



Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Evaluación de la calidad de agua del embalse Mazar, localizado entre las comunidades de Sacre y Chaullayacu

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Químico

Autores:

Ronmel Lenin Ortiz Celleri

Edisson Patricio Vargas Herrera

Director:

Sonia Margoth Astudillo Ochoa

ORCID:  0000-0002-8351-6031

Cuenca, Ecuador

2024-01-08

Resumen

La calidad de agua en los embalses resulta de vital importancia, ya que además de alimentar los proyectos hidroeléctricos, también son reservorios de agua para su posterior tratamiento y consumo humano o como agua de riego para cultivos, estos cuerpos de agua pueden sufrir un deterioro por la actividad humana, para lo cual instituciones e investigadores han desarrollado los índices de calidad para conocer la condición en la que se encuentran. El índice de calidad de agua de la fundación nacional de saneamiento de los Estados Unidos, añadido al índice de calidad de Montoya que permite determinar principales parámetros a analizar con la finalidad de evaluar la calidad de agua, por lo que el objetivo de este trabajo es analizar la condición actual del embalse de Mazar, para ello se planificaron cuatro puntos de muestreo, durante cuatro semanas, a su vez, dichos puntos de muestreo fueron georreferenciados mediante una aplicación GPS, las muestras de agua cruda fueron sometidas a los diferentes análisis físico-químicos y microbiológicos basados en las normas INEN con el fin de determinar el índice de calidad de agua (ICATEST) y poder dar una valoración de la calidad del agua del embalse, posteriormente con la finalidad de establecer si existen variaciones significativas entre las diferentes muestras y los diferentes parámetros se realizó una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y contrarrestando los resultados con la normativa vigente en Ecuador proporcionada por el TULSMA, a fin de dar acciones de mejora para precautelar el recurso hídrico que representa el embalse.

Palabras clave: proyecto hidroeléctrico, monitoreo hídrico, calidad de agua, represa Paute.



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

Water quality in reservoirs are of vital importance, as they serve not only as a source for feeding hydroelectric projects but also as water reservoirs for subsequent treatment, human consumption, and irrigation purposes. These reservoirs can suffer deterioration due to human activity, for which institutions and researchers have developed water quality indexes to determine the condition in which they actually are. The Water Quality Index (WQI) developed by the National Sanitation Foundation of the United States, in conjunction with Montoya's water quality index, that provides the main parameters to analyze when determining water quality. The objective of this study is to analyze the current condition of the Mazar reservoir through four samplings points planned, the samples were collected and analyzed every week for a period of four weeks, also the sampling points were georeferenced by means of a GPS application. The raw water samples were used for physicochemical and microbiological analyses based on INEN standards, in order to determine the water quality index (ICATEST) and evaluate the water quality of the reservoir. This assessment aimed to identify any significant variations in water quality, using the Kruskal-Wallis non-parametric test for each sampling point and the reservoir as a whole. Additionally, we compared our results with current regulations in Ecuador, as provided by TULSMA, to recommend improvement actions that would protect the water resource represented by the reservoir.

Keywords: hydroelectric project, water monitoring, water quality, Paute dam



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice De Contenido

Resumen	2
Abstract	3
Objetivos.....	10
Introducción	11
Capítulo I	13
1. Contenido Teórico.....	13
1.1 El Agua	13
1.1.1 Importancia del Agua.....	13
1.1.2 El Agua Para la Generación Eléctrica.....	13
1.2 Proyecto Paute Integral, Represa Mazar y Embalse.....	14
1.3 Índice De Calidad De Agua.....	15
1.3.1 Índice de Calidad de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF)	15
1.3.2 Índice de Calidad De Montoya.....	16
1.3.3 Índice de Calidad De León	17
1.4 Parámetros De Calidad Del Agua.....	19
1.4.1 Parámetros Físicos.....	19
1.4.2 Parámetros Químicos.....	20
1.4.3 Parámetros Microbiológicos	22
1.5 Normativa de calidad de agua	23
1.6 Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.....	24
Capítulo II	25
2. Materiales y Métodos	25
2.1 Descripción del área de Estudio.....	25
2.1.1 Embalse Mazar.....	25
2.2 Descripción de la Metodología.....	27
2.2.1 Recolección de muestras de agua	28
1.1.1 Planificación del Muestreo.....	28
1.1.2 Determinación de los puntos de muestreo	28

	5
1.1.3	Determinación de los parámetros “IN-SITU” 28
1.1.4	Recolección de muestras de agua..... 29
2.2.2	Determinación de parámetros en laboratorio 30
2.2.2.1	Parámetros Físicos 30
2.2.2.2	Parámetros Químicos 31
2.2.2.3	Parámetros Microbiológicos..... 32
Capítulo III	 33
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 33
3.1	Sitios de Muestreo Seleccionados. 33
1.1.5	Punto 1: Orilla Sureste..... 33
1.1.6	Punto 2: Centro o Punto Medio..... 34
1.1.7	Punto 3: Orilla Suroeste..... 35
1.1.8	Punto 4: Punto Inicio de Embalse..... 36
3.2	Parámetros Determinados “in situ” 37
1.1.9	Comparación de los parámetros determinados “In Situ” con la Normativa Nacional 41
1.1.10	Análisis estadístico de parámetros medidos “In Situ”. 41
3.3	Parámetros Valorados en Laboratorio..... 43
1.1.11	Resultados de las pruebas en laboratorio 43
1.1.12	Análisis estadístico de parámetros medidos en laboratorio..... 45
1.1.13	Comparación de los parámetros medidos en laboratorio con la Normativa Nacional 47
3.4	Resultados de los Índices de calidad. 53
3.4.1	Índice de Calidad De la Fundación Nacional de Saneamiento de EEUU 53
3.4.2	Índice de Calidad de León (ICA-León)..... 55
3.4.3	Análisis estadístico de Índices de Calidad..... 57
3.5	Resultados Generales. 59
Capítulo IV	 60
4.	Conclusiones y Recomendaciones. 60

4.1	Conclusiones	60
4.2	Recomendaciones	61
	Bibliografía y Referencias	62
	Anexos	66

Índice De Figuras

Figura 1: Proyecto Paute Integral.....	15
Figura 2: Escala WQINSF	16
Figura 3: Embalse Mazar	26
Figura 4: Imagen satelital de la ubicación del embalse y central Mazar.	26
Figura 5: Mapa topográfico de puntos de muestreo	27
Figura 6: Determinación de los parámetros "IN-SITU"	29
Figura 7: Toma de muestras de agua	30
Figura 8: Hielera térmica con muestras.....	30
Figura 9: Punto 1: Orilla Sureste	34
Figura 10: Punto 2: Centro o Punto Medio	35
Figura 11: Punto 3: Orilla Suroeste.	36
Figura 12: Punto 4: Punto Inicio de Embalse	37
Figura 13: Parámetros medidos "In Situ" del Punto 1 Orilla Sureste.....	38
Figura 14: Parámetros medidos "In Situ" del Centro o Punto Medio.....	39
Figura 15: Parámetros medidos "In Situ" del Punto 3 Orilla Suroeste.....	40
Figura 16: Parámetros medidos "In Situ" del Punto Inicio de Embalse	40
Figura 17: Resultados de Alcalinidad.	48
Figura 18: Resultados de la Dureza.	49
Figura 19: Resultados de los Nitratos	49
Figura 20: Resultados de Cloruros.....	50
Figura 21: Resultados de Fosfatos.....	51
Figura 22: Resultados de Solidos Disueltos Totales.	51
Figura 23: Resultados de Turbiedad	52
Figura 24: Resultados de Coliformes Totales.	52
Figura 25: Resultados de Coliformes Fecales.....	53

Índice de tablas

Tabla 1: Variables del Índice De León	17
Tabla 2: Clasificación del Índice en función del uso del agua	18
Tabla 3: Criterios de Calidad del Aguas Superficiales.....	23
Tabla 4: Características Embalse Mazar	25
Tabla 5: Punto 1: Orilla Sureste.....	33
Tabla 6: Punto 2: Centro o Punto Medio	34
Tabla 7: Punto 3: Orilla Suroeste.....	35
Tabla 8: Punto 4: Punto Inicio de Embalse.....	36
Tabla 9: Datos Parámetros "In Situ"	37
Tabla 10: Valores referenciales de los parámetros medidos "In Situ"	41
Tabla 11: Estadísticos descriptivos de los parámetros determinados "In Situ".	41
Tabla 12: Rangos promedio para la prueba de Kruskal-Wallis "In Situ"	42
Tabla 13: Estadísticos de contraste de Kruskal-Wallis para parámetros "In Situ"	42
Tabla 14: Resultados de los Parámetros del Punto 1, Orilla SE	43
Tabla 15: Resultados de los Parámetros del Punto 2, Punto Medio	43
Tabla 16: Resultados de los Parámetros del Punto 3, Orilla SO	44
Tabla 17: Resultados de los Parámetros del Punto 4, Punto Inicio de Embalse	44
Tabla 18: Estadísticos descriptivos de los parámetros determinados en Laboratorio.....	45
Tabla 19: Rangos promedio para prueba de Kruskal-Wallis determinados en Laboratorio. 46	
Tabla 20: Estadísticos de contraste de Kruskal-Wallis para parámetros en Laboratorio.....	46
Tabla 21: Valores referenciales de los parámetros medidos en laboratorio	47
Tabla 22: Resultados WQI-NSF Punto 1: Orilla SE	54
Tabla 23: Resultados WQI-NSF Punto 2: Punto Medio.....	54
Tabla 24: Resultados WQI-NSF Punto 3: Orilla SO	55
Tabla 25: Resultados WQI-NSF Punto 4: Punto Inicio de Embalse	55
Tabla 26: Resultados ICA-León Punto 1: Orilla SE	56
Tabla 27: Resultados ICA-León Punto 2: Punto Medio.	56
Tabla 28: Resultados ICA-León Punto 3: Orilla SO	57
Tabla 29: Resultados ICA-León Punto 4: Punto Inicio de Embalse.....	57
Tabla 30: Estadísticos descriptivos de los Índices de Calidad.	57
Tabla 31: Rangos promedio para la prueba de Kruskal-Wallis de los índices de calidad. ...	58
Tabla 32: Estadísticos de contraste de Kruskal-Wallis para los índices de calidad.	58

Agradecimientos

Quisiéramos agradecer a la Universidad de Cuenca y sus docentes quienes han compartido su invaluable conocimiento y experiencia con nosotros para que consigamos superarnos cada día y con ello convertirnos en profesionales valiosos para la sociedad.

Agradecemos a la Mgst. Sonia Astudillo quien ha sido parte fundamental no solo de este proyecto de titulación sino a lo largo de toda nuestra etapa universitaria con su guía y apoyo incondicional, sin perder la fé en nosotros, ni en nuestras capacidades. De igual manera al Dr. Giovanni Larriva quien nos acogió en su laboratorio, por su guía y consejos a lo largo de la parte experimental de este proyecto. Sin ellos y sus conocimientos, este proyecto no hubiese sido posible.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Benemérito Cuerpo de Bomberos del cantón Paute, comandado por el Mayor Fredy Toral Calle y su cuerpo bomberil, quienes formaron parte fundamental de la logística y desarrollo de las visitas técnicas de este proyecto, salvaguardando nuestra integridad en todo momento.

Por último, pero no menos importante a todas las personas que formaron parte de nuestra vida universitaria, quienes nos brindaron apoyo, aliento y estuvieron junto a nosotros a cada paso de toda esta experiencia inolvidable.

Ronmel Ortíz y Edison Vargas.

Objetivos

Objetivo General:

- Determinar los índices de calidad de agua en el embalse Mazar, localizado entre las comunidades de Sacre y Chaullayacu pertenecientes al cantón Guachapala.

Objetivos Específicos:

- Realizar un diagnóstico de la zona de interés y su condición actual mediante el muestreo y la determinación del índice de calidad del agua con los parámetros: Alcalinidad, cloruros, dureza, fosfatos, nitratos, oxígeno disuelto, pH, sólidos disueltos, temperatura y turbidez; además de un análisis microbiológico: Coliformes Fecales y Totales.
- Analizar y contrastar los resultados obtenidos de índice de calidad con la normativa vigente (nacional e internacional) para proponer acciones de mejora.
- Realizar un análisis estadístico de los resultados obtenidos entre las distintas muestras de los diferentes puntos de muestreo.
- Georreferenciar los puntos de muestreo mediante un mapa.

Introducción

El agua es el líquido más abundante en el planeta tierra y juega un papel fundamental para diversos procesos biológicos que permiten la existencia de los seres vivos. A lo largo de los años las fuentes de agua han sufrido una serie de modificaciones antrópicas por todas las actividades del ser humano, toneladas de desechos han sido depositados en ella; según datos de la ONU, más del 80% de las aguas residuales en el mundo retornan al medio ambiente sin recibir un tratamiento adecuado (World Bank, 2020).

En el Ecuador un boletín emitido por la Secretaria del Agua (Senagua), del 100% del líquido vital distribuido para consumo humano el 70% es usado y desechado al alcantarillado, de este porcentaje, el 55,8% de las descargas son tratadas y el 44,2% se descarga directamente hacia pozos o ríos. Todo este mal manejo de las aguas genera gran contaminación hacia las fuentes hídricas que muchas veces alimentan a los embalses de los diversos proyectos hidroeléctricos, produciendo alteraciones en la calidad del agua de los mismos (Sandoval y Alarcón, 2019).

El proyecto hidroeléctrico Mazar-Dudas se encuentra ubicado al sureste del país entre los límites de las provincias de Azuay y Cañar y el embalse, cuya cola llega hasta el sector Chicti entre los límites de los cantones Paute y Guachapala, tiene una extensión de 31 Km y cuenta con una capacidad de 410 millones de metros cúbicos de agua, representa el primer aprovechamiento de agua para el Proyecto Paute Integral, permite la regulación del caudal del río Paute para la alimentación de las centrales aguas abajo y también retiene los sedimentos arrastrados por el río, fortificando así la operatividad de todo el complejo hidroeléctrico (CELEC EP 2021).

Según información del plan estratégico de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Guachapala, no se disponen de datos certeros de la calidad físico-química y bacteriológica del agua, pero el mismo si indica fuentes dispersas de contaminación del embalse como descargas directas de alcantarillado, desecho de basura y contaminación proveniente de las tareas agrícolas de la zona, lo cual contribuye a la degradación de la calidad del agua. En estudios realizados por (Carrillo Alvarado y Urgilés Calle 2016) en las cuencas de los ríos Mazar y Pindilig, se comprobó un índice de calidad medio a bueno, con una presencia de contaminación microbiológica elevada, siendo esta superior a los límites permisibles.

El índice de calidad de agua (ICA), es una forma simplificada de algunos parámetros, que permite comunicar y evaluar la condición de los cuerpos de agua, cabe recalcar que para que dichos índices sean prácticos, se debe reducir la diversidad de parámetros a los que resulten

más relevantes para la zona de aplicación, teniendo en cuenta las características de la misma, esto sacrifica algo de información pero si el índice aplicado es el correcto, el resultado será representativo e indicativo de contaminación y comparable para detectar tendencias (León Vizcaíno 2009).

La fundación nacional de saneamiento (NSF) ha desarrollado su índice de calidad para el agua tomando en consideración nueve parámetros, asignando a cada uno un peso de importancia, en función de ellos se valora la calidad del agua en un rango de 0 a 100, donde 0 representa un nivel de agua muy pobre y 100 representa la calidad de agua excelente, de igual manera en Latinoamérica se tiene el índice de calidad de Montoya que abarca 18 parámetros respectivamente utilizando la misma escala de valoración de 0 a 100. Una versión un poco más simplificada de este, es el Índice de calidad de León, que abarca 15 parámetros (Fernández Parada & Solano Ortega, 2005).

Hasta el momento no se han realizado estudios en la zona del embalse de Mazar sobre el índice de calidad del agua a nivel fisicoquímico y microbiológico, por lo cual la finalidad de este trabajo de titulación es crear un precedente sobre dicho tema, en base al índice de calidad de agua de la fundación nacional de saneamiento (NSF) y en al índice de calidad de Montoya / León, ambos estimados con el software de cálculo de índices de calidad ICATEST en muestras de agua del embalse Mazar, entre las comunidades de Sacre y Chaullayacu, pertenecientes al cantón Guachapala.

Capítulo I

1. Contenido Teórico.

1.1 El Agua

El agua representa el 70% de la superficie terrestre pero solo un 2,5% es agua dulce, a su vez, los glaciares, nieve y hielo en los casquetes polares representa aproximadamente el 80%, el 19 % son aguas subterráneas y el 1% se encuentra en la superficie, encontrándose principalmente en lagos y humedales. El agua es la fuente y sustento de la vida gracias a sus propiedades únicas, es un solvente extraordinario, está involucrada en muchos procesos metabólicos, tiene gran capacidad calorífica, etc. (Fernández Cirelli, 2012).

1.1.1 Importancia del Agua.

El agua además de solventar las necesidades humanas básicas, contribuye al desenvolvimiento económico de cualquier región en el planeta, ya que se emplea para innumerables actividades agrícolas, industriales, transporte, generación de energía, etc.

La constitución del Ecuador de 2008 en su artículo 12 establece “El derecho al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescindible, inembargable y esencial para la vida”. Así mismo en el artículo 411 establece “El estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda la actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua”. Mediante estos artículos el estado ecuatoriano garantiza el derecho fundamental al agua, su respectiva regulación de uso y control de calidad para todas las actividades que la involucren mediante sus propias instituciones y autoridades (Anón 2008).

1.1.2 El Agua Para la Generación Eléctrica.

Las presas se pueden definir como una barrera edificada con cualquier material, como piedra, tierra, hormigón o materiales sueltos que se levanta en una zona geológica favorable, bloqueando total o parcialmente el cauce de un río y produciendo una elevación del nivel del agua, a esta elevación, se la conoce como embalse, estos almacenan una determinada cantidad de agua, misma que además de ser sustento para las centrales hidroeléctricas también son herramientas para manejar los recursos hídricos de la zona, por ejemplo, son útiles para regular el caudal de los ríos, almacenando el agua durante las épocas de lluvia, evitando inundaciones y dando sustento en las temporadas de estiaje, mejoran el

abastecimiento de agua potable para la población, reservas de líquido para actividades agrícolas, etc. (Sandoval Erazo 2018).

1.2 Proyecto Paute Integral, Represa Mazar y Embalse

EL Proyecto Hidroeléctrico Paute Integral, se encuentra ubicado al sureste del país entre las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago y está conformado por las centrales Mazar, Molino, Sopladora y Cardenillo, mismas que están ubicadas de manera estratégica en forma de cascada para optimizar el aprovechamiento del agua de la cuenca del río Paute (Carrillo Alvarado y Urigilés Calle 2016).

El proyecto hidroeléctrico Mazar inició su operación en el año 2010 y representa el primer aprovechamiento de agua para el Proyecto Paute Integral. Está constituido por una presa de enrocado con pantalla de hormigón que forma el embalse, cuya cola llega hasta el sector Chicti entre los límites de los cantones Paute y Guachapala, tiene una extensión de 31 Km y cuenta con una capacidad de 410 millones de metros cúbicos de agua, la casa de máquinas se encuentra ubicada en una caverna subterránea y cuenta con dos turbinas de generación de 85 MW tipo Francis. Este embalse es de gran importancia ya que permite una mayor regulación del caudal del río Paute, además sirve de primera retención o filtro de los sedimentos transportados por el río, ampliando con ello la vida útil de todo el Proyecto Paute Integral (CELEC EP 2021).

En la **figura 1** se puede visualizar el Proyecto Paute Integral, como se encuentran distribuidas las centrales y algunas características técnicas de cada una.



Figura 1: Proyecto Paute Integral.

Fuente: HIDROPAUTE, Complejo Hidroeléctrico Paute Integral (2017).

1.3 Índice De Calidad De Agua.

El Water Quality Index (WQI) o en español Índice de Calidad del Agua (ICA) fue desarrollado en 1970 por la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (NSF) y tiene como propósito simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua, su particularidad radica en ser un estándar ampliamente utilizado en estudios ambientales ya que da una valoración entre 0 y 1 basado en la evaluación de las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de un cuerpo de agua.

1.3.1 Índice de Calidad de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF).

El índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF), abarcaba 35 parámetros de contaminación, de las cuales tras discusiones y análisis de parte de expertos en la materia se han determinado nueve como las de mayor importancia:

- Oxígeno Disuelto (OD en % de Saturación).
- Coliformes Fecales (NMP/100 ml).
- pH (Unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO en mg/L)
- Nitratos (en mg/L).
- Fosfatos (en mg/L)
- Desviación de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en NTU)
- Sólidos Disueltos Totales en (mg/L).

Cada variable representa un sub índice al cual se le ha asignado un peso de importancia. Para calcular el índice de calidad de agua, se emplea una suma lineal ponderada de los subíndices, obteniendo así un número que varía entre 0 y 100, donde 0 representa un nivel de calidad de agua muy pobre y 100 representa la calidad de agua excelente (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales De El Salvador 2007).

Ecuación 1:
$$WQI(INSF) = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

Dónde:

WQI: Índice de calidad del agua.

SI_i : Subíndice del Parámetro i.

W_i : Factor de Ponderación para el subíndice i.

El resultado se interpreta de acuerdo a la escala de clasificación, dependiendo del valor resultante del índice calculado, este deberá encajar en alguno de los 5 rangos disponibles además de dar un indicador colorimétrico en la que un color corresponde a cada rango.

Excelente: 91-100
Buena: 71-90
Media: 51-70
Mala: 26-50
Muy Mala: 0-25

Figura 2: Escala WQINSF

Fuente: (Fernández Parada & Solano Ortega, 2005)

1.3.2 Índice de Calidad De Montoya.

Este índice fue utilizado como una herramienta de indicación en el estudio sobre las aguas superficiales del estado de Jalisco, que planteo establecer una caracterización y un diagnostico general sobre la situación ecológica y ambiental que guardan los diversos sistemas acuáticos del estado de Jalisco.

El grado de contaminación del agua es medido en términos del índice, definido como el grado de contaminación existente en el agua de la muestra, expresado como un porcentaje de agua pura. Así, el agua totalmente contaminada tendrá un índice de calidad cercano o igual a 0 y aguas de excelentes condiciones de 100.

El índice de calidad de agua está constituido por 18 variables clasificados dentro de cuatro categorías:

- Cantidad de materia orgánica, determinadas por el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (OD) y la demanda bioquímica de oxígeno (BDO).
- Materia Bacteriológica Presente, determinada por coliformes totales (COT) y coliformes fecales (COF).
- Características Físicas, determinadas por el color (COL) y la Turbiedad (TUR).
- La Materia Orgánica, determinada por la alcalinidad (ALC), dureza (DUR), Cloruros (CLO), concentración de iones Hidrogeno (pH), grasas y aceites (G y A), solidos suspendidos (SST), Solidos Disueltos (SDT), Nutrientes: Nitratos, Nitrógeno Amoniacal Fosfatos y detergentes (Caho-Rodríguez y López-Barrera 2017).

1.3.3 Índice de Calidad De León.

Este índice nace de la iniciativa del Instituto Mexicano del Agua y representa un indicador de calidad del agua, basándose en los índices de calidad de Montoya y de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos, principalmente agrupa los diversos contaminantes más representativos dentro de un contexto más general y unificado. El índice de León, contempla un total de 15 parámetros, cada uno con su respectiva ponderación, el resultado del índice arroja un valor de entre 0 y 100, a partir del cual se permite establecer el nivel de contaminación del agua en función del uso que se le va a dar a la misma.

El cálculo del índice se realiza de manera muy similar al índice de la Fundación Nacional De Saneamiento, mediante la ecuación 1:

Ecuación 2:
$$ICA(León) = \prod_{i=1}^n [Q_i^{W_i}]$$

Dónde: W_i son los pesos específicos de cada parámetro (i) y Q_i es la calidad del parámetro en función de su concentración y cuya calificación varía entre 0 y 100, $\prod$ representa la operación multiplicativa de las variables Q elevadas a la W .

Tabla 1: Variables del Índice De León.

Variable (Símbolo; Unidades)	Valor de W
Oxígeno Disuelto (OD % Sat)	0,103
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO mg/L)	0,096
Demanda Química de Oxígeno (DQO mg/L)	0,053
Grado de Acidez / Alcalinidad (pH)	0,063
Sólidos Disueltos (mg/L)	0,033
Coliformes Totales (NMP/100ml)	0,083
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	0,143
Nitratos (NO_3^- mg/L)	0,053
Amonio (NH_4^+ mg/L)	0,043
Fosfatos (PO_4^{3-} mg/L)	0,073
Fenoles (μ /L)	0,033
Diferencia de Temperatura (DT °C)	0,043
Alcalinidad como $CaCO_3$ (AlcT mg/L)	0,055
Dureza como $CaCO_3$ (DurT mg/L)	0,058
Cloruros (Clor mg/L)	0,068

Fuente: (Fernández Parada & Solano Ortega, 2005)

Interpretación de la escala: Asociado al ICA se definen 6 rangos de calidad del agua:

- Excelente: E
- Aceptable: A
- Levemente Contaminada: LC
- Contaminada: C
- Fuertemente contaminada: FC
- Excesivamente Contaminada: EC

En función de la clasificación anterior y dependiendo del uso que se le vaya a dar al agua, el índice de León establece criterios para expresar el resultado.

Tabla 2: Clasificación del Índice en función del uso del agua

Uso como Agua Potable:	
90-100	Excelente, No requiere purificación para su consumo.
80-90	Aceptable, Purificación menor requerida.
70-80	Levemente Contaminada, Dudoso consumo sin purificación.
50-70	Contaminada, Tratamiento de potabilización necesario.
40-50	Fuertemente Contaminada, Dudosa para consumo.
0-40	Excesivamente Contaminada, Inaceptable para consumo.
Uso en Agricultura:	
90-100	Excelente, No requiere purificación para riego.
70-90	Aceptable, Purificación menor para cultivos que requieran alta calidad de agua.
50-70	Levemente Contaminada, Utilizable en la mayoría de cultivos.
30-50	Contaminada, Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos.
20-30	Fuertemente Contaminada, Uso solo para cultivos muy resistentes.
0-20	Excesivamente Contaminada, Inaceptable para riego.
Uso en Pesca y vida acuática:	
70-100	Excelente, Pesca y vida acuática abundante.
60-70	Aceptable, Límite para peces muy sensibles.
50-60	Levemente Contaminada, Pesca dudosa sin riesgos para la salud.
40-50	Contaminada, Vida acuática limitada a especies muy resistentes.
30-40	Fuertemente Contaminada, Inaceptable para actividad pesquera.
0-30	Excesivamente Contaminada, Inaceptable para la vida acuática.
Uso Industrial:	
90-100	Excelente, No requiere purificación.
70-90	Aceptable, Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para su operación.
50-70	Levemente Contaminada, No requiere tratamiento para la mayoría de industrias en operación.
30-50	Contaminada, Tratamiento necesario para la mayoría de usos.
20-30	Fuertemente Contaminada, Uso restringido.
0-20	Excesivamente Contaminada, Inaceptable para cualquier industria.

Uso Recreativo:

70-100	Excelente, Cualquier tipo de deporte acuático.
50-70	Aceptable, Restricción para deportes de inmersión, precaución de ingesta, dada la posibilidad de presencia de bacterias.
40-50	Levemente Contaminada, Dudosa para el contacto con el agua.
30-40	Contaminada, Evitar contacto, solo lanchas.
20-30	Fuertemente Contaminada, Contaminación visible, evitar cercanía.
0-20	Excesivamente Contaminada, Inaceptable para la recreación.

Fuente: (Fernández Parada & Solano Ortega, 2005)

1.4 Parámetros De Calidad Del Agua.

El agua a lo largo de su ciclo y más específicamente en su recorrido a lo largo de la naturaleza, tiene contacto con diversas sustancias e incluso es transporte de las mismas, por tal motivo se han fijado límites a sus concentraciones, incluso sin tener contacto con el ser humano pueden existir variaciones que resulten significativas atribuidas a procesos geológicos, biológicos e hidrológicos como desgase superficial de rocas, lavado de suelos, etc. Si a esto también se añade los procesos de origen humano sea de manera directa o indirecta, es aún más relevante el análisis de cada uno de los parámetros que se han especificado en los índices de calidad previamente (León Carrasco 2014).

A continuación, se exponen los principales factores clave a nivel físico, químico y biológico que se emplean como indicadores de calidad del agua, estos se consideran básicos ya que definen las características de un agua no contaminada, así como el efecto que resulta de su variación en fuentes de agua superficiales.

1.4.1 Parámetros Físicos

Turbidez.

La turbidez representa la medida de las partículas sólidas en suspensión que se encuentran en el agua, pueden ser resultado de arcillas, limos, minerales y microorganismos que tienen un tamaño desde 10 nm a 0.1 mm de diámetro. Se mide en unidades nefelométricas (NTU) (Medina Chávez 2018).

Cuando existen altos niveles de turbidez, esto representa una disminución de la diversidad de organismos acuáticos, es motivo de elevación en la temperatura del agua ya que las partículas absorben calor de la luz del sol, causando también pérdida de los niveles de oxígeno, evita el ingreso de la luz al fondo del cuerpo de agua, disminuyendo la fotosíntesis de las plantas que pueden encontrarse ahí (León Carrasco 2014).

Cambio de Temperatura (°C)

Los cambios de temperatura en los cuerpos hídricos pueden presentar diferentes valores, que dependerán del clima de la zona, altitud, hora del día, profundidad del cuerpo de agua, etc. Este parámetro es de gran importancia para todo el entorno y la vida, un aumento de la temperatura producirá una disminución en la cantidad de oxígeno presente en el agua, generará un incremento en la cantidad de bacterias e incremento del crecimiento de algas, además al incrementar la temperatura, también disminuye la solubilidad de los gases como oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno, entre otros. Este parámetro es un indicativo de contaminación por descarga de aguas residuales o aguas industriales que se descargan directamente a temperaturas elevadas (León Carrasco 2014).

1.4.2 Parámetros Químicos.

Alcalinidad

Es una medida de los compuestos básicos que se encuentran en el agua, regularmente son hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de calcio, sodio, potasio y magnesio, cada uno forma un compuesto específico, pero para su análisis se valora su sumatoria como alcalinidad total, este parámetro debe encontrarse en un punto intermedio de concentración, puesto que si es muy bajo, el agua pierde su capacidad amortiguadora, volviendo el agua muy “corrosiva” y generando variaciones bruscas del pH, de igual manera concentraciones muy elevadas producen depósitos salinos en los suelos (Díaz et al. 2018).

Cloruros

Los cloruros son compuestos constituidos por uno o varios átomos de cloro, en la naturaleza los más habituales son el cloruro sódico, el cloruro potásico y el cloruro cálcico. El ion cloruro es uno de los que se presenta con mayor frecuencia en aguas naturales y residuales, este ion ingresa al agua en forma natural mediante el lavado que las aguas lluvias realizan sobre el suelo. Un alto contenido de cloruros puede afectar directamente a estructuras metálicas y evitar el crecimiento de las plantas, cuando el agua con una elevada concentración de estos compuestos se emplea para riego de campos agrícolas, producen un deterioro importante de la calidad del suelo (Análisis de Agua - Determinación De Cloruros Totales En Aguas Naturales y Residuales, 2001).

Dureza

El agua dura es aquella que contiene una elevada concentración de minerales y variedad de compuestos, principalmente de calcio y magnesio en forma de sales disueltas, la dureza puede ser temporal o permanente, en el caso de la primera, está relacionada a carbonatos, los cuales pueden ser eliminados por ebullición, la dureza permanente es usualmente causada por presencia de sulfatos de calcio y magnesio o cloruros en el agua. En concentraciones normales no representa ningún riesgo para el ambiente o para el ser humano, pero cuando es excesiva, puede generar un riesgo para la vida acuática, en sistemas de riego o aplicaciones industriales puede generar incrustaciones en ductos y tuberías, el consumo de agua de una dureza elevada se relaciona con problemas de cálculos renales y problemas cardiacos, también a nivel agrícola, el empleo de una agua dura puede disminuir el efecto y velocidad de reacción de compuestos fitosanitarios (Rodríguez Zamora, 2008).

Fosfatos

Son compuestos formados por fósforo y oxígeno, el más pequeño es el anión simple PO_4^{-3} o ion ortofosfato. La mayor parte del fósforo utilizado a nivel comercial viene en forma de fosfatos y la mayor parte de los fertilizantes son sales de ácido orto fosfórico muy impuras. Son necesarios para el crecimiento de las plantas y animales, pero cuando llegan a cuerpos de agua estos compuestos pueden llegar a expandirse a largas distancias y al exceder las concentraciones naturales, el ciclo del fósforo es interrumpido fuertemente provocando crecimiento de organismos dependientes del fósforo (León Carrasco 2014).

Nitratos

La combinación de nitrógeno y oxígeno da como resultado los nitratos, más específicamente son compuestos inorgánicos formados por una molécula de nitrógeno y tres de oxígeno, representa un peligro para la salud ya que está asociado al padecimiento de diversos tipos de cáncer al tracto digestivo o linfomas (Borbolla Sala y Garrido Pérez 2003).

Los nitratos también pueden ser considerado un nutriente para organismos autótrofos, por esta razón se relaciona la eutrofización de lagos o embalses con una alta concentración de dichos compuestos, principalmente provienen del escurrimiento de tierras agrícolas, aguas negras, detergentes. Las reacciones de nitratos en el agua pueden agotar el oxígeno y en consecuencia poner en riesgo a los organismos acuáticos (León Carrasco 2014).

Oxígeno Disuelto

Está formado por la mezcla de aire atmosférico que es capaz de absorber el cuerpo de agua y la fotosíntesis de las plantas en el mismo, el porcentaje de saturación se encuentra en función de la calidad del agua y la temperatura, es la cantidad de oxígeno disuelto en la muestra de agua, comparada con el valor máximo que pudiese estar presente a la misma temperatura. El oxígeno es indispensable para la vida acuática, cuando la medida desciende de 5 mg/L es imposible garantizar la misma, este parámetro se ve afectado por la contaminación con materia orgánica, cuando existe una elevada concentración de ella el agua no puede depurarse, alterando incluso la química del agua por completo (Posada et al. 2013).

pH

También conocido como potencial de hidrógeno, es la medida de iones H^+ y OH^- presentes en el agua. Se mide en escala de 0 a 14, siendo el valor de 7 la neutralidad, en aguas con valores inferiores a 7 se conocen como aguas ácidas y favorecen la corrosión de sustancias metálicas, para valores mayores de 7 son aguas básicas y pueden dar lugar a incrustaciones (Quintuña Tene y Samaniego Gomezcoello 2016).

El pH está controlado por el balance entre el dióxido de carbono, carbonato y bicarbonatos. Estos iones están presentes de manera natural, las variaciones del mismo pueden ser causadas por la fotosíntesis, ciclos respiratorios de algas y aguas eutróficas. El rango de pH que permite la vida de los peces se encuentra entre 5 a 9 y en ello radica la importancia de su control (León Carrasco 2014).

Sólidos Disueltos Totales

Los sólidos disueltos totales representan una medida de la materia en una muestra de agua, se consideran a todas las partículas menores a 2 micrones y no son removibles mediante el uso de un filtro tradicional, básicamente es la suma de todos los minerales, sales y metales que se encuentran disueltos en el agua. Una elevada cantidad de sólidos disueltos genera que el agua tenga aspecto turbio, además de un sabor amargo, salado o metálico, también bloquean el paso de la luz en el cuerpo de agua, afectando con ello la vida acuática (Sigler y Bauder 2017).

1.4.3 Parámetros Microbiológicos

Coliformes Totales

Las bacterias coliformes son un grupo extenso de bacterias que se encuentran en el medio ambiente, son comunes en el suelo de las aguas superficiales y en el tracto digestivo de los animales, son indicadores de contaminación y aunque no todas son dañinas para el ser humano, su presencia, es indicador del potencial bacteriológico del agua (Swistock 2020).

Coliformes Fecales

Son un subgrupo de los coliformes que permite detectar la existencia de heces en el agua, en concentraciones muy diluidas. Son microorganismos relacionados directamente con vertidos fecales, provenientes de explotaciones ganaderas, agrícolas y de las zonas urbanas. En medios acuáticos, son un indicador directo de contaminación y el consumo de agua no es seguro ya que son fuente de enfermedades como fiebre tifoidea, gastroenteritis viral, etc (Silva et al. 2004).

1.5 Normativa de calidad de agua.

El texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente (TULSMA) en el anexo 1 del libro VI: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, en el apartado 4.1.2 establece los límites permisibles y criterios de calidad de agua para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o calidad y en aguas marinas y de estuarios.

Tabla 3: Criterios de Calidad del Aguas Superficiales (TULSMA).

Parámetro	Expresado como	Unidades	Límite Permissible en aguas dulces y de estuario
Alcalinidad	$CaCO_3$	mg/L	>20
Dureza	$CaCO_3$	Mg/L	60
Oxígeno Disuelto	O.D.	% Sat o mg/L	No menor al 80 % o a 6 mg/L
Potencial De Hidrogeno	pH	-	6,5 – 9
Temperatura	°C	°C	Condición Natural +- 3°C
Nitratos	NO_3	mg/L	13,0
Cloruros	Cl	mg/L	0,01
Fosfatos	PO_4	mg/L	1
Solidos Disueltos Totales	TDS	mg/L	500
Turbidez		NTU	50
Coliformes Totales		NMP /100ml	1000
Coliformes Fecales		NMP /100ml	400

Fuente: (Ministerio del Ambiente del Ecuador 2017)

1.6 Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis

Es una prueba análoga a la prueba de ANOVA que sirve para corroborar si un grupo de datos pertenece o no a una misma población o conjunto de datos, al ser una prueba no paramétrica, se basa en el rango en el cual se verifica la existencia de diferencias relevantes a nivel estadístico en 2 o más grupos de una variable independiente dentro de una dependiente que es continua.

La prueba, realiza una comparación entre las medianas de 2 o más grupos, de forma estadística, sus hipótesis son H_0 , las muestras provienen de poblaciones idénticas y H_1 , las muestras provienen de poblaciones diferentes (Federación Científica Europea de Osteópatas, 2019).

Capítulo II

2. Materiales y Métodos

2.1 Descripción del área de Estudio

El Proyecto Hidroeléctrico Paute Integral forma parte de la red interconectada de energía del Ecuador, se ubica al sureste del país entre las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago. Está conformado por las centrales Mazar, Molino, Sopladora y Cardenillo, mismas que están ubicadas de manera estratégica en forma de cascada para optimizar el aprovechamiento del agua de la cuenca del río Paute (Carrillo Alvarado y Urgilés Calle 2016).

El proyecto emplea el agua de la cuenca del río Paute, la cual abarca una superficie aproximada de 6439 Km^2 . La topografía de la cuenca es montañosa e irregular, la temperatura promedio de la zona oscila los 20°C , una humedad relativa del 90% y una precipitación promedio anual de 2000 mm. El principal uso del suelo de la zona se destina a pastizales, cultivos principalmente de maíz, fréjol, tomate de árbol, tanto para consumo propio como para comercialización, en la parte occidental también existen plantaciones florícolas con fines de exportación. Las principales fuentes de ingreso para los moradores de la zona son la agricultura de los productos antes mencionados y la ganadería (Cedillo Galarza & Jara Cárdenas, 2015).

2.1.1 Embalse Mazar

El embalse Mazar es parte del proyecto hidroeléctrico Mazar, representa el primer aprovechamiento de agua para el Proyecto Paute Integral. Está constituido por una presa de enrocado con pantalla de hormigón que forma el embalse, cuya cola llega hasta el sector Chicti entre los límites de los cantones Paute y Guachapala, lugar en donde convergen los ríos Mazar, Paute y Collay. Este embalse ayuda a la regulación de caudal para todo el complejo Paute Integral, retiene los sedimentos y basura provenientes del arrastre de los ríos antes mencionados, en la **tabla 4** se indican las características generales del embalse (Alvarado 2013).

Tabla 4: Características Embalse Mazar

Características	Unidad	
Tiempo de Operación	13	Años
Longitud	31	Km

Profundidad Máxima	99	m
Caudal Medio Mensual	83,48	m^3/s
Volumen Total	410	Hm^3

Fuente: (CELEC EP 2021)



Figura 3: Embalse Mazar

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4: Imagen satelital de la ubicación del embalse y central Mazar.

Fuente: Elaboración Propia.

La zona de interés para el estudio se centra en el cauce del río Paute, entre las comunidades de Sacre y Chaullayacu, pertenecientes al cantón Guachapala, la zona se consideró relevante ya que en ella se produce la acumulación de residuos, madera, etc. Estos contaminantes son arrastrados por el caudal del río, aquí se establecieron los puntos de muestreo y un punto al inicio del embalse, todos ellos en el seno del embalse Mazar.

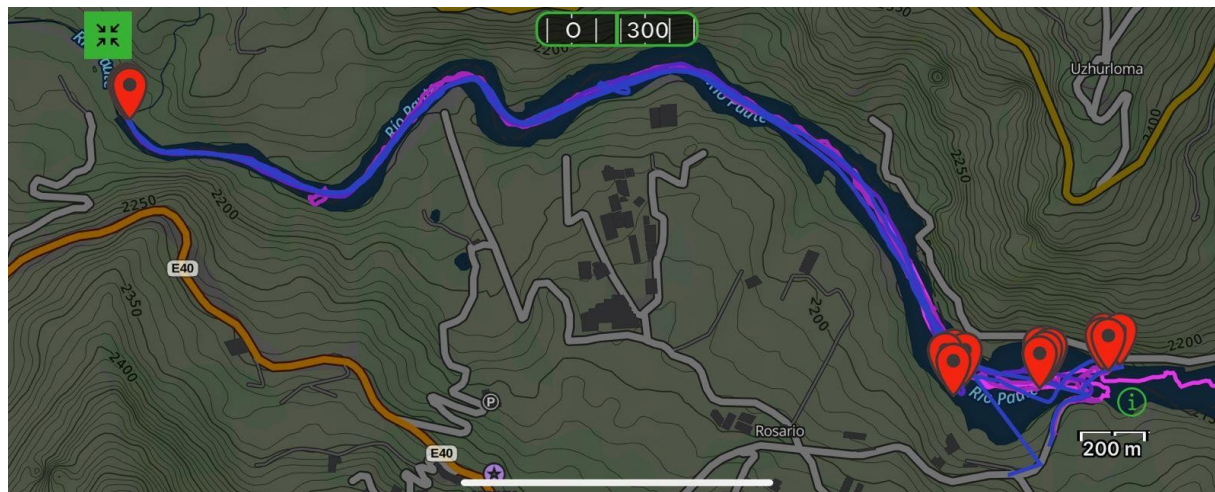


Figura 5: Mapa topográfico de puntos de muestreo.

Fuente: Elaboración Propia.

2.2 Descripción de la Metodología.

- **Parte experimental.**

Para determinar el proceso experimental se definieron los puntos de muestreo en el embalse a la altura de las comunidades de Sacre y Chaullayacu, pertenecientes al cantón Guachapala y un punto de comparación en la desembocadura del río Ancay, mismo que está ubicado al inicio del embalsamiento de agua; en estos puntos se tomaron las muestras de agua para los respectivos análisis en función de los parámetros de calidad de agua, se midieron tres parámetros “IN-SITU”, pH, Temperatura y Oxígeno Disuelto.

Para el manejo de datos se desarrolló una matriz en Excel, en donde se registraron los valores resultantes de los parámetros establecidos para el WQINSF e ICA de León, se comparan los parámetros con la normativa provista por el TULSMA, de igual manera se empleó el programa estadístico SPSS para realizar la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, con el fin de determinar si existen diferencias significativas entre los sitios y fechas de muestreo para cada

parámetro. Finalmente se empleó el software ICATEST para evaluar los índices de calidad de agua, en base a los parámetros establecidos previamente.

2.2.1 Recolección de muestras de agua.

1.1.1 Planificación del Muestreo.

Dentro de la planificación del muestreo se consideraron 5 visitas de campo, durante 5 semanas hacia la zona designada entre las comunidades de Sacre y Chaullayacu pertenecientes al cantón Guachapala, provincia del Azuay. En este lugar se encuentra acumulaciones de basura, residuos agrícolas, aguas salientes de concesiones mineras, aguas residuales, etc. mismas que llegan al cauce del Rio Paute, motivo por el cual se considera una zona de alta contaminación y representativa para el respectivo análisis de la calidad de agua del embalse (GAD Paute 2020).

1.1.2 Determinación de los puntos de muestreo.

Se definieron los puntos ya en el embalse mediante el uso de la aplicación móvil GAIA GPS la cual proporciona una precisión de ± 3 metros, posterior a ello realizando una base de datos con las coordenadas geográficas de los puntos y la elevación en metros sobre el nivel del mar para los siguientes muestreos (**Figura 5**).

1.1.3 Determinación de los parámetros “IN-SITU”

Los parámetros como el pH, Oxígeno disuelto y temperatura son parámetros afectados por el paso del tiempo, por ello resulta necesario realizar la valoración de los mismos en campo, para ello se midió y registró dichos parámetros mediante equipos portátiles, para evaluar el oxígeno disuelto se empleó el equipo ExStick II de EXTECH Instruments, para el pH un pH-metro marca Wasser Sensor y para la temperatura un termómetro digital JR-1, las lecturas se realizaron en el cuerpo de agua y mediante recipientes colectores de muestras (**Figura 6**).



Figura 6: Determinación de los parámetros "IN-SITU"

Fuente: Elaboración Propia.

1.1.4 Recolección de muestras de agua.

Se llevó a cabo cuatro muestreos en cuatro áreas distintas, tomando una muestra en cada área una vez por semana, se tomaron tres muestras entre las comunidades de Sacre y Chaullayacu y una cuarta muestra en un afluente para tomarlo como punto de inicio de embalse, esto empleando la metodología de muestreo y conservación de muestras para calidad del agua propuesta por la Norma Técnica Ecuatoriana **NTE INEN 2169-2013** y **NTE INEN ISO 5667-2022**, mismas que indican lo siguiente:

- Emplear un cooler/hielera térmica para mantener las muestras a temperatura de 4°C durante el muestreo y transporte, para conservar las muestras.
- Emplear frascos blancos de PE, PVC o PP, previamente lavados sin usar ácidos y con agua destilada o des ionizada.
- Durante la recolección de muestra, primero enjuagar los envases 3 veces con agua del punto de muestreo, después se los sumergirlos boca abajo a una profundidad de 50 cm y voltear el envase hasta que se llenen, evitando el ingreso de sedimentos o arenas y taparlos dentro del agua (**Figura 7**).
- Tomar muestras en cada punto de un litro.
- En cada envase colocar su respectiva etiqueta con la fecha, hora y coordenadas de muestreo inmediatamente después de la toma de muestra e introducirlos en el interior de la caja térmica.



Figura 7: Toma de muestras de agua.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 8: Hielera térmica con muestras.

Fuente: Elaboración Propia.

2.2.2 Determinación de parámetros en laboratorio.

2.2.2.1 Parámetros Físicos

Turbiedad

Este parámetro se midió con un equipo turbidímetro HACH 2100P, cuyo principio de funcionamiento se basa en la detección de dichas partículas mediante una fuente de luz y un detector de la misma a 90° del haz emergente, el detector localizara la luz dispersada y la transmitida, retornando el valor resultante en unidades nefelométricas de turbidez (NTU) (HACH Company 2000).

2.2.2.2 Parámetros Químicos

Alcalinidad

La Alcalinidad se determinó mediante la norma NTE INEN-ISO 9963-1. La técnica se basa en el cambio del pH al llegar al equilibrio entre los iones ácidos y básicos, con el uso de un indicador (naranja de metilo) el cual cambia de color amarillento a naranja en un pH bajo (3,3 y 4,5) (Calidad Del Agua. Determinación De La Alcalinidad. Parte 1: Determinación De La Alcalinidad Total Y Compuesta, 2014).

La alcalinidad total debe calcularse con la fórmula:

Ecuación 3:
$$\text{Alcalinidad Total} = \frac{V_{HCl} \cdot N_{HCl} \cdot k \cdot 1000 \cdot 50}{V_{muestra}}$$

El resultado obtenido es el valor de alcalinidad en $mg \text{ de } CaCO_3/L$

Cloruros

Para la determinación de cloruros se empleó el espectrofotómetro HACH DR 2800, Método N-N dietil-p-fenilendiamina (DPD). Los resultados se miden a una longitud de onda de 530 nm y se expresan en $mg \text{ Cl}_2/L$ (HACH Company 2007).

Dureza

La dureza se realizó por valoración complejo métrica como indica la norma NTE INEN 974-1: Determinación de la dureza total con titulación con EDTA. La Dureza total se expresa en $mg \text{ de } CaCO_3/L$ (Agua Potable. Determinación De La Dureza Total Por Titulación Con EDTA, 2016).

Fosfatos

Para la determinación de fosfatos se empleó el espectrofotómetro HACH DR 2800, Método de ácido ascórbico. Se usó el reactivo PhosVer 3. Los resultados se miden a 880 nm de longitud de onda y se expresan en $mg \text{ PO}_4/L$ (HACH Company 2007).

Nitratos

Para la determinación de nitratos se empleó el espectrofotómetro HACH DR 2800, Método de reducción de Cadmio. Se empleó el reactivo NitraVer 5. Los resultados se miden a una longitud de onda de 500 nm y se expresan en $mg \text{ de } NO_3/L$ (HACH Company 2007).

Sólidos Disueltos Totales

Fundamento: Para llevar a cabo la valoración de sólidos totales disueltos se empleó el equipo TDS VIVOSUN, mismo que cuenta con una celda electrolítica de aleación de titanio, y brinda una precisión de $\pm 2\%$. El equipo viene calibrado de fábrica, y fue corroborada su precisión mediante su prueba en agua destilada. El equipo marca el valor de Sólidos disueltos totales en ppm o miligramos por litro (VIVOSUN s. f.).

2.2.2.3 Parámetros Microbiológicos

Coliformes Fecales

Fundamento: Para la determinación de coliformes fecales se realizó el análisis basado en la confirmación de E. Coli en los tubos positivos del análisis de Coliformes Totales añadiendo al tubo positivo dos gotas de Reactivo de Ehrlich (Formación de anillo rojizo en la superficie de la solución, dando positivo) también como segundo método de confirmación se realizó incubación de microorganismos en medio de cultivo verde brillante Lactosa Bilis por un periodo de 24 horas a temperatura de 37 °C.

Los tubos positivos indican la presencia de E. Coli en el medio y los resultados se registran en NMP/ml. En la tabla del anexo se puede verificar la comparación de tubos positivos para determinar el NMP/mL (Rodier, Legube, y Merlet 2009).

Coliformes Totales

Fundamento: La determinación de coliformes totales se realizó mediante diagnóstico de incubación a temperatura de 37 °C en caldo de Lauril Triptosa por un periodo de 24 horas, si dichos tubos presentaran turbiedad, espuma o gas en la solución se tomaron como positivos.

La técnica empleada es la de tres tubos, haciendo uso de las tablas que presentan códigos de tubos positivos, misma que expresa los resultados en Número más probable por mililitro de solución (NMP/ml) (Rodier et al. 2009).

Capítulo III

3. Resultados y discusión.

En esta sección se reportan los resultados de los análisis llevados a cabo para cada punto de muestreo y el resultado del índice de calidad obtenido con el programa ICATEST, además de ello también se reportan los resultados de los análisis estadísticos de Kruskal Wallis y la comparación de los parámetros con la normativa vigente en el Ecuador. Todos los datos y su respectivo análisis se presentan para cada punto de forma individual tanto para los parámetros individualmente como para el índice de calidad de agua.

3.1 Sitios de Muestreo Seleccionados.

Para llevar a cabo la selección de puntos de muestreo, se tomó en consideración la norma **NTE INEN ISO 5667-2022**, basados en ella se realizó un muestreo de tipo simple, que sea representativo para toda área de estudio, empleando una toma de muestras manual en puntos específicos, y siguiendo los lineamientos establecidos en el apartado 1.1.4 de este documento. La descripción de cada uno de los puntos seleccionados y la localización por coordenadas geográficas se detalla a continuación.

1.1.5 Punto 1: Orilla Sureste.

El punto 1 denominado Orilla Sureste, se encuentra al lado de la parroquia de Tomebamba, misma que pertenece al cantón Paute y en el sur-este del embalse de Mazar, este punto de muestreo se toma de referencia frente al sector de Sacre (lugar del punto 3), el lugar presenta una pendiente de inclinación muy pronunciada. En el mismo se encuentran invernaderos para la producción de tomate y cría de ganado bovino. Las coordenadas de muestreo se observan en la tabla a continuación.

Tabla 5: Punto 1: Orilla Sureste

Fecha	Coordenadas	Altitud
11/06/2023	-2,76448 ; -78,70125	2142 msnm
18/06/2023	-2,76449 ; -78,70111	2146 msnm
25/06/2023	-2,76435 ; -78,70122	2149 msnm
02/07/2023	-2,76436 ; -78,70081	2150 msnm
*msnm : Metros Sobre el Nivel Del Mar		

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 9: Punto 1: Orilla Sureste

Fuente: Elaboración Propia.

1.1.6 Punto 2: Centro o Punto Medio.

El punto 2 denominado Centro o Punto Medio se sitúa como su nombre lo indica en la parte central del embalse entre los puntos 1 (Orilla Sureste) y 3 (Orilla Suroeste) al mismo se accedió mediante el uso de un bote desde el cual se tomaron las muestras y sus coordenadas se detallan en la tabla a continuación.

Tabla 6: Punto 2: Centro o Punto Medio

Fecha	Coordenadas	Altitud
11/06/2023	-2,76493 ; -78,70281	2142 msnm
18/06/2023	-2,76472 ; -78,70255	2146 msnm
25/06/2023	-2,76468 ; -78,70279	2149 msnm
02/07/2023	-2,76480 ; -78,70267	2150 msnm
*msnm : Metros Sobre el Nivel Del Mar		

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 10: Punto 2: Centro o Punto Medio

Fuente: Elaboración Propia.

1.1.7 Punto 3: Orilla Suroeste.

El punto 3 denominado Orilla Suroeste se encuentra en el lado del sector de Sacre, mismo que pertenece al cantón Guachapala y se sitúa al sur-oeste del embalse de Mazar, de este lado del embalse los habitantes se dedican a actividades agrícolas y ganaderas en general, además de la empresa encargada de realizar la limpieza del embalse, esto permitido gracias a que la inclinación es menor en dicha orilla. Las coordenadas de muestreo se indican en la tabla a continuación.

Tabla 7: Punto 3: Orilla Suroeste

Fecha	Coordenadas	Altitud
11/06/2023	-2,76484 ; -78,70513	2143 msnm
18/06/2023	-2,76475 ; -78,70492	2147 msnm
25/06/2023	-2,76483 ; -78,70465	2150 msnm
02/07/2023	-2,76510 ; -78,70493	2151 msnm
*msnm : Metros Sobre el Nivel Del Mar		

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 11: Punto 3: Orilla Suroeste.

Fuente: Elaboración Propia.

1.1.8 Punto 4: Punto de Inicio de Embalse.

El punto 4 denominado Punto de Inicio de Embalse, se encuentra en el inicio del embalsamiento de agua del embalse de Mazar, en el mismo también se encuentra la desembocadura del río Ancay, ubicado en el límite entre el cantón Paute y el cantón Guachapala, aproximadamente a 10 Km de distancia de los otros tres puntos de muestreo, en este lugar las pendientes de las orillas disminuyen considerablemente y se puede encontrar mayor cantidad de material pedregoso y arena. Las coordenadas correspondientes a la ubicación de este punto se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 8: Punto 4: Punto de Inicio de Embalse.

Fecha	Coordenadas	Altitud
11/06/2023	-2,75824 ; - 78,72542	2144 msnm
18/06/2023	-2,75819 ; -78,72536	2148 msnm
25/06/2023	-2,75828 ; -78,72536	2151 msnm
02/07/2023	-2,75829 ; -78,72530	2152 msnm
*msnm : Metros Sobre el Nivel Del Mar		

Fuente: Elaboración Propia.

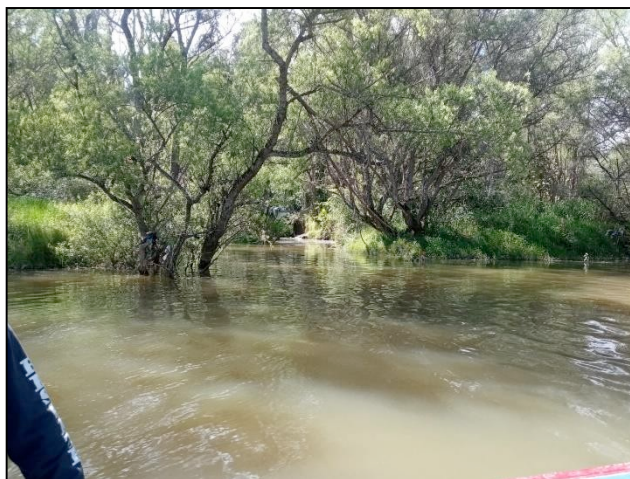


Figura 12: Punto 4: Punto de Inicio de Embalse.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2 Parámetros Determinados “in situ”

Previo a la toma de las muestras de agua en cada punto, se llevaron a cabo mediciones “in situ” de los parámetros de pH, Temperatura y Oxígeno Disuelto, como se indica en el numeral 2.2.1.3. Los datos de las mediciones realizadas se reportan en la tabla a continuación.

Tabla 9: Datos Parámetros “In Situ”

Punto de Localización	Fecha de Muestreo	Parámetros		
		pH	Temperatura	Oxígeno Disuelto
		-	°C	%
Punto 1 Orilla Sureste	11/06/23	8,02	18,3	92,70
	18/06/23	8,85	20,6	98,70
	25/06/23	7,31	22,5	89,70
	02/07/23	7,15	19,7	89,80
Punto 2 Centro o Punto Medio	11/06/23	8,08	17,8	91,20
	18/06/23	8,85	20,7	98,00
	25/06/23	7,23	22,5	79,70
	02/07/23	7,08	20,6	87,20
Punto 3 Orilla Suroeste	11/06/23	7,84	23,4	86,30
	18/06/23	8,45	20,4	97,30
	25/06/23	6,99	20,7	87,70

	02/07/23	7,13	20,2	89,80
Punto 4 o Punto de Inicio de Embalse	11/06/23	8,09	22,5	91,10
	18/06/23	8,21	20,7	98,70
	25/06/23	7,03	22,8	87,50
	02/07/23	7,09	25,8	90,70

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.1 Resultados de los parámetros "In Situ" en cada punto de muestreo.

Desde la Figura 13 a la 16 se muestran las gráficas comparativas y el análisis de los resultados de cada parámetro evaluado "In Situ" (pH, Temperatura y Oxígeno Disuelto) en cada fecha de muestreo para cada punto (Orilla Sureste, Punto Medio, Orilla Suroeste y Punto de Inicio de Embalse).

En la figura 13 se muestran los resultados comparativos de los parámetros en el punto 1, Orilla Sureste. Con los resultados podemos concluir que los parámetros medidos, no representan mayor diferencia entre sí a excepción del pH y el oxígeno disuelto en la semana 2, estos parámetros que tienen una ligera elevación en comparación al valor medido en los demás muestreos, pero que se puede explicar esta anomalía debido a que en la fecha hubo incidencia de lluvia en la zona, misma que arrastra sales minerales de los terrenos aledaños y por ello el incremento del valor de pH además el agua estuvo más corrientosa, lo cual explica el incremento del % de saturación de oxígeno disuelto.

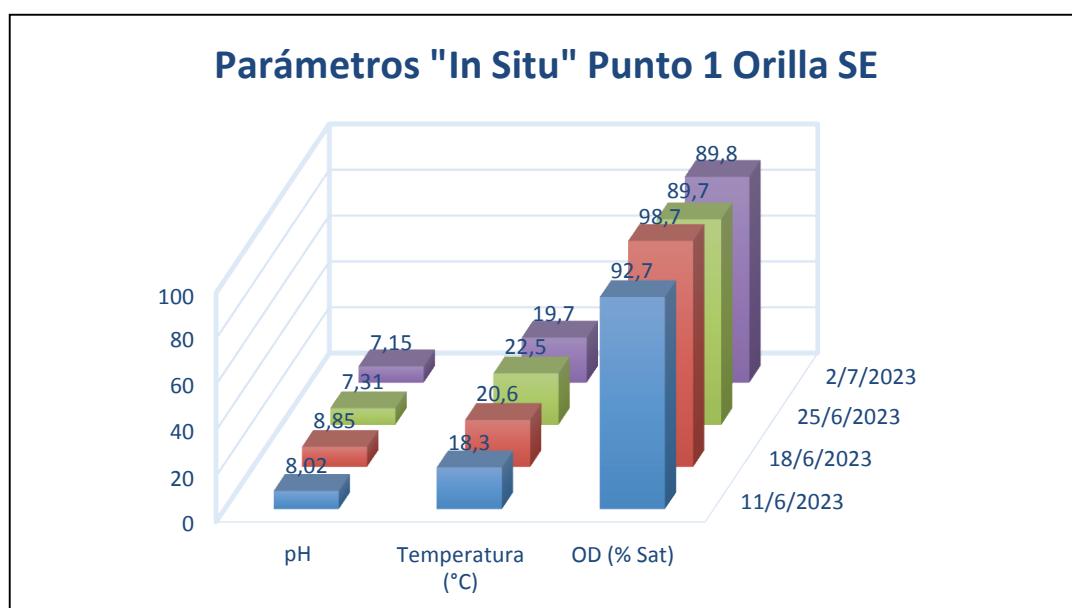


Figura 13: Parámetros medidos "In Situ" del Punto 1 Orilla Sureste.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 14 se muestran los resultados comparativos de los parámetros en el punto 2 o Centro/Punto Medio. Los resultados permiten concluir que los parámetros medidos, no tienen variaciones en temperatura, pero el pH sí presenta una variación en la segunda semana y el oxígeno disuelto en la semana 2 registra un incremento, esto se puede adjudicar a las lluvias que se presentaron en la zona dicha semana, pero también en la semana 3 se registra una disminución muy fuerte del % de saturación de oxígeno. Según el folleto Informativo 3.1.1.0 de la Junta Estatal de los Recursos Hídricos de California, la disminución del oxígeno disuelto en el agua de manera rápida, se atribuye a un aumento de la concentración de desechos tanto humanos como animales y a su vez al aumento de minerales en el agua (California State Water Resources Control Board 2021).

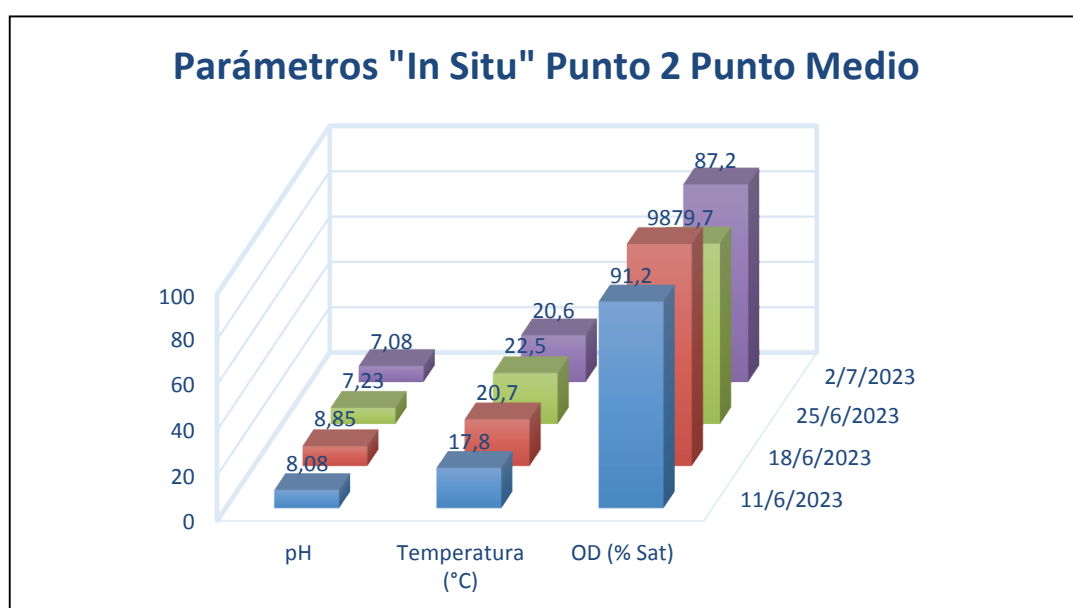


Figura 14: Parámetros medidos "In Situ" del Centro o Punto Medio.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 15 se muestran los resultados comparativos de los parámetros en el punto 3, Orilla Suroeste. Los resultados reflejan que los parámetros medidos, no representan mayor diferencia entre sí a excepción del pH y el oxígeno disuelto en la semana 2, los parámetros que tienen una ligera elevación en comparación al valor medido en los demás muestreos, son atribuibles a la misma explicación que se ha detallado para los anteriores puntos.

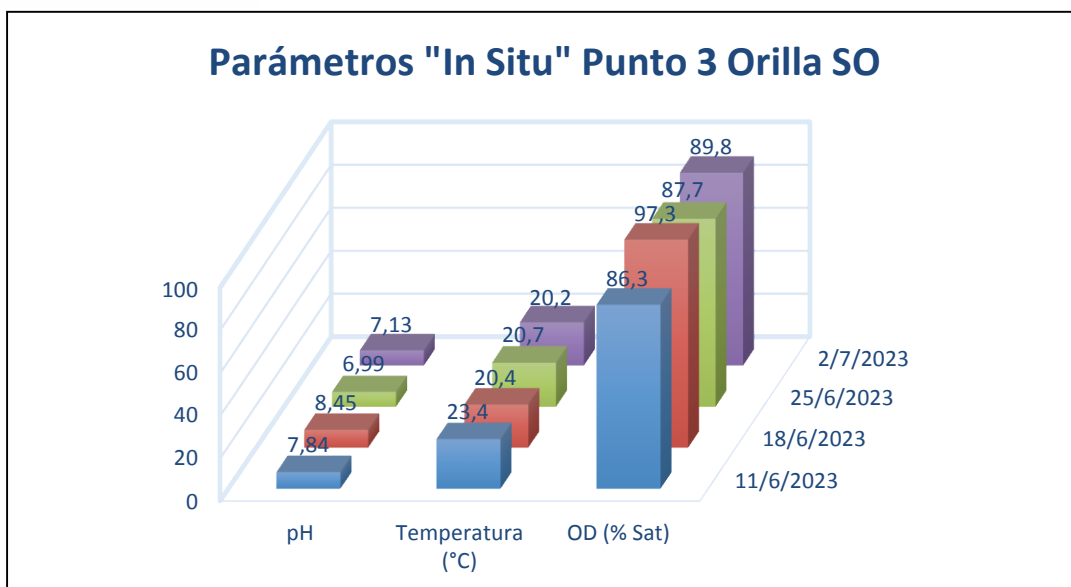


Figura 15: Parámetros medidos "In Situ" del Punto 3 Orilla Suroeste

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 16 se muestran los resultados comparativos de los parámetros en el punto 4 o Punto de Inicio de Embalse. Se concluye que los parámetros medidos, no representan mayor diferencia entre sí a excepción del pH y el oxígeno disuelto en la semana 2 al igual que en la figura 13 y que cuya explicación es la misma.

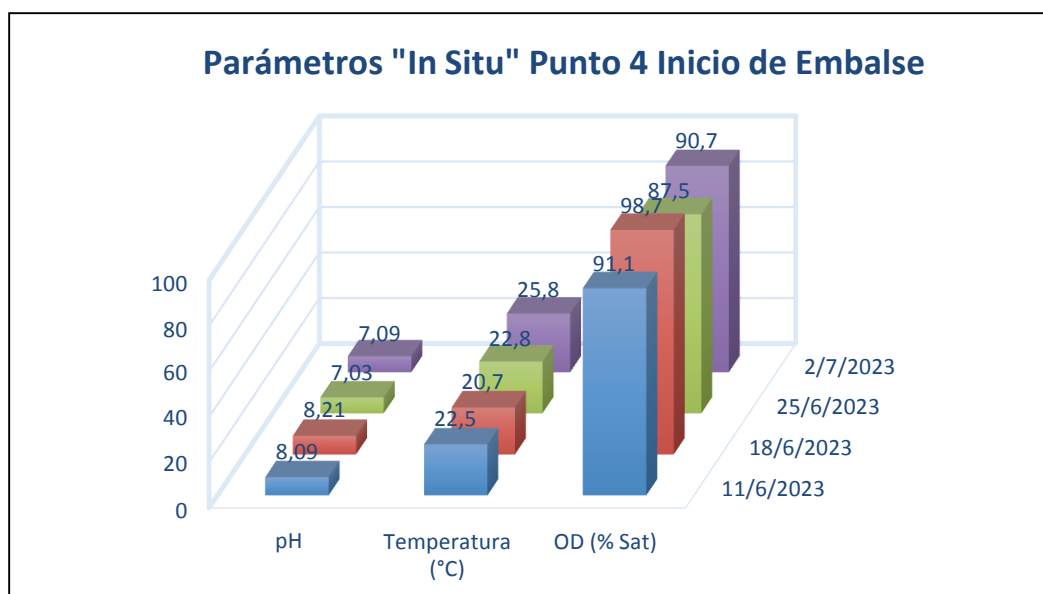


Figura 16: Parámetros medidos "In Situ" del Punto de Inicio de Embalse.

Fuente: Elaboración Propia.

1.1.9 Comparación de los parámetros determinados “In Situ” con la Normativa Nacional.

Los parámetros medidos in Situ detallados en la tabla 9 fueron comparados con los valores estipulados en la normativa nacional, para ello se empleó como referencia el Texto Unificado De Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) en su Anexo 1 del Libro VI: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes del recurso agua. Misma que puede encontrarse en la sección 1.5 de este trabajo.

Tabla 10: Valores referenciales de los parámetros medidos "In Situ"

Normativa	Parámetros		
TULSMA	pH	Temperatura	OD (% Sat)
	6,5 - 9	Condición Natural $\pm$ 3 °C (Max 32)	No menor al 80 %

Fuente: (Ministerio del Ambiente del Ecuador 2017)

Los parámetros de temperatura y pH se encuentran dentro del límite de la normativa vigente para cada medición tomada, pero en el caso del Oxígeno Disuelto, existe una medición de las 16 realizadas en las distintas fechas y puntos, que es menor al 80% de saturación (Punto Medio, semana 25/06/2023) cabe recalcar que la medición es de 79,7 % que representa una variabilidad mínima a lo cual atribuimos a un fallo de la medición por interferencias con la muestra analizada, debido a las demás mediciones se encuentran en rango normal tanto para los demás puntos como para las demás mediciones en el mismo punto.

1.1.10 Análisis estadístico de parámetros medidos “In Situ”.

En la tabla 11, se detallan los resultados estadísticos descriptivos, es decir, el mínimo, máximo, media y desviación estándar de los parámetros medidos “In Situ”, seguido a esta, se encuentran las tablas 12 y 13, donde se realiza el análisis de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para corroborar si existen diferencias significativas en los resultados.

Tabla 11: Estadísticos descriptivos de los parámetros determinados "In Situ".

Estadísticos descriptivos de los parámetros determinados "In Situ"					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Est.
pH	16	6,99	8,85	7,7125	0,663
Oxígeno Disuelto	16	79,7	98,7	91,0063	5,17835
Temperatura	16	0,8	7,2	3,1375	1,9748
N válido (por lista)	16				

Fuente: Elaboración Propia.

Llevando a cabo el análisis se observa que los valores mínimos y máximos de los parámetros valorados se distribuyen aleatoriamente entre los cuatro puntos de muestreo.

Tabla 12: Rangos promedio para la prueba de Kruskal-Wallis "In Situ".

Rangos Promedios para la prueba de Kruskal-Wallis			
Sitio		N	Rango Promedio
pH	Orilla SO	4	9,88
	Punto Medio	4	9,13
	Orilla SE	4	7,25
	Punto Inicio Embalse	4	7,75
	Total	16	
Oxígeno Disuelto	Orilla SO	4	10,25
	Punto Medio	4	7,25
	Orilla SE	4	6,88
	Punto Inicio Embalse	4	9,63
	Total	16	
Temperatura	Orilla SO	4	10,38
	Punto Medio	4	9,75
	Orilla SE	4	9,25
	Punto Inicio Embalse	4	4,63
	Total	16	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 13: Estadísticos de contraste de Kruskal-Wallis para parámetros "In Situ".

Estadísticos de contraste de la prueba de Kruskal-Wallis			
	pH	Oxígeno Disuelto	Temperatura
H de Kruskal-Wallis	0,779	1,51	3,656
gl	3	3	3
Sig. Asintótica	0,855	0,68	0,301
a. Prueba De Kruskal-Wallis			
b. Variable de Agrupación: Punto de Muestreo			

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 13 muestra los resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, para identificar si existen diferencias significativas entre los parámetros "In Situ", y se puede observar que el Sig. Asintótico es mayor a 0,05, por lo tanto, podemos aceptar la hipótesis nula para dicha prueba. Según (Quispe et al. 2019) "El test de Kruskal Wallis indica que no existe diferencia significativa entre un grupo de datos cuando las medias son todas iguales

en un nivel significativo (α o alfa) de 0,05 e indica un riesgo de 5% de concluir que existe una diferencia significativa cuando no existe una diferencia real.”

3.3 Parámetros Valorados en Laboratorio.

1.1.11 Resultados de las pruebas en laboratorio.

Con las muestras de agua, se procedió a llevarlas al Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua de la Universidad de Cuenca, en donde llevamos a cabo las pruebas para determinar los parámetros faltantes siguiendo los lineamientos descritos previamente en la sección 2.2.2, los resultados obtenidos se reportan en las tablas 14 a 17 que se encuentran a continuación.

Tabla 14: Resultados de los Parámetros del Punto 1, Orilla SE

Resultados Punto 1 Orilla SE				
	Fecha			
Parámetro	11/6/2023	18/6/2023	25/6/2023	2/7/2023
Alcalinidad (mg/L)	85,5	85,5	85,5	77,19
Cloruros (mg/L)	0,04	0,06	0	0
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	3900	15000	1100	400
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	13000	44000	3600	2000
Dureza (mg/L)	95	92,5	90	77,5
Fosfatos (mg/L)	0,12	0,08	0,27	0,1
Nitratos (mg/L)	0,1	0,2	0	0
Sólidos Disueltos (mg/L)	69	61	61	66
Turbiedad (NTU)	5,8	4,6	3	5

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 15: Resultados de los Parámetros del Punto 2, Punto Medio

Resultados Punto 2 Punto Medio				
	Fecha			
Parámetro	11/6/2023	18/6/2023	25/6/2023	2/7/2023
Alcalinidad (mg/L)	83,13	81,94	80,75	80,75
Cloruros (mg/L)	0,01	0,01	0	0,1

Coliformes Fecales (NMP/100ml)	2300	4300	1100	2100
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	12000	21000	3600	4700
Dureza (mg/L)	85	85	77,5	72,5
Fosfatos (mg/L)	0,05	0,02	0,29	0,6
Nitratos (mg/L)	0,2	0,3	0	0
Solidos Disueltos (mg/L)	68	61	65	65
Turbiedad (NTU)	4,03	4,94	3	5

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 16: Resultados de los Parámetros del Punto 3, Orilla SO

Resultados Punto 3 Orilla SO				
	Fecha			
Parámetro	11/6/2023	18/6/2023	25/6/2023	2/7/2023
Alcalinidad (mg/L)	83,13	77,19	71,25	83,125
Cloruros (mg/L)	0,03	0,01	0,03	0,05
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	2300	400	1500	900
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	12000	2000	4400	3600
Dureza (mg/L)	82,5	88,75	95	80
Fosfatos (mg/L)	0,07	0,06	0,02	0,09
Nitratos (mg/L)	0,4	0	0,2	0,6
Solidos Disueltos (mg/L)	65	63	66	66
Turbiedad (NTU)	5,87	4,59	3	6

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 17: Resultados de los Parámetros del Punto 4, Punto Inicio de Embalse.

Resultados Punto 4 Punto Inicio De Embalse				
	Fecha			
Parámetro	11/6/2023	18/6/2023	25/6/2023	2/7/2023
Alcalinidad (mg/L)	86,69	75,4	64,125	61,75
Cloruros (mg/L)	0	0,01	0,02	0

Coliformes Fecales (NMP/100ml)	7500	110000	110000	110000
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	23000	480000	480000	480000
Dureza (mg/L)	85	85	85	80
Fosfatos (mg/L)	0,04	0,64	1,27	0,03
Nitratos (mg/L)	0,7	0	0	0
Solidos Disueltos (mg/L)	66	37	42	49
Turbiedad (NTU)	5,57	9,62	32	11

Fuente: Elaboración Propia.

1.1.12 Análisis estadístico de parámetros medidos en laboratorio.

Para los parámetros determinados en laboratorio también se llevó a cabo el análisis estadístico descriptivo, obteniendo los mínimos, máximos, medias, desviación estándar y la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para comprobar si existen diferencias significativas entre los sitios de muestreo, estos resultados se presentan en las tablas de la 18 a la 20 a continuación.

Tabla 18: Estadísticos descriptivos de los parámetros determinados en Laboratorio.

Estadísticos descriptivos de los parámetros determinados en Laboratorio					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip.
Alcalinidad	16	61,75	89,69	79,12	7,76787
Cloruros	16	0	0,1	0,0288	0,03364
Coliformes Fecales	16	400	110000	23300	43165,959
Coliformes Totales	16	2000	480000	99306,25	189184,85
Dureza	16	72,5	95	84,5313	6,48516
Fosfatos	16	0,02	1,27	0,2338	0,33722
Nitratos	16	0	0,7	0,1687	0,22721
Solidos Disueltos	16	37	69	60,625	9,46485
Turbiedad	16	3	32	7,0638	6,99616
N válido (por lista)	16				

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 19: Rangos promedio para prueba de Kruskal-Wallis determinados en Laboratorio.

Rangos Promedios para la prueba de Kruskal-Wallis							
Sitio		N	Rango Promedio	Sitio		N	Rango Promedio
Alcalinidad	Orilla SO	4	11,88	Fosfatos	Orilla SO	4	10,25
	Punto Medio	4	8,88		Punto Medio	4	8,38
	Orilla SE	4	7,5		Orilla SE	4	5,88
	Punto Inicio de Embalse	4	5,75		Punto Inicio de Embalse	4	9,5
	Total	16			Total	16	
Cloruros	Orilla SO	4	8	Nitratos	Orilla SO	4	7,25
	Punto Medio	4	10,25		Punto Medio	4	8,25
	Orilla SE	4	10,25		Orilla SE	4	11,13
	Punto Inicio de Embalse	4	5,5		Punto Inicio de Embalse	4	7,38
	Total	16			Total	16	
Col. Fecales	Orilla SO	4	7,25	Solidos Disueltos	Orilla SO	4	9,63
	Punto Medio	4	7,75		Punto Medio	4	9,5
	Orilla SE	4	4,75		Orilla SE	4	10,25
	Punto Inicio de Embalse	4	14,25		Punto Inicio de Embalse	4	4,63
	Total	16			Total	16	
Col. Totales	Orilla SO	4	7,13	Turbiedad	Orilla SO	4	6,88
	Punto Medio	4	7,63		Punto Medio	4	5,38
	Orilla SE	4	5		Orilla SE	4	8
	Punto Inicio de Embalse	4	14,25		Punto Inicio de Embalse	4	13,75
	Total	16			Total	16	
Dureza	Orilla SO	4	11,25				
	Punto Medio	4	4,75				
	Orilla SE	4	9,75				
	Punto Inicio de Embalse	4	8,25				
	Total	16					

Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 20:** Estadísticos de contraste de Kruskal-Wallis para parámetros en Laboratorio.

Estadísticos de contraste de la prueba de Kruskal-Wallis			
	H de Kruskal- Wallis	gl	Sig. Asintótica
Alcalinidad	3,583	3	0,31
Cloruros	2,821	3	0,42

Col. Fecales	8,872	3	0,032
Col. Totales	8,591	3	0,035
Dureza	4,183	3	0,242
Fosfatos	1,939	3	0,585
Nitratos	1,983	3	0,576
Solidos Disueltos	3,688	3	0,297
Turbiedad	7,15	3	0,067
a. Prueba De Kruskal-Wallis			
b. Variable de Agrupación: Punto de Muestreo			

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 20 muestra los resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, para identificar si existen diferencias significativas entre los parámetros en laboratorio, y se puede observar que el Sig. Asintótico es mayor a 0,05 en la mayoría de los parámetros, por lo tanto, podemos aceptar la hipótesis nula para ellos, sin embargo, los Coliformes Fecales y Totales presentan un Sig. Asintótico menor a 0,05 lo cual indica que existe diferencia significativa entre los puntos de monitoreo.

1.1.13 Comparación de los parámetros medidos en laboratorio con la Normativa Nacional.

Los parámetros medidos en laboratorio, detallados en el inciso anterior fueron comparados con los valores estipulados en la normativa nacional, para ello se empleó como referencia el Texto Unificado De Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) en su Anexo 1 del Libro VI: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes del recurso agua. Misma que puede encontrarse en la sección 1.5 de este trabajo.

Tabla 21: Valores referenciales de los parámetros medidos en laboratorio.

Normativa	Parámetro	Unidades	Límite Permissible en aguas dulces y de estuario
TULSMA	Alcalinidad	mg/L	>20
	Dureza	mg/L	1250
	Nitratos	mg/L	13,0
	Cloruros	mg/L	0,01
	Fosfatos	mg/L	1
	Solidos Disueltos Totales	mg/L	500
	Turbidez	NTU	50

	Coliformes Totales	NMP /100ml	1000
	Coliformes Fecales	NMP /100ml	400

Fuente: (Ministerio del Ambiente del Ecuador 2017)

Alcalinidad.

La normativa indica que el valor de alcalinidad debe ser mayor a 20 mg/L, en las pruebas realizadas, la medida cumple con ello, siendo el rango de medida de 61,75 a 86,69 mg/L, el promedio de las mediciones es de 78,93 mg/L. (Guy 2017) en su artículo “La Calidad Del Agua De Riego” clasifica a la alcalinidad en tres rangos distintos, <75 como baja, entre 75 y 150 como media y >150 como alta, en base a ello, podemos decir que la alcalinidad del embalse es media. En la gráfica se puede ver que no existe mayor variación entre los tres primeros puntos a excepción del cuarto donde se nota una disminución gradual del parámetro.

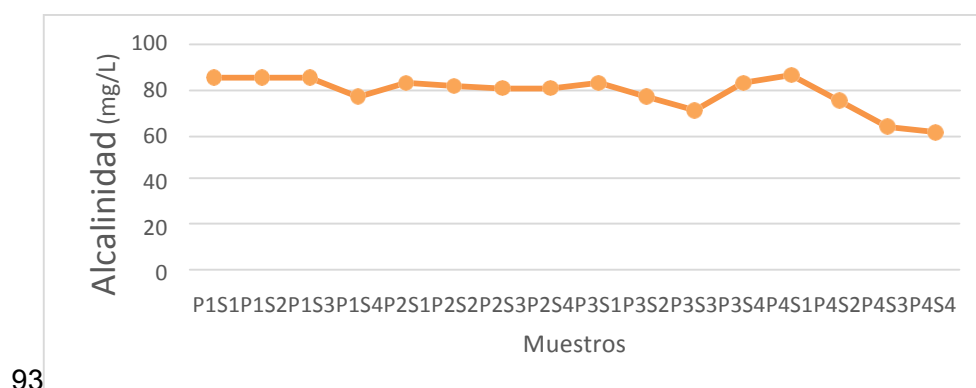


Figura 17: Resultados de Alcalinidad.

Fuente: Elaboración Propia.

Dureza.

El TULSMA y la FAO dan un límite de 1250 mg/L para la dureza del agua para riego, es decir debe ser dura, en los análisis realizados el valor más bajo obtenido es de 77,5 mg/L mientras que el más alto es de 95 mg/L. a su vez el promedio de todos los resultados es de 84,76 mg/L. en todos los puntos presenta leves variaciones, pero relativamente es constante, variando entre dureza blanda y moderadamente blanda.

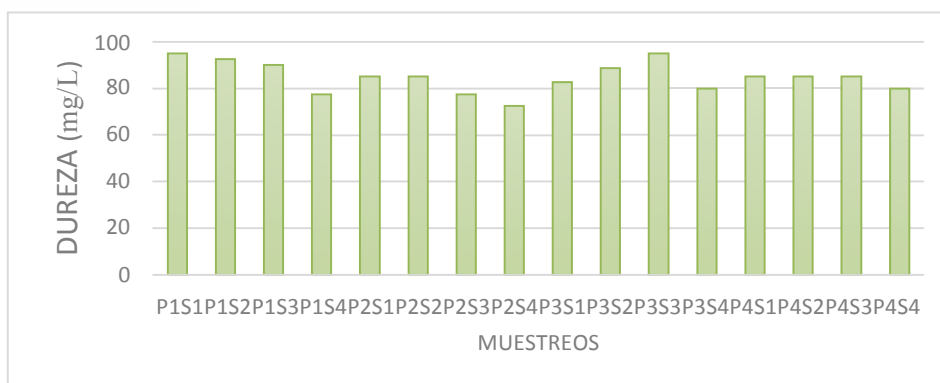


Figura 18: Resultados de la Dureza.

Fuente: Elaboración Propia.

Nitratos.

Según la normativa del TULSMA los Nitratos (NO_3^-) tienen un rango permisible de hasta 13 mg/L para aguas superficiales, comparando esto con las mediciones que se realizaron en los muestreos, todos los puntos se encuentran dentro del rango en todo el periodo de muestreo, siendo el valor máximo alcanzado de 0,7 mg/L. Debido a que la principal fuente de estos compuestos son fertilizantes inorgánicos, la actividad agrícola, ganadería y fosas sépticas, tiene sentido que la concentración de estos compuestos sea variable en las mediciones realizadas, en tanto el promedio de todas las mediciones es de 0,1688 mg/L lo cual no presenta un riesgo para la calidad del agua.

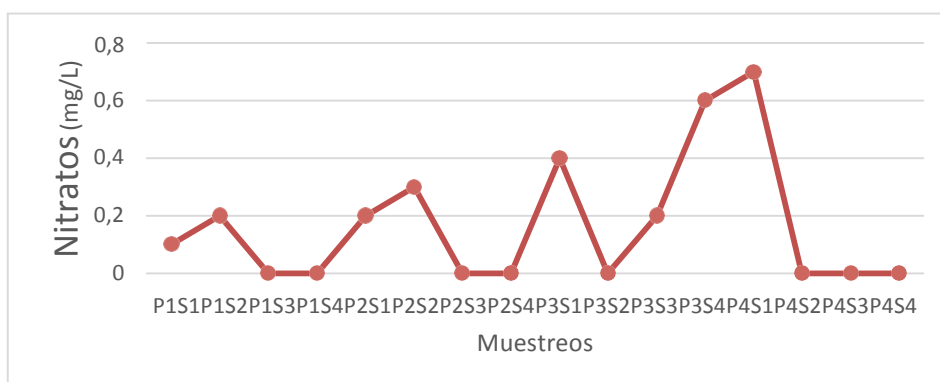


Figura 19: Resultados de los Nitratos.

Fuente: Elaboración Propia.

Cloruros.

La normativa TULSMA establece un valor máximo de 0,01 mg/L para cloruros, en los análisis llevados a cabo con las muestras vemos que este valor se ve superado repetidas veces, de las 16 muestras, 7 sobrepasan el límite, el valor más elevado se encuentra en el punto 2 o punto medio con un resultado de 0,1 mg/L, teniendo en cuenta que los alrededores de la zona de muestreo se emplean para agricultura y ganadería, dichos valores elevados pueden ser consecuencia de dichas actividades. El valor promedio del parámetro es de 0,023 mg/L. lo cual duplica el establecido por la normativa, por lo cual es un parámetro que necesita un control para mantener las características del embalse y precautelar tanto la flora como la fauna de la zona.

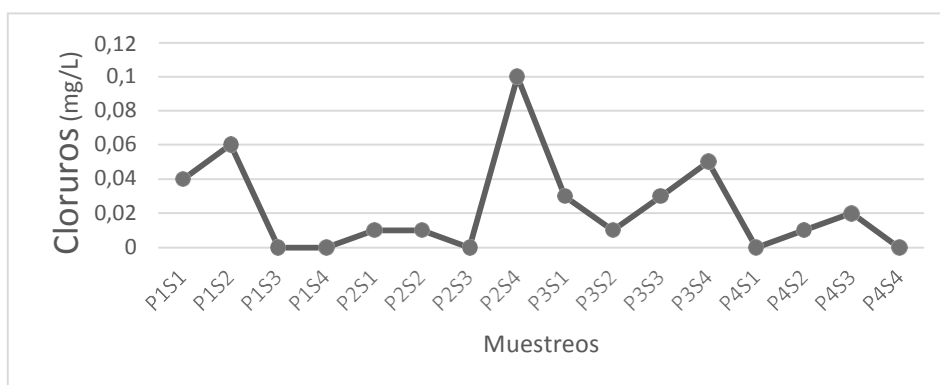


Figura 20: Resultados de Cloruros.

Fuente: Elaboración Propia.

Fosfatos.

La normativa de la F.A.O. indica un límite de concentración para el ion fosfato (PO_4^{3-}) de 2 mg/L, mientras que la normativa provista por el TULSMA de 1 mg/L, de los análisis realizados existe una sola medición que supere este límite con 1,27 mg/L, mismo que no se volvió a repetir ni en el mismo punto ni en los demás, el promedio de este parámetro es de 0,2344 mg/L, mismo valor que se encuentra dentro de ambas normativas.

Los puntos donde existe mayor concentración de este ion son el punto 3 u Orilla SO y el Punto 4 o Punto Inicio de Embalse, lo que indica que la contaminación proviene no solo de las actividades agrícolas, ganaderas y humanas en la zona sino también de los afluentes del embalse.



Figura 21: Resultados de Fosfatos.

Fuente: Elaboración Propia.

Sólidos Totales Disueltos.

El límite de concentración para los sólidos totales disueltos es de 500 mg/L, para los muestreos que llevamos a cabo, el valor máximo que se obtuvo fue de 69 mg/L y el promedio de todas las mediciones es 60,625 mg/L esto indica que existe una baja cantidad de materia orgánica o inorgánica disuelta en el agua. Estos valores entran en el rango de la normativa nacional proporcionada por el TULSMA. La variación de los STD a lo largo de los puntos de muestreo no es significativa, a excepción del punto 4 o punto Inicio de Embalse donde si bien al inicio está en rango similar al de los demás, en los muestreos siguientes disminuye la cantidad de STD.



Figura 22: Resultados de Sólidos Disueltos Totales.

Fuente: Elaboración Propia.

Turbidez.

En cuanto a la turbidez, la normativa TULSMA proporciona un valor máximo de 50 unidades nefelométricas (NTU), mismo valor que no se ve superado en ninguno de nuestros análisis, teniendo un valor máximo de 32 NTU en un solo muestreo, mismo valor que no se repitió y el promedio del parámetro es de 7,06 NTU



Figura 23: Resultados de Turbiedad.

Fuente: Elaboración Propia.

Coliformes Totales.

Los coliformes totales, es uno de los principales problemas a controlar en la zona estudiada, la normativa TULSMA, indica un límite de 1000 NMP/100ml. Dicho límite se ve sobrepasado en todos los muestreos realizados, siendo el muestreo más bajo de 2000 NMP/100ml y el más elevado muestra un alarmante valor de 480000 NMP/ 100ml, inclusive el promedio de todos los cultivos realizados es de 99306 NMP/100ml. El punto más contaminado es el Punto 4 o punto de inicio de embalse, lo cual indica que la contaminación proviene de los afluentes al embalse. Debido al tipo de contaminación y a la excesiva concentración, el agua de la zona no puede ser empleada para riego sin un tratamiento previo por el riesgo que representa para la salud ya sea al añadirse a los cultivos o peor aún si se consume directamente.

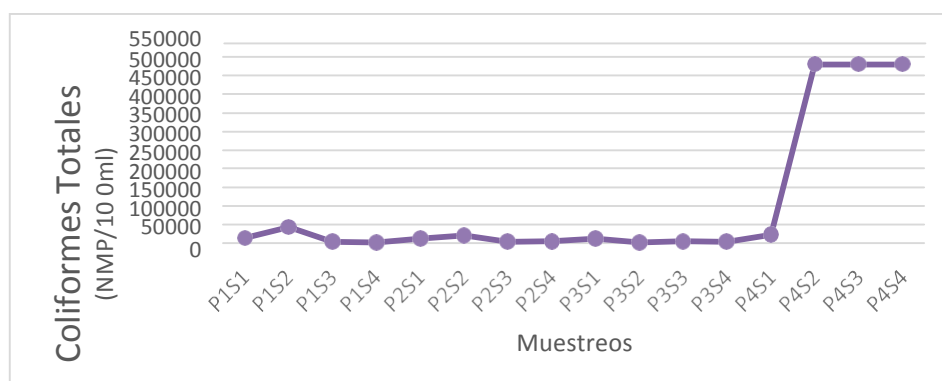


Figura 24: Resultados de Coliformes Totales.

Fuente: Elaboración Propia.

Coliformes Fecales.

Dentro del grupo de los coliformes, se debe prestar una mayor atención a los fecales, ya que estos representan una amenaza aun mayor para la salud si se excede el límite permisible.

La normativa provista por el TULSMA indica un valor máximo de 400 NMP/100ml y por parte del estudio dicho límite se ha superado en 14 de los 16 muestreos realizados, en los dos que no se ha superado el valor se encuentra justo en el límite, lo cual tampoco es un buen indicador. El valor promedio de todos los análisis es de 23300 NMP/100ml, y el punto donde se presenta la mayor contaminación es el Punto 4 o Punto de Inicio de Embalse donde en tres semanas consecutivas se tiene 110000 NMP/100ml.



Figura 25: Resultados de Coliformes Fecales.

Fuente: Elaboración Propia.

3.4 Resultados de los Índices de calidad.

Para determinar los índices de calidad tanto de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos como el índice de calidad de León se empleó el software de índices de calidad ICATEST en su versión 1.0, mismo que da un resultado en base a los valores de los parámetros requeridos por cada índice. Los resultados obtenidos se expresan a continuación en las respectivas tablas para cada punto.

3.4.1 Índice de Calidad De la Fundación Nacional de Saneamiento de EEUU.

Para realizar el cálculo de este índice se emplearon 8 parámetros, Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales, Nitratos, pH, Temperatura, Sólidos Disueltos, Fosfatos y Turbidez. En base a ellos se obtuvo el índice de calidad para cada punto de muestreo y en cada semana, tal como se puede observar en las tablas de la 22 a la 25.

Los resultados obtenidos indican que la condición de la calidad de agua en los puntos de muestreo es mayormente buena, pero también existen algunos resultados que indican una calidad media, esto principalmente se debe al parámetro de coliformes fecales, mismo que representa el principal foco de contaminación del embalse en comparación a los demás y que produce dicha reducción del índice de calidad, el punto que tiene mejor condición es el punto 3 u Orilla Suroeste y opuesto a ello, el punto 4 o punto Inicio de Embalse es el que denota menor calidad de agua. Cabe destacar que a pesar de que la escala colorimétrica lo denota así, los valores que entran en rango medio están apenas por debajo del rango de calidad bueno, motivo por el cual se podría decir que haciendo un análisis más global de los resultados la condición general del embalse se podría definir como buena, esto se puede demostrar al promediar todos los valores obtenidos individualmente, lo cual devuelve un índice general de 72,96/100.

Punto 1: Orilla Sureste.

Tabla 22: Resultados WQI-NSF Punto 1: Orilla SE.

Resultados Índice de Calidad Punto 1: Orilla SE				
Índice	Fecha	Valor	Clasificación	Color
WQI-NSF	11/6/2023	72,66	Buena	Verde
	18/6/2023	70,97	Media	Amarillo
	25/6/2023	76,43	Buena	Verde
	2/7/2023	76,98	Buena	Verde

Fuente: Elaboración Propia.

Punto 2: Punto Medio o Centro.

Tabla 23: Resultados WQI-NSF Punto 2: Punto Medio.

Resultados Índice de Calidad Punto 2: Punto Medio				
Índice	Fecha	Valor	Clasificación	Color
WQI-NSF	11/6/2023	72,82	Buena	Verde
	18/6/2023	72,18	Buena	Verde
	25/6/2023	74,65	Buena	Verde
	2/7/2023	69,95	Media	Amarillo

Fuente: Elaboración Propia.

Punto 3: Orilla Suroeste.

Tabla 24: Resultados WQI-NSF Punto 3: Orilla SO.

Resultados Índice de Calidad Punto 3: Orilla SO				
Índice	Fecha	Valor	Clasificación	Color
WQI-NSF	11/6/2023	75,62	Buena	Verde
	18/6/2023	76,44	Buena	Verde
	25/6/2023	75,85	Buena	Verde
	2/7/2023	75,64	Buena	Verde

Fuente: Elaboración Propia.

Punto 4: Punto Inicio de Embalse.

Tabla 25: Resultados WQI-NSF Punto 4: Punto Inicio de Embalse.

Resultados Índice de Calidad Punto 4: Punto Inicio de Embalse				
Índice	Fecha	Valor	Clasificación	Color
WQI-NSF	11/6/2023	73,93	Buena	Verde
	18/6/2023	66,74	Media	Amarillo
	25/6/2023	63,32	Media	Amarillo
	2/7/2023	73,31	Buena	Verde

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2 Índice de Calidad de León (ICA-León).

El índice de calidad de León presenta un análisis más profundo respecto a la calidad de agua, empezando desde que se realiza con un mayor número de variables y que presenta escalas más detalladas de acuerdo al uso al que va a ser destinada el agua analizada, teniendo esto en cuenta, la valoración se realizó como agua de uso agrícola y en base a 11 parámetros, Alcalinidad, Dureza, Cloruros, pH, Coliformes Fecales y Totales, Solidos Disueltos, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Fosfatos y Nitratos.

Los resultados obtenidos colocan a la calidad de agua del embalse en todos sus puntos y a lo largo de todos los muestreos en un rango de 50 a 70 como Levemente contaminada, a pesar de ello, el índice de calidad de León indica que puede ser empleada para su uso en la mayoría de cultivos sin necesidad de un tratamiento. Los parámetros que generan que la

calidad del agua se vea disminuida son los Coliformes fecales y totales, que como ya se analizó previamente en la comparativa con la normativa nacional provista por el TULSMA están muy por encima del límite permitido.

Los resultados para cada valoración del ICA-León se pueden ver en las tablas 26 a 29 en las cuales se encuentra separado por cada punto de muestreo.

Punto 1: Orilla Sureste.

Tabla 26: Resultados ICA-León Punto 1: Orilla SE.

Resultados Índice de Calidad Punto 1: Orilla SE				
Índice	Fecha	Valor	Clasificación	Color
ICA-León	11/6/2023	59,15	Levemente Contaminada	Amarillo
	18/6/2023	56,64	Levemente Contaminada	Amarillo
	25/6/2023	64,98	Levemente Contaminada	Amarillo
	2/7/2023	67,06	Levemente Contaminada	Amarillo

Fuente: Elaboración Propia.

Punto 2: Punto Medio o Centro.

Tabla 27: Resultados ICA-León Punto 2: Punto Medio.

Resultados Índice de Calidad Punto 2: Punto Medio				
Índice	Fecha	Valor	Clasificación	Color
ICA-León	11/6/2023	60,44	Levemente Contaminada	Amarillo
	18/6/2023	56,66	Levemente Contaminada	Amarillo
	25/6/2023	64,46	Levemente Contaminada	Amarillo
	2/7/2023	62,09	Levemente Contaminada	Amarillo

Fuente: Elaboración Propia.

Punto 3: Orilla Suroeste.

Tabla 28: Resultados ICA-León Punto 3: Orilla SO.

Resultados Índice de Calidad Punto 3: Orilla SO				
Índice	Fecha	Valor	Clasificación	Color
ICA-León	11/6/2023	62,88	Levemente Contaminada	Amarillo
	18/6/2023	66,11	Levemente Contaminada	Amarillo
	25/6/2023	63,2	Levemente Contaminada	Amarillo
	2/7/2023	65,74	Levemente Contaminada	Amarillo

Fuente: Elaboración Propia.

Punto 4: Punto Inicio de Embalse.

Tabla 29: Resultados ICA-León Punto 4: Punto Inicio de Embalse.

Resultados Índice de Calidad Punto 4: Punto Inicio de Embalse				
Índice	Fecha	Valor	Clasificación	Color
ICA-León	11/6/2023	60,58	Levemente Contaminada	Amarillo
	18/6/2023	56,66	Levemente Contaminada	Amarillo
	25/6/2023	57,66	Levemente Contaminada	Amarillo
	2/7/2023	62,74	Levemente Contaminada	Amarillo

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.3 Análisis estadístico de Índices de Calidad.

De la tabla 30 a la 32, se refleja el análisis estadístico descriptivo tanto para el índice de calidad de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos como para el índice de calidad de León, se detallan los valores mínimos, máximos, medias y desviación estándar para cada uno, además también se realizó el test de Kruskal Wallis para identificar la existencia de diferencia significativa entre los puntos muestreados.

Tabla 30: Estadísticos descriptivos de los Índices de Calidad.

Estadísticos descriptivos de los Índices de Calidad					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Típ.
WQI-NSF	16	63,32	76,98	72,9569	3,76781
ICA-León	16	56,64	67,06	61,6906	3,55737
N válido (por lista)	16				

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 31: Rangos promedio para la prueba de Kruskal-Wallis de los índices de calidad.

Rangos Promedios para la prueba de Kruskal-Wallis			
Sitio		N	Rango Promedio
WQI-NSF	Orilla SO	4	10,00
	Punto Medio	4	6,25
	Orilla SE	4	12,75
	Punto Inicio de Embalse	4	5,00
	Total	16	
ICA-León	Orilla SO	4	8,75
	Punto Medio	4	7,13
	Orilla SE	4	12,50
	Punto Inicio de Embalse	4	5,63
	Total	16	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 32: Estadísticos de contraste de Kruskal-Wallis para los índices de calidad.

Estadísticos de contraste de la prueba de Kruskal-Wallis		
	WQI-NSF	ICA-León
H de Kruskal-Wallis	6,64	4,634
gl	3	3
Sig. Asintótica	0,084	0,201
a. Prueba De Kruskal-Wallis		
b. Variable de Agrupación: Punto de Muestreo		

Fuente: Elaboración Propia.

Al realizar el test de Kruskal Wallis entre los puntos de muestreo, el valor obtenido para la Sig. Asintótica es mayor a 0,05 para ambos índices, lo cual indica la hipótesis nula de la prueba, es decir no existen diferencias significativas.

3.5 Resultados Generales.

En el artículo “Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP” de (González et al., 2013), realizan una valoración de la quebrada de “La Ayurá” y emplean estos tres índices para obtener un estudio más a profundidad y destacan la importancia de usarlos en conjunto, de igual manera en un estudio realizado por (Caho-Rodríguez y López-Barrera 2017) para determinar la calidad del humedal Torca-Guaymaral emplean el índice universal de calidad de agua y el índice de calidad de agua canadiense. Teniendo esto en cuenta, los índices que nosotros consideramos más adecuados para nuestro estudio resultaron ser el índice NSF y el índice de León.

El resultado obtenido mediante el índice de calidad de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos refleja una calidad de agua buena para el embalse de Mazar. Según (Torres P. et al., 2009) en su artículo “Índices de calidad de agua en fuentes superficiales” indica que para calcular el índice es necesario solo de 5 parámetros: oxígeno disuelto, nitratos, sólidos suspendidos, coliformes totales y coliformes fecales, para obtener un resultado representativo de la calidad del agua, es por ello que índice de calidad de León sirve para profundizar aún más sobre los posibles contaminantes que pueden estar presentes. Al realizar la valoración obtuvimos un resultado de calidad medio, mismo que el índice lo expresa como levemente contaminada, y el enfoque con el cual se realizó fue como agua de uso agrícola que es al que se destina el agua del embalse además de la generación eléctrica.

Tomando en consideración los parámetros analizados los resultados para los parámetros físicos son buenos, ya que todos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles por la normativa nacional, para los parámetros químicos, aunque existen algunas mediciones que presentan ligeras variaciones, los resultados son positivos y se encuentran bajo el marco normativo, a nivel microbiológico se evidencia que los parámetros de coliformes fecales y totales excede la normativa para todas las mediciones realizadas, y es sobre ellos que se recomienda tomar acciones a futuro para evitar que la calidad del agua se vea empobrecida. En el estudio de índices de calidad de agua de los ríos Mazar y Pindilig, que son afluentes del embalse, realizado por (Carrillo Alvarado y Urgilés Calle 2016) ya se evidencia una elevada concentración de coliformes en el agua de dichos ríos que son afluentes del embalse, lo cual demuestra que las condiciones no han cambiado y sustenta los resultados que obtuvimos en este trabajo.

Los análisis estadísticos realizados muestran que los resultados de las mediciones experimentales son homogéneos y no se observan problemas o variaciones que descartarían los ensayos realizados.

Capítulo IV

4. Conclusiones y Recomendaciones.

4.1 Conclusiones

Se consiguió determinar la condición del agua del embalse de Mazar entre las comunidades de Sacre y Chaullayacu de manera exitosa mediante los índices de calidad de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos, en el cual se evidencia una calidad de agua media-buena para el embalse, por otro lado para el índice de calidad de León, la valoración se realizó como agua para uso agrícola, uso al que principalmente está destinada por parte de los pobladores aledaños al embalse y los resultados clasifican el agua como levemente contaminada, aun así la misma es apta para la mayoría de cultivos sin necesidad de tratamiento.

En lo que respecta a la comparativa de los parámetros analizados con la normativa nacional e internacional, la mayoría de ellos, cumple tanto con la normativa provista por el TULSMA como por la F.A.O. a excepción de los Coliformes Fecales y Totales, estos sobrepasan el límite máximo permisible en todos los puntos, otro parámetro que resalta son los Cloruros que en repetidas ocasiones sobrepasa el límite permisible en varios de los muestreos realizados. (Loaiza y Osorio 2009) en su análisis de estrategias de gestión integral del recurso hídrico en la cuenca del río La Vieja, plantea sistemas de rotación de potreros para permitir su recuperación, generar iniciativas de sistemas pastoriles con ello reduciendo el tiempo de acceso del ganado a las fuentes hídricas e implementación de cercas vivas en las orillas de la cuenca del río. Por otro lado, como posible método de remediación a la contaminación por coliformes, (Torres J. et al., 2015) propone crear humedales artificiales ya que estos han sido utilizados para tratar aguas de todo tipo, entre ellos de escorrentía superficial agrícola. Los humedales son sistemas de Fito depuración con desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas (*Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*) estas sobre un lecho de grava impermeabilizada. La función esencial de estos humedales es el mecanismo de adsorción por parte de las raíces que actúan como un filtro natural disminuyendo la concentración de Coliformes llevándolos a concentraciones menores de los límites permisibles, también como algo beneficioso de este proceso se describe que se generan exudados bactericidas por parte de las raíces de las plantas que son tóxicos exclusivamente para los coliformes haciendo que este ambiente sea inhabitable para futuras colonizaciones.

Se georreferenciaron los puntos de muestreo generando un mapa de los mismos, entre las comunidades de Sacre y Chaullayacu además del punto Inicio de Embalse, el cual tiene una

vista topográfica / satelital de la zona de muestreo, conjunto a ello en la sección 3.1 se detallan las coordenadas exactas donde se realizó la toma de muestras y se visualiza la variación del nivel de agua del embalse, mismo que puede ser empleado como referencia para futuras investigaciones.

Todo el análisis estadístico aplicado se realizó con los datos obtenidos de la fase experimental aplicando el test de Kruskal-Wallis y gráficas comparativas, haciendo uso del software estadístico SPSS. Como resultado se observa que los índices de calidad no presentan diferencias significativas entre los distintos puntos de muestreo, esto implica que la valoración de los índices es homogénea para toda la zona de estudio.

4.2 Recomendaciones.

Ampliar el estudio a otras zonas de interés ya sea en el mismo embalse o los afluentes que lo alimentan, donde puedan presentarse focos de contaminación, haciendo énfasis en caseríos, zonas agrícolas o ganaderas para corroborar la condición a lo largo del mismo y obtener así una valoración integral de todo el embalse, no solo con el fin de precautelar la flora y fauna silvestre, sino también la salud de las personas y la seguridad alimentaria, ya que muchos de los productos cultivados en la zona aledaña al embalse se comercializan en los mercados de los cantones cercanos.

En caso de realizar análisis en la zona del embalse a futuro, es importante tener en cuenta la temporada del año ya que la dificultad de acceso al embalse está directamente relacionada a la corriente y nivel de agua, por lo cual se recomienda solicitar apoyo a instituciones que dispongan de equipamiento y formación adecuada teniendo en cuenta los peligros involucrados en esta actividad con el fin de precautelar la seguridad personal.

Compartir los resultados de este estudio con las autoridades o instituciones competentes ya que el mismo posee información valiosa y a su vez puedan llevar acciones para evitar un mayor deterioro de la calidad del agua y aún más importante salvaguardar la salud de los moradores aledaños al embalse, los cuales muchas veces realizan actividades recreativas como pesca y natación.

Teniendo en mente los objetivos de desarrollo sostenible que propone la ONU, recomendamos proponer proyectos de vinculación para brindar capacitaciones y campañas de concientización sobre el uso y manejo del recurso hídrico a los moradores de la zona con el fin de precautelar la vida acuática, la producción y consumo responsable, la vida de los ecosistemas e incluso la salud y bienestar propio.

Bibliografía y Referencias

- Alvarado, Pedro. 2013. «Factibilidad del Uso De Lechuguin Del Embalse Mazar Para La Elaboración De Compost». Tesis de Maestría, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
- Anón. 2008. *Constitución de la República del Ecuador*. Vol. 449.
- Borbolla Sala, Manuel, y Silvia Garrido Pérez. 2003. «Calidad Del Agua En Tabasco». *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe. España y Portugal* 9(1):170-77.
- Caho-Rodríguez, Carlos Andrés, y Ellie Anne López-Barrera. 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. doi: 10.22507/pml.v12n2a3.
- California State Water Resources Control Board. 2021. «Folleto Informativo Oxígeno Disuelto (OD)».
- Carrillo Alvarado, María Soledad, y Paola Dennisse Urgilés Calle. 2016. «Determinación Del Índice de Calidad del Agua ICA-NSF De Los Ríos Mazar Y Pindilig». Experimental, Universidad De Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Cedillo Galarza, Adrián Paúl, y esteban Gustavo Jara Cárdenas. 2015. «Modelación Del Ciclo De Nutrientes En Los Embalses Mazar y Amaluza Del Proyecto Hidroeléctrico Paute, Azuay». Investigativa, Universidad De Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- CELEC EP. 2021. «La Central Hidroeléctrica Mazar cumple 10 años de operación, en beneficio de los ecuatorianos». *CELEC EP Corporación Eléctrica del Ecuador*. Recuperado 20 de julio de 2023 (<https://www.celec.gob.ec/gensur/noticias/la-central-hidroelectrica-mazar-cumple-10-anos-de-operacion-en-beneficio-de-los-ecuatorianos/>).
- Comisión Nacional del Agua de México (CNA). 2004. *Guía Para la Colecta, Manejo y las Observaciones de Campo para Bioindicadores de la Calidad del Agua*. Comisión Nacional del Agua De México. México, D.F.
- Díaz, Teófilo, Pedro Puig, Gabriela Damilano, Juan Mereles, Teófilo Díaz, Pedro Puig, Gabriela Damilano, y Juan Mereles. 2018. «Aplicación de modelos de series de tiempo a un componente iónico (alcalinidad total) indicativo de la calidad del agua en el

embalse de Yacyreta». *Reportes científicos de la FACEN* 9(1):9-23. doi: 10.18004/rcfacen.2018.9.1.9.

Federación Científica Europea de Osteópatas. 2019. «Prueba No Paramétrica de Kruskal Wallis».

Fernández Cirelli, Alicia. 2012. «El agua: un recurso esencial». *Química Viva* 11(3):147-70.

Fernández Parada, Nelson Josué, y Fredy Solano Ortega. 2005. «Capítulo III: Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial.» en *Índices de Calidad y de Contaminación del Agua*. España: Universidad de Pamplona.

GAD Paute. 2020. «Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Paute».

Gonzalez, Vicky, Orlando Caicedo, y Néstor Aguirre. 2013. «Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada de La Ayurá, Antioquia, Colombia». *Revista Gestión y Ambiente* 16(1):97-108.

Guy, S. 2017. «La Calidad Del Agua de Riego». *Smart Fertilizer Management*.

HACH Company. 2000. «Manual De Análisis De Agua».

HACH Company. 2007. «DE 2800 Spectrophotometer Procedures Manual».

Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. 2014. *Calidad Del Agua. Determinación De La Alcalinidad. Parte 1: Determinación De La Alcalinidad Total Y Compuesta*. Vols. 9963-1.

Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. 2016. *Agua Potable. Determinación De La Dureza Total Por Titulación Con EDTA*. Vols. 974-1.

León Carrasco, Myriam Gabriela. 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.» Experimental, Universidad Central Del Ecuador, Quito, Ecuador.

León Vizcaíno, Luis F. 2009. «Índices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala». *Instituto Mexicano De Tecnología del Agua*, 7.

- Loaiza, Yuli, y Adriana Osorio. 2009. «Gestión del agua en el sector de la ganadería bovina en la cuenca río la vieja departamentos de Quindío y Risaralda». Investigación, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Medina Chávez, Agustín Emerson. 2018. «Calidad del Agua en Función de Turbidez y Coliformes en la Planta de Tratamiento La Quesera». Investigativa, Universidad Nacional De Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales De El Salvador. 2007. «Índice De Calidad Del Agua General “ICA”».
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2017. *TULSMA Libro VI, Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y De Descarga de Efluentes: Recurso Agua*.
- Posada, Enrique, Daniel Mojica, Natalia Pino, Carlos Bustamante, y Andrés Monzón Pineda. 2013. «Establecimiento de índices de calidad ambiental de ríos con bases en el comportamiento del oxígeno disuelto y de la temperatura. Aplicación al caso del río Medellín, en el valle de aburrá en Colombia». *DYNA* 80(181):192-200.
- Quintuña Tene, Jenny Mariela, y Mayra Concepción Samaniego Gomezcoello. 2016. «Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua potable de la planta potabilizadora del cantón Chordeleg». bachelor Thesis, Universidad De Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Quispe, Adrián, Kriss Calla, José Rodríguez, y Ilich Pumacayo. 2019. *Estadística No Paramétrica Aplicada A La Investigación Científica*. Vol. 1. Primera Edición. Eidec.
- Rodier, Jean, Bernard Legube, y Nicole Merlet. 2009. «Métodos Generales de Examen Bacteriológico de las Aguas, Método general de recuento en medio líquido por determinación del número más probable (NMP).» Pp. 735-45 en *Análisis del Agua*. Ediciones Omega.
- Rodríguez Zamora, Johel. 2008. «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.» *Revista Pensamiento Actual* 9(12-13):125-34.
- Sandoval, Carla, y Isabel Alarcón. 2019. «Aguas servidas, un riesgo para los ríos del país». *El Comercio*, agosto 17, El Comercio.

- Sandoval Erazo, Washington. 2018. «Capítulo 1: Presas y Embalses». P. 29 en *Diseño de Obras Hidroeléctricas*. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Secretaria De Economía de México. 2001. *Análisis de Agua- Determinación De Cloruros Totales En Aguas Naturales y Residuales*.
- Sigler, Adam, y Jim Bauder. 2017. «Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales». *Well Educated*, 2.
- Silva, J., L. Ramírez, A. Alfieri, G. Rivas, y M. Sánchez. 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.
- Swistock, Bryan. 2020. «Bacterias Coliformes». *Pennsylvania State University*.
- Torres, Jocelyn, Jennifer Magno, Milda Cruz, y Raquel Pineda. 2015. «Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*, en Carapongo-Lurigancho». *Revista Ciencia, Tecnología y Desarrollo* 1(2):41-63.
- Torres, Patricia, Camilo Cruz, y Paola Patiño. 2009. «Índices de Calidad de Agua en Fuentes Superficiales. Una Revisión Crítica.» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* 8(15):79-94.
- VIVOSUN. s. f. «TDS & EC Meter E-1 VIVOSUN User Manual».
- World Bank. 2020. «El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial». *World Bank*, marzo 19, worldbank.org.

Anexos

- Anexo A: Tabla de Sistema de siembra n° 1: número más probable e intervalo de confianza.

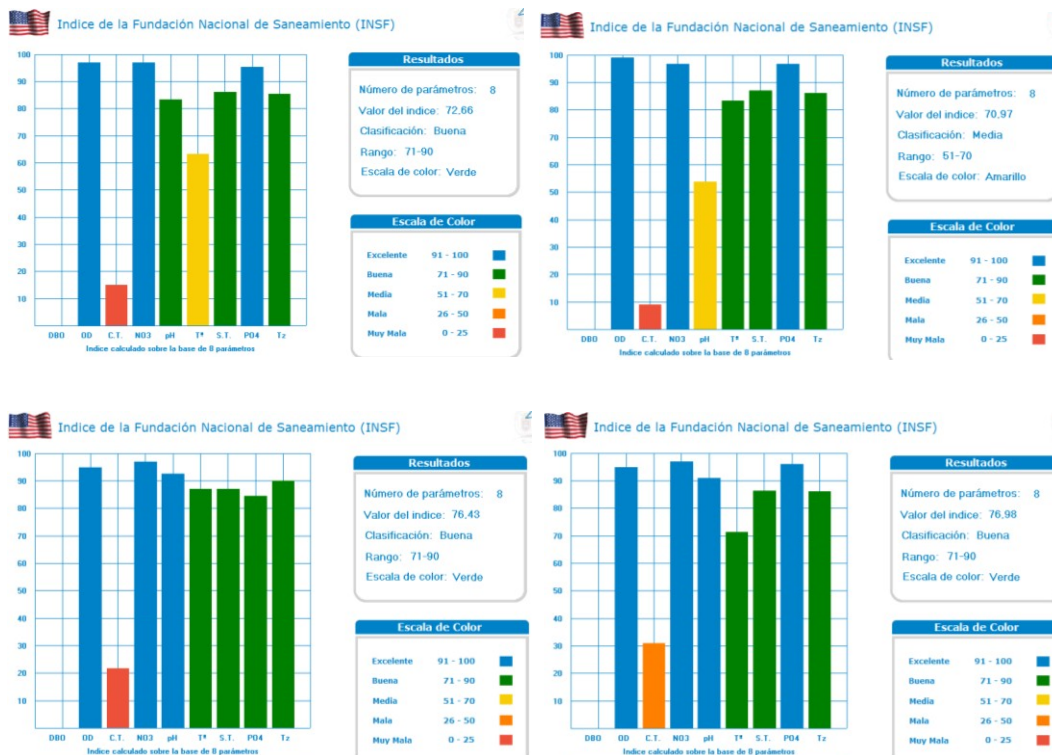
3 • Métodos de examen bacteriológico

3.3 Método general de recuento en medio líquido

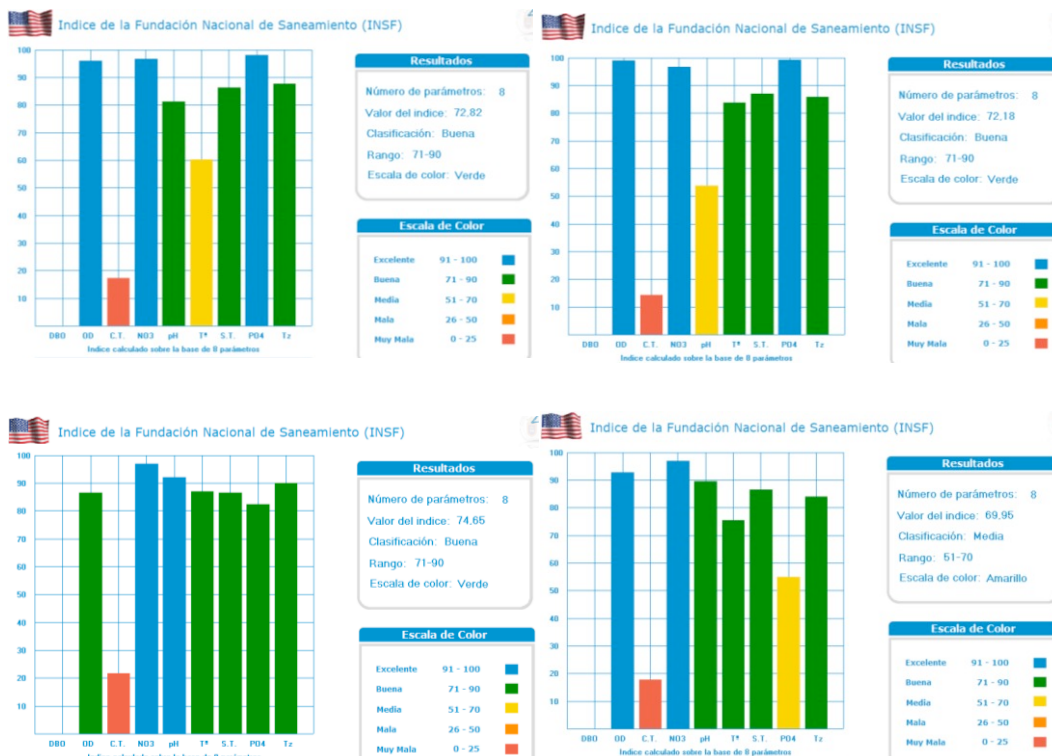
Sistema de siembra n.º 1: número más probable e intervalo de confianza

Número de tubos que dan una reacción positiva con			NMP en 100 mL	Límites de confianza al 95%	
3 tubos de 10 mL	3 tubos de 1 mL	3 tubos de 0,1 mL		Límite inferior	Límite superior
0	0	1	3	< 0,5	9
0	1	0	3	< 0,5	13
1	0	0	4	< 0,5	20
1	0	1	7	1	21
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	149
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	379
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	380
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1 300
3	3	1	460	71	2 400
3	3	2	1 100	150	4 800

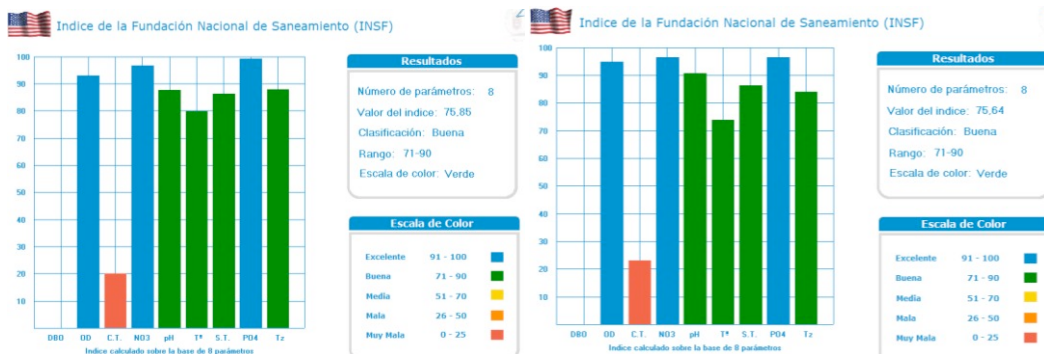
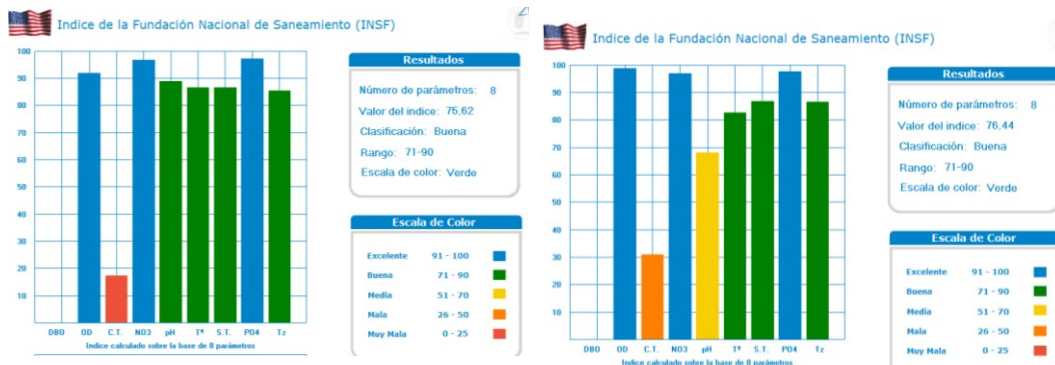
- Anexo B: Resultados Índice de calidad NSF WQI
- Punto 1 Orilla Sureste.



- Punto 2 Punto Medio.



- Punto 3 Orilla Suroeste.

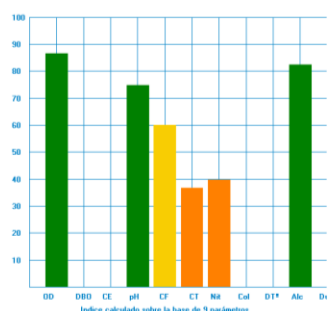


- Punto 4 Punto Inicio de Embalse.



- Anexo C: Resultados Índice de calidad de León.
- Punto 1 Orilla Sureste.

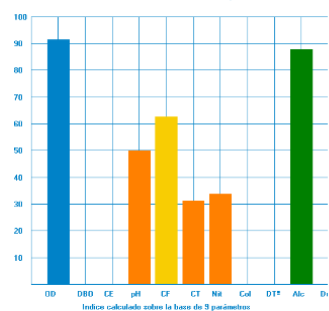
Indice de León (1998), México



Resultados
 Número de parámetros: 9
 Valor del índice: 59.15
 Clasificación: Levemente Contaminada
 Rango: 50 - 70
 Escala de color: Amarillo

Comentario
 Utilizable en la Mayoría de Cultivos.

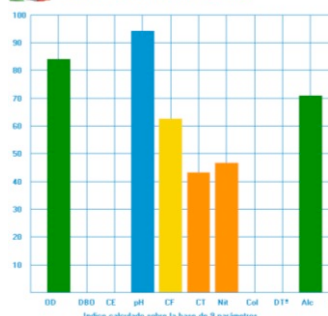
Indice de León (1998), México



Resultados
 Número de parámetros: 9
 Valor del índice: 66.64
 Clasificación: Levemente Contaminada
 Rango: 50 - 70
 Escala de color: Amarillo

Comentario
 Utilizable en la Mayoría de Cultivos.

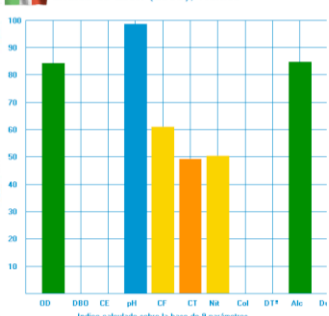
Indice de León (1998), México



Resultados
 Número de parámetros: 9
 Valor del índice: 64.98
 Clasificación: Levemente Contaminada
 Rango: 50 - 70
 Escala de color: Amarillo

Comentario
 Utilizable en la Mayoría de Cultivos.

Indice de León (1998), México

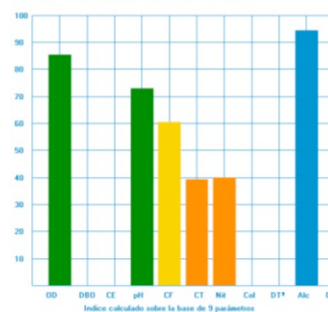


Resultados
 Número de parámetros: 9
 Valor del índice: 67.66
 Clasificación: Levemente Contaminada
 Rango: 50 - 70
 Escala de color: Amarillo

Comentario
 Utilizable en la Mayoría de Cultivos.

- Punto 2 Punto Medio.

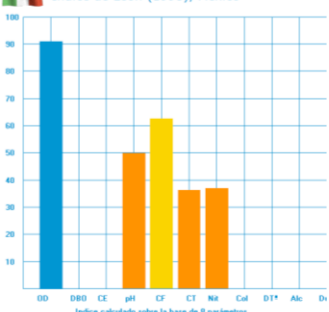
Indice de León (1998), México



Resultados
 Número de parámetros: 9
 Valor del índice: 60.44
 Clasificación: Levemente Contaminada
 Rango: 50 - 70
 Escala de color: Amarillo

Comentario
 Utilizable en la Mayoría de Cultivos.

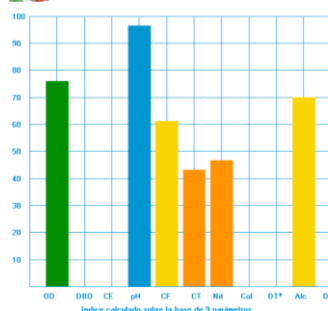
Indice de León (1998), México



Resultados
 Número de parámetros: 8
 Valor del índice: 56.66
 Clasificación: Levemente Contaminada
 Rango: 50 - 70
 Escala de color: Amarillo

Comentario
 Utilizable en la Mayoría de Cultivos.

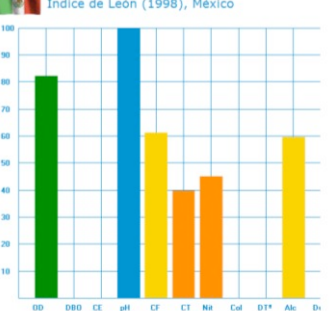
Indice de León (1998), México



Resultados
 Número de parámetros: 9
 Valor del índice: 64.46
 Clasificación: Levemente Contaminada
 Rango: 50 - 70
 Escala de color: Amarillo

Comentario
 Utilizable en la Mayoría de Cultivos.

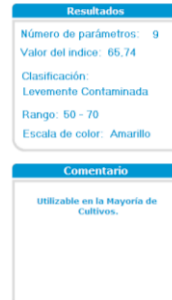
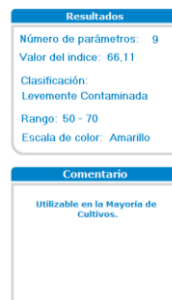
Indice de León (1998), México



Resultados
 Número de parámetros: 9
 Valor del índice: 62.09
 Clasificación: Levemente Contaminada
 Rango: 50 - 70
 Escala de color: Amarillo

Comentario
 Utilizable en la Mayoría de Cultivos.

- Punto 3 Orilla Suroeste.



- | Resultados | |
|-----------------------|-----------------------|
| Número de parámetros: | 9 |
| Valor del índice: | 56.66 |
| Clasificación: | Levemente Contaminada |
| Rango: | 50 - 70 |
| Escala de color: | Amarillo |
-
- | Comentario | |
|---------------------------------------|--|
| Utilizable en la Mayoría de Cultivos. | |

