952	-0,997	1,000	0,039	
	Turbidez	-0,302	-0,096	0,039	1,000	
	Aceites y Grasas IR	1,000
Sig. (unilateral)	Demanda Bioquímica Oxígeno	0,014	0,024	0,349	0,000	
	Sólidos Disueltos Totales	0,014	.	0,001	0,452	0,000
	Temperatura	0,024	0,001	.	0,480	0,000
	Turbidez	0,349	0,452	0,480	.	0,000
	Aceites y Grasas IR	0,000	0,000	0,000	0,000	.

Fuente: Elaboración propia, 2024 a partir de Zhinda (2023).

Ecuación de Regresión:

$$y = B_0 + B_1 \cdot x_1 + B_2 \cdot x_2 + B_n \cdot x_n \quad y = 8,394 - 0,001x$$

Para los coeficientes del modelo de regresión, las puntuaciones t indican que la

variable escogida aporta significativamente al modelo de predicción, es decir, los valores obtenidos se pueden generalizar ($t = 5,822$; y , $p < 0,05$), tal como se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3
Coefficientes de la bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros físicos

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados			
	B	Error estándar	Beta	t	Sig.	
1	(Constante)	8,394	2,481		3,383	0,077
	Sólidos Disueltos Totales	0,001	0,000	0,972	5,822	0,028

Fuente: Elaboración propia, 2024 a partir de Zhinda (2023).

En cuanto a la validación del modelo se puede observar en la Tabla 4, que: En relación al Coeficiente de determinación - R cuadrado: Para el modelo de regresión múltiple probado con la variable independiente Sólidos disueltos totales, se explica el 94,4% de la varianza de la variable dependiente (R cuadrado: 0,944).

Asimismo, con respecto a la Prueba de Durbin-Watson - Independencia: El puntaje de la prueba de Durbin-Watson indica que hay independencia de errores (2,837), puesto que según el Criterio: Si el valor está entre 1 y 3 se acepta el supuesto de independencia de errores.

Tabla 4
Resumen del modelo de la bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros físicos

Modelo ^b	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio					
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	Durbin- Watson
1	0,972 ^a	0,944	0,916	4,09950	0,944	33,891	1	2	0,028	2,837

Nota: a. Predictores: (Constante), Sólidos Disueltos Totales; b. Variable dependiente: Demanda Bioquímica Oxígeno.

Fuente: Elaboración propia, 2024 a partir de Zhindon (2023).

En relación a la Colinealidad, se puede apreciar en la Tabla 5, que el Factor de Inflada Varianza (FIV) indica que se cumple el supuesto de no colinealidad (FIV = 1,000),

puesto que el Criterio de colinealidad es: Ningún valor por encima de 10 y en conjunto todos los valores cercanos a 1.

Tabla 5
Colinealidad de la bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros físicos

Modelo	95,0% intervalo de confianza para B		Orden cero	Correlaciones		Estadísticas de colinealidad	
	Límite inferior	Límite superior		Parcial	Parte	Tolerancia	FIV
(Constante)	-2,280	19,068					
1 Sólidos Disueltos Totales	0,000	0,002	0,972	0,972	0,972	1,000	1,000

Fuente: Elaboración propia, 2024 a partir de Zhindon (2023).

Asimismo, en la Tabla 6, se muestra el ANOVA del modelo de regresión múltiple bajo el método por pasos, lo cual indica que

ésta mejora significativamente la predicción de la variable dependiente (F: 33,891 y p<0,05).

Tabla 6
ANOVA^a de la bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros físicos

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	569,564	1	569,564	33,891	0,028 ^b
	Residuo	33,612	2	16,806		
	Total	603,176	3			

Nota: a. Variable dependiente: Demanda Bioquímica Oxígeno; b. Predictores: (Constante), Sólidos Disueltos Totales.

Fuente: Elaboración propia, 2024 a partir de Zhindon (2023).

En cuanto a la prueba de normalidad SW indica que se cumple el supuesto de normalidad (Estadístico = 0,968; $gl = 4$; Sig. $p > 0.05$). Lo concerniente a los residuos, la demanda bioquímica de oxígeno determina en forma significativa la calidad del agua del Estero El Macho de la ciudad de Machala, provincia de El Oro en Ecuador, conforme al parámetro físico sólidos disueltos totales.

b. Comprobación de correlación de la demanda bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros físico-químicos

Para la comprobación del establecimiento de correlación entre la demanda bioquímica de oxígeno y los parámetros físico-químicos tales como: Potencial hidrógeno, demanda

química oxígeno, oxígeno disuelto, fosfatos, nitritos, nitratos, sulfatos, arsénico, cadmio, cobre, hierro, se empleó el método de “Stepwise” o “Por pasos”, con la finalidad de que el programa SPSS evalúe y determine un modelo o modelos que presenten mayores correlaciones.

Al efectuar el análisis de correlación de Pearson de la variable dependiente con las variables independientes, se comprobó una correlación significativa con la variable demanda química oxígeno de 0,999 (ver Tabla 7). Por tanto, se descartaron o eliminaron las variables de potencial hidrógeno, oxígeno disuelto, fosfatos, nitritos, sulfatos, arsénico, cadmio, cobre e hierro, al no presentar correlaciones significativas con la variable dependiente. Asimismo, se excluyó la variable nitratos, por presentar valores constantes.

Tabla 7
Correlaciones demanda bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros físico-químicos

Demanda Bioquímica Oxígeno	Potencial Hidrógeno	Demanda Química Oxígeno	Oxígeno Disuelto	Fosfatos	Nitritos	Nitratos	Sulfatos	Arsénico	Cadmio	Cobre	Hierro	
Demanda Bioquímica Oxígeno	1,000	-0,074	0,999	-0,294	-0,103	-0,479	.	0,971	-0,629	-0,274	-0,994	-0,626
Potencial Hidrógeno	-0,074	1,000	-0,027	0,957	0,878	-0,076	.	-0,165	0,594	-0,669	0,142	-0,729
Demanda Química Oxígeno	0,999	-0,027	1,000	-0,252	-0,052	-0,500	.	0,961	-0,592	-0,293	-0,991	-0,661
Oxígeno Disuelto	-0,294	0,957	-0,252	1,000	0,760	0,196	.	-0,332	0,598	-0,692	0,373	-0,556
Fosfatos	-0,103	0,878	-0,052	0,760	1,000	-0,465	.	-0,286	0,807	-0,256	0,122	-0,585
Nitritos	-0,479	-0,076	-0,500	0,196	-0,465	1,000	.	-0,264	-0,239	-0,374	0,542	0,336
Nitratos	.	.	.	.	.	.	1,000	.	.	.	.	.
Sulfatos	0,971	-0,165	0,961	-0,332	-0,286	-0,264	.	1,000	-0,783	-0,347	-0,953	-0,549
Arsénico	-0,629	0,594	-0,592	0,598	0,807	-0,239	.	-0,783	1,000	0,160	0,617	0,000
Cadmio	-0,274	-0,669	-0,293	-0,692	-0,256	-0,374	.	-0,347	0,160	1,000	0,167	0,748
Cobre	-0,994	0,142	-0,991	0,373	0,122	0,542	.	-0,953	0,617	0,167	1,000	0,564
Hierro	-0,626	-0,729	-0,661	-0,556	-0,585	0,336	.	-0,549	0,000	0,748	0,564	1,000

Cont... Tabla 7

Sig. (unilateral)	Demanda Bioquímica Oxígeno	.463	0,001	0,353	0,449	0,261	0,000	0,014	0,185	0,363	0,003	0,187
	Potencial Hidrógeno	0,463	.487	0,021	0,061	0,462	0,000	0,418	0,203	0,165	0,429	0,136
	Demanda Química Oxígeno	0,001	0,487	.374	0,474	0,250	0,000	0,019	0,204	0,353	0,004	0,169
	Oxígeno Disuelto	0,353	0,021	0,374	.120	0,402	0,000	0,334	0,201	0,154	0,314	0,222
	Fosfatos	0,449	0,061	0,474	0,120	.268	0,000	0,357	0,097	0,372	0,439	0,207
	Nitritos	0,261	0,462	0,250	0,402	0,268	.000	0,368	0,380	0,313	0,229	0,332
	Nitratos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	.000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Sulfatos	0,014	0,418	0,019	0,334	0,357	0,368	0,000	.109	0,326	0,023	0,225
	Arsénico	0,185	0,203	0,204	0,201	0,097	0,380	0,000	0,109	.420	0,192	0,500
	Cadmio	0,363	0,165	0,353	0,154	0,372	0,313	0,000	0,326	0,420	.416	0,126
	Cobre	0,003	0,429	0,004	0,314	0,439	0,229	0,000	0,023	0,192	0,416	.218
	Hierro	0,187	0,136	0,169	0,222	0,207	0,332	0,000	0,225	0,500	0,126	0,218

Fuente: Elaboración propia, 2024 a partir de Zhindon (2023).

Ecuación de regresión:

$$y = B_0 + B_1 * x_1 + B_2 * x_2 + B_n * x_n$$

$$y = -,631 + ,497x$$
 Para los coeficientes del modelo de

regresión, en la Tabla 8, las puntuaciones t indican que la variable escogida aporta significativamente al modelo de predicción, es decir, los valores obtenidos se pueden generalizar (t = 27,492; y, p < 0,05).

Tabla 8
 Coeficientes de la demanda bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros físico-químicos

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados			
	B	Error estándar	Beta	t	Sig.	
1	(Constante)	-0,631	0,767		-0,823	0,497
	Demanda Química Oxígeno	0,497	0,018	0,999	27,492	0,001

Fuente: Elaboración propia, 2024 a partir de Zhindon (2023).

En cuanto a la validación del modelo se puede observar en la Tabla 9, que: En relación al Coeficiente de determinación – R cuadrado: Para el modelo de regresión múltiple probado con la variable independiente demanda química de oxígeno, esta explica el 99,7% de la varianza de la variable dependiente (R

cuadrado: 0,997). Además, en relación a la Prueba de Durbin-Watson – Independencia: El puntaje de la prueba de Durbin-Watson indica que hay independencia de errores (1,423), puesto que según el Criterio: Si el valor está entre 1 y 3 se acepta el supuesto de independencia de errores.

Tabla 9

Resumen del modelo demanda bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros físico-químicos

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio					
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	Durbin-Watson
1	0,999 ^a	0,997	0,996	0,89216	0,997	755,799	1	2	0,001	1,423

Nota: a. Predictores: (Constante), Demanda Química Oxígeno.

Fuente: Elaboración propia, 2024 a partir de Zhinda (2023).

Con respecto a la Colinealidad: El Factor de Inflada Varianza (FIV) indica que se cumple el supuesto de no colinealidad (FIV = 1,000), tal como se evidencia en la Tabla

10, puesto que el Criterio de colinealidad es: Ningún valor por encima de 10 y en conjunto todos los valores cercanos a 1

Tabla 10

Colinealidad de la demanda bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros físico-químicos

Modelo		95.0% intervalo de confianza para B		Correlaciones			Estadísticas de colinealidad	
		Límite inferior	Límite superior	Orden cero	Parcial	Parte	Tolerancia	FIV
1	(Constante)	-3,932	2,670					
	Demanda Química Oxígeno	0,419	0,575	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000

Fuente: Elaboración propia, 2024 a partir de Zhinda (2023).

Con relación al ANOVA: El modelo de regresión múltiple bajo el método por pasos, indica que esta mejora significativamente

la predicción de la variable dependiente (F: 755,799 y p<0,05), tal como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11

ANOVA demanda bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros físico-químicos

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	601,584	1	601,584	755,799	0,001 ^a
	Residuo	1,592	2	0,796		
	Total	603,176	3			

Nota: a. Predictores: (Constante), Demanda Química Oxígeno.

Fuente: Elaboración propia, 2024 a partir de Zhinda (2023).

De igual manera, la prueba de normalidad SW indica que no se cumple el

supuesto de normalidad (Estadístico = 0,696; gl = 4; Sig. p<0.05). La demanda bioquímica

de oxígeno determina en forma significativa la calidad del agua del Estero El Macho de la ciudad de Machala, provincia de El Oro en Ecuador, conforme al parámetro fisicoquímico de demanda química oxígeno.

c. Comprobación de correlación de la demanda bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros microbiológicos

El proceso de comprobación de la correlación de la demanda bioquímica de

oxígeno y los parámetros microbiológicos: Coliformes fecales y coliformes totales, se realizó a través del método de “Stepwise” o “Por pasos”, con el propósito que el programa SPSS evalúe y determine un modelo o modelos que evidencien mayores correlaciones. Al analizar, mediante la correlación de Pearson, la variable dependiente con las variables independientes, no se encontraron correlaciones significativas con ninguno de los parámetros planteados, tal como se puede observar en la Tabla 12.

Tabla 12
Correlaciones de la demanda bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros microbiológicos

	Demanda Bioquímica Oxígeno		Coliformes Fecales	Coliformes Totales
Correlación de Pearson	Demanda Bioquímica Oxígeno	1,000	-0,152	-0,232
	Coliformes Fecales	-0,152	1,000	0,969
	Coliformes Totales	-0,232	0,969	1,000
Sig. (unilateral)	Demanda Bioquímica Oxígeno	.	0,424	0,384
	Coliformes Fecales	0,424	.	0,015
	Coliformes Totales	0,384	0,015	.

Fuente: Elaboración propia, 2024 a partir de Zhindon (2023).

Se aplicó el método de regresión múltiple por pasos, el cual no generó modelo de regresión, debido a que no hay correlaciones significativas entre las variables. Por tanto, la demanda bioquímica de oxígeno no determina en forma significativa la calidad del agua del Estero El Macho de la ciudad de Machala, provincia de El Oro en Ecuador, conforme a los parámetros microbiológicos. En ese sentido, los métodos estadísticos son instrumentos valiosos que puede ser aplicados en los estudios de la calidad del agua, estas herramientas permiten el análisis y reducción de un número considerados de datos (Gómez y Peñuela, 2016).

Es importante destacar, que los motivos por los cuales se utilizaron esos datos para

el análisis estadístico y desarrollo de la investigación acerca de la calidad del agua en este Estero, es que no existían estudios o monitoreo más recientes disponibles, específicamente de los sectores en los que se obtuvieron las muestras. Asimismo, los datos resultaron más completos o confiables para lograr el propósito de la investigación. El objetivo fue demostrar la aplicabilidad del método estadístico multivalente con un conjunto de datos existente, independientemente de su año, lo cual se ha podido debatir con los resultados obtenidos.

Lo concerniente a la demanda bioquímica de oxígeno conforme a los parámetros físicos muestra que la demanda está correlacionada con los sólidos disueltos

totales, lo que permitió la exclusión de elementos tales como la temperatura, turbidez, aceites y grasas IR.

Desde el punto de vista de la regresión múltiple por pasos, los sólidos disueltos reflejaron precisión, puesto que el coeficiente de determinación expresado por R cuadrado, marco un 0,944, lo que expresa que el 94,4% de la varianza en la demanda bioquímica de oxígeno se explica por la cantidad de sólidos disueltos que se encuentran en el agua. Con respecto a la prueba, Durbin-Watson ésta indicó independencia de errores y Factor de Inflada Varianza (FIV), expresando que no existe colinealidad entre la demanda bioquímica de oxígeno y los parámetros físicos.

El ANOVA también aportó que el modelo de regresión múltiple reflejó predicción de la demanda bioquímica de oxígeno. Los datos representados reflejan en gran medida cómo con el 95% que, representado por los disueltos totales, influye sobre la demanda de oxígeno. Esta puede ser explicada en cierta medida por la cantidad de sólidos disueltos, los cuales están influyendo en la calidad del agua del Estero El Macho. Por consiguiente, se observa que no hay errores en los cálculos, destacando que los sólidos disueltos totales influyen en determinar la calidad del agua en el Estero El Macho.

Tras una comparación de la demanda bioquímica de oxígeno y los parámetros físico-químicos con el método de "Stepwise" y SPSS, se identificó una correlación con la demanda química de oxígeno. Esto, posibilitó descartar parámetro sin correlación y explicando que el 99,7% de la varianza del modelo, porcentaje que influye en la calidad del agua en el estero El Macho, se relaciona significativamente con la demanda química de oxígeno. Asimismo, se identificaron niveles altos de Sólidos Disueltos Totales (0,972), Demanda Química de Oxígeno (0,999) a través del análisis de componentes principales.

El análisis de los datos presentados en las diferentes Tablas y Gráficos, permitió identificar la presencia de elementos bioquímicos y físicos que afectan significativamente la calidad del agua.

Por consiguiente, en los cuerpos de agua analizados y previamente estudiados se puede, a partir de este grupo de datos, complementar con otros análisis e idear estrategias que permitan proporcionar agua de calidad a las comunidades.

El estudio sobre la calidad del agua en el Estero El Macho de la ciudad de Machala, provincia de El Oro en Ecuador, evidenció que el agua del Estero está siendo alterada y uno de estos factores pueden estar vinculados a las aguas residuales generadas por diversas actividades humanas que se desarrollan a diario en su entorno. El análisis de los datos a través de la revisión de técnicas estadísticas, permitió contribuir a una mayor comprensión de las diferentes correlaciones de manera simultánea, de forma coincidente con la postura de Clossas et al. (2013), esta serie de datos que provienen del análisis de estas tomas de aguas, permite descartar varios patrones y brindar claridad en los datos obtenidos, así como constatar en este caso, la evolución de los parámetros físico-químicos y biológicos del Estero analizado.

Los parámetros seleccionados mostraron la evolución de la cuenca hídrica a lo largo del tiempo, lo que ayuda a resumir una gran cantidad de datos obtenidos de múltiples variables en unos pocos elementos de análisis. Por lo tanto, es una herramienta muy útil antes de utilizar otras técnicas estadísticas, aunque es importante contar siempre con los valores de las variables originales (Amat, 2017).

Desde el punto de vista del análisis del agua como recurso de impacto social, los parámetros como coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, hierro y oxígeno disuelto en el Estero El Macho de la ciudad de Machala, provincia de El Oro en Ecuador, exceden los límites permitidos para la calidad del agua (Isea et al., 2015). Destacando que se identificó la existencia de turbidez y sólidos disueltos, por lo tanto, el agua del Estero El Macho, no cumple con los estándares de calidad establecidos en el Acuerdo Ministerial No. 097·A de 2015, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, la cual establece que la demanda bioquímica de

oxígeno se proyecta en DBO5 mg/l <2).

El uso de técnicas estadísticas como soporte al análisis, identificación y simplificación de datos, evidenció una correlación de 0.972 y sólidos disueltos como variable independiente. El coeficiente de determinación indica que se explica el 94,4% de la variabilidad de la variable dependiente. Asimismo, se identificó una correlación de 0,999 entre la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno, el coeficiente de determinación representado por el 99,7%. Por consiguiente, el 99,9% del coeficiente comprueba la variabilidad de la variable dependiente y cómo la demanda bioquímica de oxígeno determina la calidad del agua del Estero El Macho de la ciudad de Machala, provincia de El Oro en Ecuador, según los parámetros químicos de la demanda química de oxígeno y el físico de sólidos disueltos totales.

Conclusiones

Se destaca, que el monitoreo constante permite disminuir parámetros químicos y físicos para verificar la efectividad de las acciones de recuperación de la calidad del agua del Estero El Macho de la ciudad de Machala, provincia de El Oro en Ecuador, y a su vez equilibrar la demanda bioquímica de oxígeno, por lo que a través del análisis estadístico se conoció las correlaciones de la presencia de patógenos que afectan su calidad, lo que representa un problema social para la población.

Por consiguiente, la importancia de su preservación radica, entre una de sus problemáticas, a que, en un mediano, largo plazo, puede ser un foco de contaminación contrarrestando su impacto social, el cual destaca en el desarrollo sostenible al proveer fuentes de agua utilizables y renovables para el beneficio social. Es necesario, tomar medidas para recuperar la calidad del agua del Estero El Macho de Ecuador, siendo una opción viable la eliminación total de los drenajes de aguas residuales a lo largo del mismo, puesto que

se ha identificado como un factor altamente correlacionado, las coliformes fecales y coliformes totales en las aguas del Estero.

La validación a través de pruebas con los modelos estadísticos, reveló y relacionó componentes ocultos que afectan directamente a la calidad del agua del Estero El Macho, Machala-El Oro; por consiguiente, la aplicación del método estadístico multivalente con un conjunto de datos existentes permite el análisis, sin importar su año. Con esta información, se podrán implementar políticas públicas que contrarresten el impacto negativo en el medio ambiente y la ecología, tema que afecta el bienestar de todos los seres vivos. Asimismo, se señala como la principal limitación el acceso a información más actualizada o registrada de forma formal sobre la calidad de agua en los puntos de análisis.

Referencias bibliográficas

- Acuerdo Ministerial 097-A de 2015 [Ministerio del Ambiente de Ecuador]. Mediante el cual se expiden los Anexos del texto Unificado del Ministerio del Ambiente. 4 de noviembre de 2015.
- Aguas Machala EP (2019). *Informe de rendición de cuentas 2018: Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón Machala "Aguas Machala – EP"*. Aguas Machala EP. <https://aguasmachala.gob.ec/wp-content/uploads/2019/04/INFORME-DE-RENDICION-DE-CUENTAS-2018-AGUAS-MACHALA.pdf>
- Aguas Machala EP (2022). *Transparencia. Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública. Aguas Machala EP*. <https://www.aguasmachala.gob.ec/transparencia>
- Amat, J. (junio de 2017). *Análisis de Componentes Principales (Principal Component Analysis, PCA) y t-SNE. Ciencia de Datos*. <https://www.>

- cienciadatos.net/documentos/35_principal_component_analysis
- Argudo, J. J. (2019). La gestión del agua en distintas civilizaciones: De Grecia a la actualidad. *Energía & Minas: Revista Profesional, Técnica y Cultural de los Ingenieros Técnicos de Minas*, (15), 60-75.
- Baeza-Serrato, R., y Vázquez-López, J. A. (2014). Transición de un modelo de regresión lineal múltiple predictivo, a un modelo de regresión no lineal simple explicativo con mejor nivel de predicción: Un enfoque de dinámica de sistemas. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*, (71), 59-71. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.14469>
- Banco Mundial (2011). *Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://documents1.worldbank.org/curated/es/452181468216298391/pdf/633920ESW0SPAN01e0GRH0final0DR0R EV-0doc.pdf>
- Baque-Mite, R., Simba-Ochoa, L., González-Ozorio, B., Suatunce, P., Díaz-Ocampo, E., y Cadme-Arevalo, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Revista Ciencia Unemi*, 9(20), 109-117. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp109-117p>
- Barrera-Escorcía, G., Fernández-Rendón, C. L., Wong-Chang, I., y Ramírez, P. (2013). La sensibilidad del grupo coliforme como indicador de la presencia de enterobacterias patógenas en cuatro cuerpos acuáticos de México. *Hidrobiológica*, 23(1), 87-96. <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/625>
- Benítez, B. M., Ramírez, M. C., Rosales, M. A., Vilchez, D. M., Rangel, L. C., Ferrer, K. J., y Ávila, A. G. (2016). Evaluación físico-química y microbiológica del agua potable envasada en bolsas que se venden en la zona céntrica de la ciudad de Maracaibo-Venezuela. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 35(4), 107-113. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_aavft/article/view/14021
- Brajovic, F. (2 de marzo de 2023). Demanda bioquímica de oxígeno: Qué es y cómo medir. *Cromtek*. <https://www.cromtek.cl/2023/03/02/demanda-bioquimica-de-oxigeno-que-es-y-como-medir/>
- Brousett-Minaya, M., Chambi, A., Mollocondo, M., Aguilar, L., y Lujano, E. (2018). Evaluación físico-química y microbiológica de agua para consumo humano Puno-Perú. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 15, 47-68. <https://bolivia.vlex.com/vid/evaluacion-fisico-quimica-microbiologica-729566537>
- Caballero, Y. S. (2021). Fluctuaciones del pH, alcalinidad, oxígeno disuelto y nutriente en Cayos Miskitos, municipio de Puerto Cabezas, Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN). *Revista Torreón Universitario*, 10(29), 154-165. <https://doi.org/10.5377/rtu.v10i29.12743>
- Castro, M., Almada, J., Ferrer, J., y Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111-124. <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Chaparro, N., y Leguizamón, A. M. (2022). Estrategia y geopolítica del agua en América Latina: Una óptica desde la Inteligencia Estratégica. *Perspectivas en Inteligencia*, 14(23), 147-167. <https://doi.org/10.47961/2145194X.337>
- Closas, A. H., Arriola, E. A., Kuc, C. I.,

- Amarilla, M. R., y Jovanovich, E. C. (2013). Análisis multivariante, conceptos y aplicaciones en Psicología Educativa y Psicometría. *Enfoques*, XXV(1), 65-92. <https://publicaciones.uap.edu.ar/index.php/revistaenfoques/article/view/114>
- Fan del Agua (5 de mayo de 2017). 6 Usos del agua en la vida cotidiana. *Fan del Agua*. <https://fandelagua.com/6-usos-del-agua-en-la-vida-cotidiana/>
- Flores, Á. G., y Pozo, E. J. (2023). *Evaluación estadística de los parámetros de análisis físico, químico y biológico de los afluentes y efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales regulado por la Empresa Pública Mancomunada Aguapen-EP, ubicado en la cabecera cantonal del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9209>
- Garcés, M. F. (2021). *Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas del Río Ambato* [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34004>
- García, L. S., Galvez, N. D. C., Villanueva, J. A., Olivos, F. G., Guerrero, A. M., y Marin, W. T. (2023). Estadística aplicada a la investigación científica. *Revista Científica Emprendimiento Científico Tecnológico*, (4.1), 144. <https://revista.ectperu.org.pe/index.php/ect/article/view/133>
- Gil, J. A. (2014). *Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa* [Tesis de maestría, Universidad de Manizales]. <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/1803>
- Gil, J. A. (2020). Modelo de calidad del agua subterránea mediante el uso combinado del análisis de componentes principales (ACP) y regresiones lineales múltiples (RLM). Caso de estudio: Acuíferos de Maturín, Monagas, Venezuela. *Innotec*, (20), 67-88. <https://doi.org/10.26461/20.02>
- Girardi, C., González, F., Jara, S., Charre, R., Elorrieta, M., Sanchis, E., Arancibia, A., y Castillo, I. (2018). *Metodología de Construcción de Índice de Calidad para aguas superficiales*. Escenarios Hidricos 2030. BID. https://escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2021/06/XZ-ICAS_-Girardi-et-al.-2017-v-0-7.pdf
- Gómez, I. N., y Peñuela, G. A. (2016). Revisión de los métodos estadísticos multivariados usados en el análisis de calidad de aguas. *Revista Mutis*, 6(1), 54-63. <https://doi.org/10.21789/22561498.1112>
- Gómez, J. E. (2022). *El derecho humano al agua* [Tesis doctoral, Universidad de Salamanca]. <https://gredos.usal.es/handle/10366/151459>
- Herrera, A., y Suárez, P. (2005). Indicadores bacterianos como herramientas para medir la calidad ambiental del agua costera. *Interciencia*, 30(3), 171-176.
- Isea, D., Vargas, L., Durán, J., Delgado, J., y Mendoza, R. (2015). Parámetros biocinéticos que rigen la ecuación de la DBO en aguas residuales de una industria procesadora de cangrejos. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*, 38(2), 112-121. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/20829>
- Mayarí, R., Espinosa, M. D. C., Gutiérrez, J., y Ruiz, M. (2005). Validación de la determinación de oxígeno disuelto

- y demanda bioquímica de oxígeno en aguas y aguas residuales. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 36(E), 1-8. <https://revista.cnic.edu.cu/index.php/RevQuim/article/view/1847>
- Molina, R. (4 de junio de 2021). Importancia del agua y las problemáticas socio-ambientales. *Gobierno de México*. <https://www.gob.mx/semarnat/educacionambiental/es/articulos/importancia-del-agua-y-las-problematicas-socio-ambientales?>
- Muñoz, J. L., y Bustos, R. (2021). Gestión integrada de recursos hídricos y gobernanza: Subcuenca del río Vinces, provincia Los Ríos-Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVII(E-3), 471-497. <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i.36532>
- Naciones Unidas (7 de febrero de 2014). Derecho humano al agua y al saneamiento. Decenio Internacional para la Acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015. *Naciones Unidas*. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- Obando, J. A., Mora, E. L., Lievano, L. T., Hernandez, M. A., y Cardenas, D. (2019). La calidad del agua y su impacto social. *Revista Espacios*, 40(43), 13. <https://www.revistaespacios.com/a19v40n43/a19v40n43p13.pdf>
- Pradillo, B. (12 de septiembre de 2016). Parámetros de control del agua potable. *iagua*. <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>
- Quiroga, R. (2007). *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: Avances y perspectivas para América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas-CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/c091f167-0a73-4d3a-b007-58a50d8b8d12>
- Quispe-Mamani, E., Chaña, F. F., Salas, D. A., y Belizario, G. (2022). Imaginario social de actores locales sobre la contaminación ambiental minera en el altiplano peruano. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVIII(1), 303-321. <https://doi.org/10.31876/rcs.v28i1.37693>
- Raffo, E., y Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80. <https://doi.org/10.15381/idata.v17i1.12035>
- Recabarren, O. (2016). El estándar del derecho de aguas desde la perspectiva del derecho internacional de los derechos humanos y del medio ambiente. *Estudios Constitucionales*, 14(2), 305-346. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-52002016000200010>
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., y Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Rubio-Arias, H. O., Rey-Burciaga, N. I., Quintana, R. M., Ochoa-Rivero, J. M., Saucedo-Terán, R. A., y Ortiz-Delgado, R. C. (2016). Recreational Water Quality Index (RWQI) for Colina Lake in Chihuahua, Mexico. *Acta Universitaria*, 26(3), 14-22. <https://doi.org/10.15174/au.2016.901>
- Sarie, A. D. (2020). *Análisis de la vulnerabilidad de las familias en el sector denominado Manglar del Afro de las Riberas del Canal El Macho de la Ciudad de Machala* [Tesis de especialización, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales FLACSO Ecuador]. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/16543>

- Suarez, J. A., Ore, L. E., Loarte, W. C., y Oré, J. D. (2021). Calidad de agua y nivel de satisfacción en la comunidad universitaria de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2019. *Llamkasun*, 2(1), 2-20. <https://llamkasun.unat.edu.pe/index.php/revista/article/view/27>
- Torres, P., Cruz, C. H., y Patiño, P. J. (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*, 8(15), 79-94. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/59>
- Zhindaon, R. G. (2023). *Modelo estadístico de calidad del agua del Estero El Macho, Machala-El Oro* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Tumbes].