



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**Análisis del cumplimiento de la norma ambiental de la calidad del
agua y suelo en embalses artificiales de las centrales
hidroeléctricas de CELEC SUR**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

Autoras:

JENNY MARIBEL WAMBANGUITO SHARIANO
NANCY ELIZABETH MUÑOZ MOROCHO

Directora:

JULIA MARTÍNEZ GAVILANES

Coodirectora:

DANIELA BALLARI

Cuenca-Ecuador

2022

DEDICATORIA

A mí querido padrastro Celso Cobos, a pesar de no ser mi padre biológico siempre me ha brindado su apoyo incondicional y con mucho esfuerzo hace posible que se cumplan cada una de mis metas.

A mi madre Amada, por el cariño y apoyo ilimitado, por cada palabra de aliento para no declinar y cumplir con este proyecto.

A Sarela y Allessa, por el amor y alegrías compartidas, por ser mi fuente de motivación e inspiración para seguir adelante.

A mis hermanos Lilian y Alex, por cada detalle que me hicieron llegar durante mi vida estudiantil, y a todas aquellas personas que estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

Jenny Wambanguito Shariano.

DEDICATORIA

A mi Dios por darme salud y acompañarme en todo momento, a mis padres que a pesar de la distancia me han brindado su apoyo económico y moral durante toda mi vida estudiantil, a mi familia por estar conmigo en todas las etapas que he tenido que pasar para llegar hasta aquí, agradezco también a mi amiga y compañera de Tesis Jenny por apoyarme y darme ánimos para no decaer desde el inicio de este trabajo.

A mi tío Asunción que desde el cielo estará orgulloso porque era su sueño verme convertida en una profesional. A mi angelito Sami que todo esto es por ti.

Nancy Muñoz Morocho.

AGRADECIMIENTOS

Nos harán falta páginas para agradecer a todas las personas que nos ayudaron a cumplir esta meta, sin embargo, en este espacio queremos agradecer a Dios por todas sus bendiciones recibidas.

A nuestra directora, Ing. Julia Martínez Gavilanes, por la colaboración y entusiasmo que supo brindarnos, así mismo, a los técnicos de CELEC SUR por los aportes ofrecidos.

A la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad del Azuay y sus docentes, quienes de manera profesional nos compartieron sus conocimientos, ayuda y colaboración a lo largo de nuestra vida estudiantil.

Finalmente, de manera muy especial queremos agradecer a nuestra amiga y codirectora de tesis, Dra. Daniela Ballari, por su incondicional y constante apoyo, porque con sus conocimientos nos guio para llevar a cabo este proyecto.

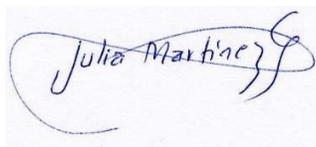
Muchas gracias a todos

“Análisis del cumplimiento de la norma ambiental de la calidad del agua y suelo en embalses artificiales de las Centrales Hidroeléctricas de CELEC SUR”

RESUMEN:

Este trabajo de titulación se centra en los datos de monitoreos periódicos de los recursos agua y suelo, realizados por CELEC SUR, y bajo el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. Así, se estructuraron los datos, una interfaz web y un modelo de reportes automáticos de las mediciones de los parámetros de la calidad del agua y calidad del suelo. Estos reportes permiten conocer el comportamiento de los parámetros en distintos puntos de muestreo; y su cumplimiento con los límites permisibles requeridos por la normativa. Con esto se espera proveer de un sistema interactivo que facilite la visualización y análisis de los datos de monitoreo de agua y suelo.

Palabras clave: agua, suelo, monitoreo ambiental, datos, reportes, normativa, RStudio, Shiny.



Julia Martínez Gavilanes.
Directora del Trabajo de Titulación.



José Fernando Vásquez Calero.
Director de Escuela.



Jenny Maribel Wambanguito Shariano.
Autora.



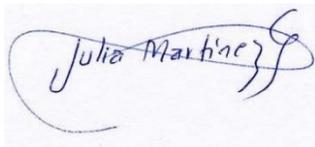
Nancy Elizabeth Muñoz Morocho.
Autora.

ABSTRACT:

Analysis of compliance with environmental standards for water and soil quality in artificial reservoirs of CELEC SUR's hydroelectric power plants.

This degree work focused on data from periodic monitoring of water and soil resources, carried out by CELEC SUR in compliance with current environmental regulations. Thus, the data, a web interface and a model of automatic reports of the measurements of the parameters of water quality and soil quality were structured. These reports allowed us to know the behavior of the parameters in different sampling points; and their compliance with the permissible limits required by the regulations. With this, it is expected to provide an interactive system that facilitates the visualization and analysis of water and soil monitoring data.

Keywords: Water, soil, environmental monitoring, data, reports, regulations, RStudio, Shiny.



Julia Martínez Gavilanes.
Thesis Director.



Firmado electrónicamente por:
**JOSE FERNANDO
VAZQUEZ CALERO**

José Fernando Vásquez Calero.
Faculty Director.



Jenny Maribel Wambanguito Shariano.
Author.



Nancy Elizabeth Muñoz Morocho.
Author.

Translated by



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Alcance.....	3
1.4 Justificación	4
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II.....	6
2 MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Definición del área de estudio.....	6
2.1.1 Central Paute-Mazar	6
2.1.2 Central Paute-Molino.....	7
2.1.3 Central Paute-Sopladora	9
2.2 Marco legal.....	10
2.3 Conceptos de monitoreos ambientales de los recursos agua y suelo	15
2.3.1 Definición de monitoreo ambiental.....	15
2.3.2 Calidad del agua.....	16
2.3.3 Índices de la calidad del agua	17
2.3.4 Monitoreo de la calidad del agua	18

2.3.5 Toma de muestras	18
2.3.6 Parámetros que conforman el WQI (Water Quality Índice)	19
2.3.7 Parámetros físicos del agua.....	19
2.3.8 Parámetros químicos	20
2.3.9 Parámetros microbiológicos.....	23
2.3.10 Calidad del agua potable	24
2.3.11 Calidad del agua cruda.....	25
2.3.12 Calidad del agua residual	25
2.3.13 Calidad del agua de río.....	26
2.3.14 Lixiviados.....	27
2.3.15 Criterios de calidad del agua basada en la Acuerdo Ministerial 097	27
2.3.16 Calidad del suelo	28
2.3.17 Índice de la calidad del suelo (Soil Quality Indexing).....	29
2.3.18 Criterios de calidad del suelo basado en el Acuerdo Ministerial 097- Anexo 2...30	
2.3.19 Monitoreo del suelo	31
2.3.20 Parámetros de la calidad del suelo	31
2.3.21 Parámetros orgánicos	32
2.3.22 Parámetros inorgánicos	33
2.4 RStudio.....	34
2.5 Paquete Shiny.....	34
2.6 Paquete ggplot2.....	34
2.7 RMarkdown	35
CAPÍTULO III.....	35
3 MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1 Organización y definición de las variables a partir de los datos de monitoreos ambientales de las centrales hidroeléctricas Mazar, Molino y Sopladora	35
3.1.1 Recopilación de la información del monitoreo ambiental del agua y suelo	35

3.1.2 Base de datos.....	36
3.1.3 Organización de los datos de monitoreo del agua y suelo	36
3.1.4 Frecuencia de muestreo del agua y suelo.....	37
3.1.5 Puntos de control y muestreo de la calidad de agua de las centrales hidroeléctricas.....	37
3.1.6 Puntos de control y muestreo de la calidad del suelo de las centrales hidroeléctricas.....	41
3.1.7 Definición de las variables del monitoreo agua y suelo.....	42
3.1.8 Sistematización y comparación de los datos de monitoreo con la norma legal vigente.....	43
3.1.9 Integración a la base de datos de CELEC SUR	46
3.2 Análisis de datos y Procedimiento para la elaboración de los reportes del cumplimiento normativo de la calidad del agua y suelo en RStudio	47
3.2.1 Estructuración de los reportes	47
3.2.2 Creación del proyecto en RStudio	48
3.3 Implementación de la interfaz web interactiva a través de Shiny de RStudio	48
• Pestaña de inicio:.....	49
• Pestaña de guía de usuario	49
• Pestaña de mapas de punto.....	50
• Pestaña agua cruda	51
• Pestaña de agua residual.....	51
• Pestaña de agua potable.....	52
• Pestaña de agua de río	52
• Pestaña de lixiviados	53
• Pestaña de suelos.....	53
• Pestaña de descarga de reportes	54
• Subpestaña variación temporal.....	54

CAPÍTULO IV	55
4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	55
4.1 Evaluación de los criterios de calidad del recurso agua en las centrales hidroeléctricas basadas en el Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A y la NTE INEN 1108.	55
4.1.1 Evaluación de los criterios de calidad del agua cruda en la central Paute-Mazar.....	55
4.1.2 Evaluación de los criterios de calidad del agua potable en la central Paute-Molino.....	57
4.1.3 Evaluación de los criterios de calidad del agua residual de la central Paute-Sopladora.....	59
4.2 Evaluación de los criterios de calidad del suelo en las centrales hidroeléctricas basado en el Anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097.....	61
4.2.1 Evaluación de los criterios de calidad del suelo de la central Paute-Mazar.....	62
4.2.2 Evaluación de los criterios de la calidad del suelo de la central Paute-Molino.....	63
4.2.3 Evaluación de los criterios de la calidad del suelo de la central Paute-Sopladora.....	65
4.3 Análisis de la variación histórica del monitoreo ambiental del agua y suelo	67
4.3.1 Análisis de la variación histórica del monitoreo ambiental del agua cruda en la central Paute-Mazar.	67
4.3.2 Análisis de la variación histórica del monitoreo ambiental del agua potable en la central Pate-Molino.....	70
4.3.3 Análisis de la variación histórica de los parámetros del agua residual en la central Paute-Sopladora	74
4.4 Análisis de la variación histórica del monitoreo ambiental del suelo en las centrales hidroeléctricas.....	78
4.4.1 Análisis de la variación histórica del monitoreo ambiental del suelo en la central Paute-Molino.....	78
4.4.2 Análisis de la variación histórica del monitoreo ambiental del suelo en la central Paute-Sopladora	83

4.5 Resultado de los reportes periódicos de los recurso agua y suelo de las centrales hidroeléctricas.....	85
CAPITULO V.....	87
5 PLAN DE ACCIÓN	87
5.1 Plan de acción del recurso agua	87
5.2 Plan de acción del recurso suelo	88
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
6.1 Limitaciones del trabajo.....	90
6.2 Ventajas y contribuciones del trabajo	91
6.3 Futuros trabajos.....	91
6.4 Recomendaciones finales	92
REFERENCIAS.....	93
ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Ecuaciones de cálculo empleados para medir los WQI</i>	17
Tabla 2. <i>Criterios de calidad del agua para distintos usos</i>	27
Tabla 3. <i>Normas técnicas para la evaluación de la calidad del agua en las centrales hidroeléctricas.</i>	28
Tabla 4. <i>Parámetros usados por varios autores para medir la calidad del suelo</i>	29
Tabla 5. <i>Norma técnica para la evaluación de los criterios de remediación para suelos contaminados.</i>	31
Tabla 6. <i>Frecuencia de muestreo en las tres centrales y tipo de recurso analizado</i>	37
Tabla 7. <i>Puntos de muestreo y ubicación del agua cruda de la central Paute-Mazar</i>	38
Tabla 8. <i>Puntos de muestreo y ubicación del agua potable de la central Paute-Mazar</i>	38
Tabla 9. <i>Puntos de medición y muestreo del agua residual de la central Paute-Mazar</i>	38
Tabla 10. <i>Puntos de medición y muestreo del agua residual de la central Paute-Mazar</i>	38
Tabla 11. <i>Puntos de muestreo y ubicación de la agua de río de la central Paute-Mazar</i>	38
Tabla 12. <i>Puntos de ubicación y muestreo del agua cruda de la central Paute-Molino</i>	39
Tabla 13. <i>Punto de ubicación y muestreo del agua potable de la central Paute-Molino</i>	39
Tabla 14. <i>Punto de muestreo y ubicación del agua residual de la central Paute-Molino</i>	39
Tabla 15. <i>Puntos de muestreo y ubicación del agua de río de la central Paute-Molino</i>	39
Tabla 16. <i>Puntos de muestreo y ubicación de lixiviados de la central Paute-Molino</i>	40
Tabla 17. <i>Puntos de muestreo y ubicación del agua cruda de la central Paute-Sopladora</i> ..	40
Tabla 18. <i>Puntos de muestreo y ubicación del agua de río de la central Paute-Sopladora</i> ..	40
Tabla 19. <i>Puntos de muestreo y ubicación del agua residual de la central Paute-Sopladora</i>	40
Tabla 20. <i>Puntos de muestreo y ubicación de lixiviados de la central Paute-Sopladora</i>	40
Tabla 21. <i>Puntos de muestreo y ubicación para la variable suelo de la central Paute-Mazar</i>	41
Tabla 22. <i>Puntos de muestreo y ubicación del recurso suelo de la central Paute-Molino</i> ...	41
Tabla 23. <i>Puntos de muestreo y ubicación del recurso suelo de la central Paute-Sopladora</i>	42
Tabla 24. <i>Variables y subvariables del recurso agua</i>	42
Tabla 25. <i>Subvariables del recurso suelo</i>	42
Tabla 26. <i>Datos de medición y comparación normativa del agua cruda de la central Paute-Mazar</i>	43

Tabla 27. <i>Datos de medición y comparación normativa del agua potable de la central Paute-Mazar</i>	44
Tabla 28. <i>Datos de medición y comparación normativa del agua residual de la central Paute-Mazar</i>	44
Tabla 29. <i>Datos de medición y comparación normativa del agua de río de la central Paute-Mazar</i>	45
Tabla 30. <i>Datos de la medición y comparación normativa para el análisis de lixiviados</i> ...	45
Tabla 31. <i>Datos de la medición y comparación normativa para el análisis del recurso suelo con en la central Paute-Mazar</i>	46
Tabla 32. <i>Plan de manejo ambiental para el recurso agua</i>	87
Tabla 33. <i>Plan de manejo ambiental para el recurso suelo</i>	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Vista de la represa Mazar</i>	7
Figura 2. <i>Ubicación de la central hidroeléctrica Molino</i>	8
Figura 3. <i>Ubicación de la central hidroeléctrica Molino</i>	8
Figura 4. <i>Vista del acceso a la Central Sopladora</i>	9
Figura 5. <i>Pestaña de inicio</i>	49
Figura 6. <i>Pestaña de guía de usuario</i>	49
Figura 7. <i>Pestaña de mapa de puntos</i>	50
Figura 8. <i>Pestaña de agua cruda</i>	51
Figura 9. <i>Pestaña de agua residual</i>	51
Figura 10. <i>Pestaña del agua potable</i>	52
Figura 11. <i>Pestaña de agua de río</i>	52
Figura 12. <i>Pestaña de lixiviados</i>	53
Figura 13. <i>Pestaña del suelo</i>	53
Figura 14. <i>Pestaña de descarga de reportes</i>	54
Figura 15. <i>Opción de visualización “Variación temporal” del aplicativo</i>	54
Figura 16. <i>Visualización de la comparación con la normativa ambiental de los parámetros medidos en el punto “Quebrada campamento” de la central Paute-Mazar</i>	56
Figura 17. <i>Visualización del cumplimiento normativo de los parámetros en el punto “Quebrada campamento” de la central Paute-Mazar</i>	57
Figura 18. <i>Visualización de la comparación con la normativa ambiental de los parámetros medidos en el punto “Planta_de_agua_potable” de la central Paute-Molino</i>	58
Figura 19. <i>Visualización del cumplimiento normativo de los parámetros en el punto “Planta_de_agua_potable” de la central Paute-Molino</i>	58
Figura 20. <i>Visualización de la comparación con la normativa ambiental de los parámetros medidos en el punto “Casa_de_máquinas” de la central Paute-Sopladora</i>	61
Figura 21. <i>Vista de los parámetros medidos en el punto “Escombrera_llavircay” de la central Paute-Mazar vs. los límites máximos permisibles</i>	62
Figura 22. <i>Vista del cumplimiento y no cumplimiento normativo de los parámetros medidos en el punto “Escombrera_llavircay” de la central Paute-Mazar</i>	63
Figura 23. <i>Vista de los parámetros medidos en el punto “Campamento_guarumales relleno_sanitario” de la central Paute-Molino vs. límites máximos permisibles</i>	64

Figura 24. Vista del cumplimiento y no cumplimiento normativo de los parámetros medidos en el punto “Campamento_guarumales relleno_sanitario” de la central Paute-Molino	65
Figura 25. Vista de los parámetros medidos en el punto “Hormigonera_parte_alta” de la central Paute-Sopladora vs. límites máximos permisibles.	66
Figura 26. Vista del cumplimiento y no cumplimiento normativo de los parámetros medidos en el punto “Campamento_guarumales relleno_sanitario” de la central Paute-Sopladora..	67
Figura 27. Variación histórica del potencial de hidrógeno (pH unidad de pH) medidos en el punto “Quebrada campamento”	68
Figura 28. Variación histórica de la DBO5 (mg/l) medidos en el punto “Quebrada campamento”	69
Figura 29. Variación histórica del hierro (Fe mg/l) medidos en el punto “Quebrada campamento”	70
Figura 30. Variación histórica de los coliformes totales (CF nmp/100ml) del punto “Planta_de_agua_potable”	71
Figura 31. Variación histórica de la turbiedad (UNT) del punto “Planta_de_agua_potable”	72
Figura 32. Variación histórica de la BDO5 (mg/l) del punto “Planta_de_agua_potable” ..	73
Figura 33. Variación histórica del color real (u.pt.co) del punto “Planta_de_agua_potable”	74
Figura 34. Variación histórica de aceites y grasas (mg/l) del punto “Casa_de_máquinas”	75
Figura 35. Variación histórica de los coliformes fecales (mg/l) en el punto “Casa_de_máquinas”	76
Figura 36. Variación histórica de los coliformes fecales (mg/l) en el punto “Casa_de_máquinas”	77
Figura 37. Variación histórica del sulfuro (mg/l) en el punto “Casa_de_máquinas”	78
Figura 38. Variación histórica de aceites y grasas (mg/kg) en el punto “Taller carpintería” de la central Paute-Molino	79
Figura 39. Variación histórica del cobre (mg/kg) en el punto “Taller carpintería” de la central Paute-Molino	81
Figura 40. Variación histórica del pH (unidad de pH) en el punto “Taller carpintería” de la central Paute-Molino	82
Figura 41. Variación histórica del plomo (mg/kg) en el punto “Taller carpintería” de la central Paute-Molino	83

Figura 42. <i>Variación histórica bifenilos policlorados PCBs (mg/kg) en el punto “Taller carpintería” de la central Paute-Sopladora.....</i>	<i>84</i>
Figura 43. <i>Variación histórica de hidrocarburos totales de petróleo (mg/kg) en el punto “Taller carpintería” de la central Paute-Sopladora.....</i>	<i>85</i>
Figura 44. <i>Vista del contenido de reportes periódicos en formato Pdf generado por el aplicativo.....</i>	<i>86</i>

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico	99
ANEXO 2: NTE INEN 1108: Agua potable requisitos.....	99
ANEXO 3: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	101
ANEXO 4: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios	103
ANEXO 5: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.....	104
ANEXO 6: Criterios de remediación (valores máximos permisibles)	105
ANEXO 7: Modelo de reporte semestral del agua potable	107

Jenny Maribel Wambanguito Shariano

Nancy Elizabeth Muñoz Morocho

Trabajo de Titulación

MSc. Julia Martínez Gavilanes

Agosto, 2022

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

Las centrales hidroeléctricas son fuentes principales generadoras de energía eléctrica, sin embargo, contribuyen a la contaminación de los recursos naturales y es uno de los factores que coadyuvan a la pérdida de la biodiversidad en el mundo. La protección de los recursos naturales y ecosistemas dentro de las áreas de influencia de las centrales hidroeléctricas es un tema que ha cobrado una relevante importancia alrededor del mundo, debido a su rol en la contaminación ambiental (Osorio Rosado, 2018).

Actualmente, se cuenta con una amplia información acerca de la protección de los recursos naturales en las centrales hidroeléctricas, y gracias a la legislación ambiental que exige el cumplimiento de llevar una gestión integral del manejo, control, descargas y vertidos de sus efluentes, se ha logrado remediar los efectos de la contaminación de los ecosistemas. Entonces con énfasis en el cumplimiento de las normativas, es necesario conocer el recurso afectado y para ello se requiere de monitoreos ambientales, puesto que ayudan a evaluar el estado del medio ambiente. En Ecuador, la unidad de negocios CELEC SUR, es la encargada de administrar y gestionar el manejo de las centrales hidroeléctricas: Paute- Mazar, Paute- Molino y Paute – Sopladora, por lo tanto, y de conformidad con la exigencia de la normativa vigente del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, realizan un control operativo a través de programas de monitoreos semestrales y anuales de los recursos agua y suelo.

De la información que se recoge de los monitoreos ambientales se genera una base de datos extensa, lo que provoca conflictos a los usuarios y técnicos en el análisis e interpretación, así como en la toma de decisiones frente a los parámetros que no cumplen con los criterios de calidad del recurso analizado. En este sentido y tomando en cuenta la constante búsqueda de estrategias de organización de datos, análisis y presentación de resultados que faciliten agilizar

proyectos que contienen una extensa base de datos, este trabajo de titulación plantea crear una herramienta interactiva usando el software RStudio que ayude a organizar, graficar, analizar y generar reportes automáticos de la comparación de los parámetros del agua y suelo con sus límites permisibles establecidos en la normativa ambiental, y de esta manera brindar un aporte a la gestión ambiental de las centrales generadoras de energía eléctrica del sur del Ecuador.

Si bien este trabajo utiliza una herramienta informática en su desarrollo, el enfoque principal, y la contribución del presente trabajo, son los procesos de organización de datos, análisis y presentación de resultados basados en el conocimiento técnico en gestión ambiental adquiridos en la carrera de Ingeniería Civil.

1.2 Antecedentes

Hoy en día se avanzado notablemente en la gestión integral del manejo y control de las áreas sensibles que han sido afectadas de manera directa o indirecta por la presencia de las centrales hidroeléctricas. El departamento ambiental de CELEC EP puntualizó que en sus estudios de impactos ambientales se identificaron aspectos e impactos ambientales significativos por las operaciones de las centrales hidroeléctricas a través de herramientas de planes de manejo ambiental (PMA) y otras actividades como la gestión de desechos, medidas de control para el manejo de concentraciones altas de hidrocarburos, aceites y grasas, entre otros parámetros que representen un peligro para la alteración de la naturaleza, y que se mitigaron mediante medidas correctivas y preventivas.

Por otro lado, por primera vez en el Ecuador Lobo y Bajaña (2018) realizaron un análisis de la calidad del agua en la cuenca del río Paute, para lo que emplearon un ICA (Índice de Calidad del Agua) que desarrollaron Brown et al. (1970). En el análisis se implementaron registros de monitoreo de agua elaborados por CELEC EP y softwares estadísticos (PAST y IQADData), con el fin de identificar indicadores con altos niveles de concentración en el área de estudio. Como resultado de su análisis se obtuvieron dos parámetros con valores máximos como: el fosfato (PO_4^{3-}) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).

En otros estudios, la Universidad de Pamplona diseñó un software denominado "ICATEST V1.0", con el objetivo de medir el ICA de manera sistemática, lo cual arrojó resultados óptimos, puesto que esta herramienta facilita el cálculo del caudal de agua, calidad del agua e índices de

contaminación, también permite generar y guardar reportes históricos y llevar a cabo estudios comparativos de calidad del agua (Fernández et al., 2004).

Adicionalmente, el Utah Department of Environmental Quality [UDEQ] (2019) desarrolló un aplicativo web con la finalidad de posibilitar la visualización interactiva de los datos de la calidad del lago recopilados por la División de Calidad del Agua de Utah (DWQ). Sus resultados fueron satisfactorios, pues esta plataforma permite al usuario revisar y realizar evaluaciones de la calidad del agua con base en el uso de la vida acuática a partir de los datos del perfil del lago Utah.

Hasta la fecha de la realización de este proyecto, no existen estudios sobre la calidad del agua y suelo aplicados a centrales hidroeléctricas en el país, que realicen una comparación automática con las normas ambientales, que se vincule con un sistema web interactivo y genere reportes periódicos de la evaluación de los criterios de calidad de los recursos agua y suelo, y, además, ayude a optimizar la interpretación de los resultados de monitoreos ambientales. De este modo, con este trabajo se busca estructurar una herramienta que conciba producir visualizaciones rápidas e interactivas que involucren las variables agua y suelo, y evalúe automáticamente los criterios de calidad de estos recursos basados en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

1.3 Alcance

El nivel de conocimiento que se procuró generar con este trabajo inició a partir de una investigación profunda sobre los dictámenes normativos para la valoración del índice de calidad del agua y suelo con énfasis en la protección de los ecosistemas acuáticos y geológicos involucrados en las actividades de las centrales hidroeléctricas, las cuales se describieron en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

Teniendo en cuenta la consideración anterior, mediante la estadística descriptiva se lleva a cabo la tabulación y procesamiento de la información proporcionada por parte de CELEC SUR, con el fin de evaluar el cumplimiento de los límites permisibles de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua, los cuales son regulados por la Norma para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental del Recurso Agua en Centrales Hidroeléctricas y, de igual forma, con los parámetros orgánicos e inorgánicos del suelo bajo la Norma para la Prevención

y Control de la Contaminación Ambiental del Recurso Suelo en Centrales de Generación de Energía Eléctrica.

Posteriormente, se produjo una interfaz gráfica, dinámica e interactiva para la visualización de tablas y gráficas que se elaboraron para el análisis de las variables del agua y suelo. Para esto se utilizó el paquete Shiny del software RStudio, esto permite que los usuarios interactúen con los datos y generen informes periódicos semestrales y anuales de acuerdo con el año de monitoreo. Como producto final se propusieron medidas correctivas de los parámetros que no cumplan con los límites máximos permisibles a través de un plan de acción general.

Si bien este trabajo utiliza una herramienta informática en su desarrollo, el enfoque principal, y la contribución del presente trabajo, son los procesos de organización de datos, análisis y presentación de resultados basados en el conocimiento técnico en gestión ambiental adquiridos en la carrera de Ingeniería Civil.

1.4 Justificación

Las centrales hidroeléctricas son sistemas que requieren de un plan de manejo ambiental adecuado y, aún más importante, la obligatoriedad de monitoreos periódicos del agua y suelo comprometidas dentro de sus áreas de influencia. Para este efecto, a través del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, el Estado ecuatoriano estableció los criterios técnicos ambientales para la protección de la flora y fauna, la salud e integridad de las personas y el equilibrio de los ecosistemas involucrados en las actividades de generación eléctrica (Ministerio del Ambiente, 2015). Siguiendo esta línea, CELEC SUR es responsable del manejo integral de las centrales Mazar, Molino y Sopladora, por consiguiente, se encarga de realizar monitoreos y toma de muestras periódicamente para determinar el estado de la calidad del agua y suelo.

Con esta información se requiere analizar el cumplimiento normativo a través de una herramienta interactiva que facilite la visualización dinámica, rápida y sistematizada de los parámetros que estén fuera del rango o del límite permisible. Así pues, los beneficios que brindará esta herramienta de gestión ambiental llevarán a los técnicos de CELEC SUR a fortalecer su actuación y generar planes correctivos, en consecuencia, incrementará la eficacia de los procesos.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar reportes automáticos como un sistema de ayuda al monitoreo de calidad ambiental (agua y suelo), y verificación del cumplimiento de la norma ambiental de las centrales hidroeléctricas Mazar, Molino y Sopladora, como soporte a la generación de planes de acción ambientales.

1.5.2 Objetivos específicos

- Preparar e integrar la información de monitoreo ambiental de agua y suelo a la base de datos espaciotemporal de CELEC SUR, así como los límites permisibles de acuerdo con la norma ambiental vigente.
- Analizar la variación histórica del monitoreo ambiental de agua y suelo por sitio de monitoreo, por central y a diferentes agregaciones temporales (semestral y anual) por medio de tablas y gráficos estadísticos en el software R.
- Facilitar la gestión técnica del personal de CELEC SUR a través de reportes periódicos funcionales de visualización y de alerta de cumplimiento normativo para las variables agua y suelo mediante la aplicación de la herramienta Shiny de R.
- Recomendar medidas correctivas por medio de un plan de acción general y prioritario para las variables que excedan los límites permisibles de la norma de manera más frecuente.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

El propósito de este capítulo fue recolectar la información y explicar conceptualmente los aspectos teóricos necesarios para lograr una mejor comprensión para los lectores de este proyecto. Actualmente, resulta importante analizar los impactos ambientales que se producen por la construcción y operación de centrales hidroeléctricas, puesto que esta es la fuente de energía que más se utiliza en Ecuador, por ende, es preciso conocer de manera amplia el cuerpo legal aplicable al medio ambiente que rigen las actividades que se ejecutan en el territorio nacional.

La norma ambiental vigente del Ecuador para la prevención y control de la flora y fauna en áreas afectadas por las centrales hidroeléctricas establece la obligatoriedad de planes de manejo ambiental en los que se incluya monitoreos trimestrales, semestrales y anuales de los recursos naturales, con el afán de mantener el equilibrio en los ecosistemas. Con base en lo anterior, se describieron algunas de las definiciones que se consideraron relevantes para el desarrollo de este proyecto.

2.1 Definición del área de estudio

En el presente trabajo se analizó el cumplimiento normativo ambiental de los recursos agua y suelo en las instalaciones operacionales que comprenden a las centrales Paute-Mazar, Paute-Molino y Paute-Sopladora, las cuales administra la unidad de negocios CELEC SUR.

2.1.1 Central Paute-Mazar

La Central Hidroeléctrica Paute-Mazar se ubica al sureste del Ecuador, entre las provincias del Azuay y Cañar. El sitio donde empieza el proyecto es aproximadamente en el kilómetro 105 de la vía Cuenca-Paute-Guarumales y aprovecha las aguas del río Paute. Hoy en día, esta central cuenta con una capacidad instalada de 170 MW (megavatios) y con un embalse formado por una presa tipo enrocado con pantalla de hormigón de 166 metros de altura y 340 metros de longitud, lo que permite almacenar un volumen de agua total de 420 Hm³ (CELEC SUR, 2020).

Figura 1.

Vista de la represa Mazar



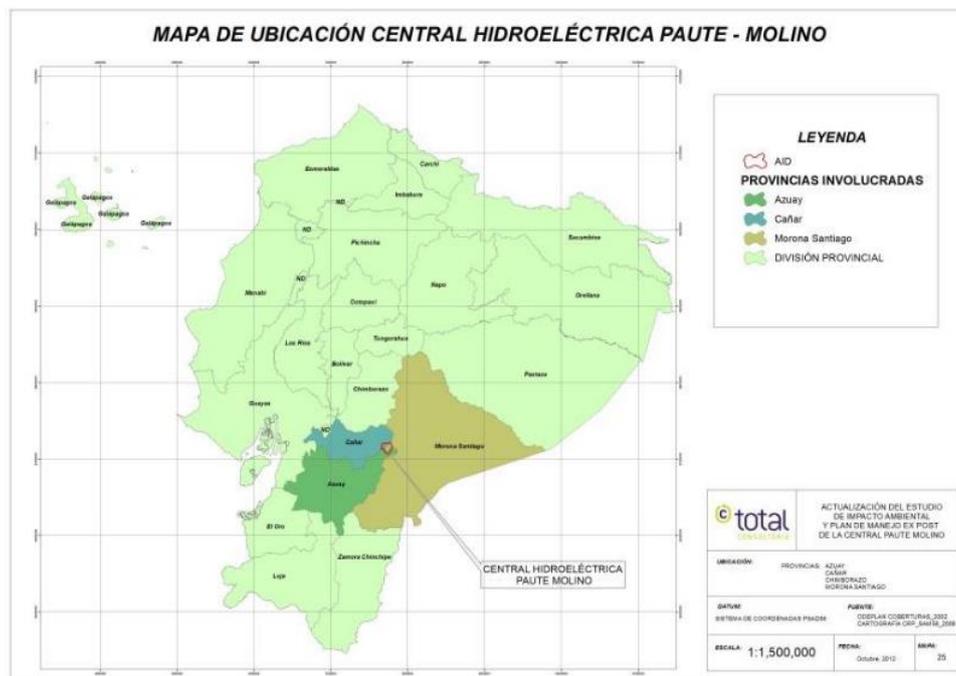
Nota. Información tomada de página web oficial de la unidad de negocio CELEC SUR.

Fuente: <https://www.celec.gob.ec/celecsur/>

El proyecto operacional de esta central dispone de instalaciones correspondientes a las áreas en donde se implementan obras temporales y permanentes diseñadas para la central Mazar, tales como la presa, casa de máquinas, campamentos, talleres, bodegas, almacenamiento de combustibles, túneles, caminos de acceso interior, torre de control, campamentos, entre otros, en las que periódicamente realizan auditorías ambientales en función del cumplimiento normativo ambiental del país.

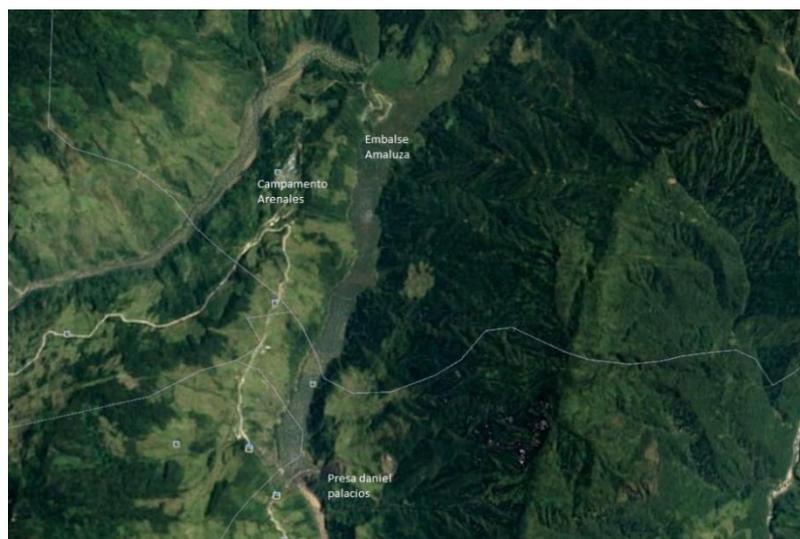
2.1.2 Central Paute-Molino

La central hidroeléctrica Paute-Molino se sitúa en el límite de las provincias del Cañar, Chimborazo, Azuay y Morona Santiago, a 125 km de la ciudad de Cuenca, la capital azuaya y a 50 km de Santiago de Méndez, perteneciente a la provincia de Morona Santiago. Esta central comienza desde la Cola del embalse Amaluza, aprovecha el caudal del río Paute y se abastece del embalse Amaluza y de la central Mazar. Su presa, denominada Daniel Palacios, se construyó en arco de hormigón y tiene una altura de 170 metros y una longitud de coronación de 420 metros, así mismo, posee una capacidad de almacenamiento de 120 millones de m³ con un volumen útil de 90 millones de m³, lo que le posibilita aportar 1.100 MW (megavatios) de energía eléctrica al país (CELEC SUR, 2020).

Figura 2.*Ubicación de la central hidroeléctrica Molino*

Nota. Información tomada de página web oficial de la unidad de negocio CELEC SUR

Fuente: <https://www.celec.gob.ec/celecsur/index.php/generacion/paute-molino>

Figura 3.*Ubicación de la central hidroeléctrica Molino*

Nota. Información tomada de página web oficial de la unidad de negocio CELEC SUR

Fuente: <https://www.celec.gob.ec/celecsur/index.php/generacion/paute-molino>

En términos de los sitios auditados, estos alcanzan las instalaciones, áreas construidas y de emplazamientos de la central, presa, embalse, túnel de carga, casa de máquinas, edificio de control, patio de maniobras, talleres, planta de tratamiento de agua potable, rellenos sanitarios, bodegas, entre otros.

2.1.3 Central Paute-Sopladora

Entre las elevaciones 1.314 y 929 msnm, aguas abajo de la central Molino y el límite provincial del Azuay y Morona Santiago, se encuentra la central Sopladora, que aprovecha un salto bruto de 386 metros de las aguas turbinadas provenientes de la central Paute Molino, y aporta 2.800GWh anualmente al Sistema Nacional Interconectado. Para acceder a la zona del proyecto se usa la carretera Sevilla de Oro-Méndez, desde donde arrancan dos caminos de acceso, el primero al Patio de Maniobras y el segundo a la Casa de Máquinas y el Túnel de Descarga. Una de las características de esta central es que es subterránea y se ubica al margen derecho del río Paute, entre las quebradas Sopladora y Palmira, que cruza el río Paute mediante un paso subfluvial (CELEC, s.f., párr. 1).

Al igual que en las otras centrales, se llevan a cabo auditorías ambientales en todas sus instalaciones y obras permanentes, tales como el túnel de descarga, oficinas y cuartos de control, talleres, campamentos, área de polvorines, patio de maniobras, casa de máquinas subterráneas y obras anexas, etc.

Figura 4.

Vista del acceso a la Central Sopladora



Nota. Información tomada de página web oficial de la unidad de negocio CELEC SUR

Fuente: <https://www.celec.gob.ec/celecsur/index.php/generacion/paute-molino>

2.2 Marco legal

Es trascendental considerar el marco legal ambiental vigente adaptable a la generación y distribución de energía eléctrica dentro del territorio ecuatoriano, la cual regula las decisiones específicas que se tomen, con el fin de prevenir y controlar su impacto en el área de influencia del proyecto. En este orden de ideas, a continuación se menciona la base legal que se relaciona de manera directa e indirecta con las actividades de la productividad energética:

- *Constitución de la República del Ecuador (2008):*

En esta se especifican los deberes y responsabilidades para con el ambiente. En concordancia con la norma suprema del país, la Constitución de la República del Ecuador destaca en su Capítulo II, Sección 2ª. Art. 14., el derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kaway*. Más adelante, en el Art. 15, se señala que el Estado promoverá el uso de tecnologías y energías ambientalmente limpias con el fin de conseguir una soberanía energética sin comprometer la soberanía alimentaria del país, ni afectar derecho al agua.

Por su parte, en el Capítulo VII sobre los derechos de la naturaleza en los artículos 71, 73, 74, se enfatiza que la naturaleza tiene derecho al respeto integral de su existencia, mantenimiento y regeneración de ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Además, determina que toda persona deberá exigir a las autoridades el cumplimiento de este derecho. Al mismo tiempo, el Estado deberá comprometerse a tomar medidas para la precaución y restricción a actividades que conlleven alguna perturbación en la naturaleza.

En el Art. 314, Numeral 3, del Título V, Capítulo Sectores Estratégicos, Servicios y Empresas Públicas, se menciona que es responsabilidad del Estado proporcionar los servicios básicos de saneamiento, agua potable y riego, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, entre otros servicios que son indispensables para el buen vivir y desarrollo económico. Por último, en el Título VII que alude al Régimen del Buen Vivir, en el Capítulo segundo sobre Biodiversidad y recursos naturales, sección sexta Agua, Artículo 411, se especifica que el Estado regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de un recurso hídrico.

- *Código Orgánico del Ambiente, publicado en el RO. 983 de 12 de abril de 2017:*

El Código Orgánico del Ambiente, en su Libro Tercero de la Calidad Ambiental, Art. 158, regula los instrumentos, procedimientos, mecanismos, actividades, responsabilidades y obligaciones públicas y privadas en materia de la calidad ambiental. Así mismo, en el Título II del Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA), Art.162, señala la obligatoriedad que todo proyecto, obra o actividad, que puedan causar riesgos o impactos ambientales, deberán cumplir con las disposiciones y principios que rigen al SUMA, en concordancia con lo establecido en este cuerpo normativo.

En la misma línea, el Capítulo IV de los Instrumentos para la regularización ambiental, Art. 181, indica que el plan de manejo ambiental será el único instrumento de cumplimiento obligatorio para el operador, el cual comprende varios subplanes, en función de las características del proyecto. El objetivo del plan de manejo será instituir en detalle y orden las acciones cuya ejecución se requiera para prevenir, evitar, controlar, mitigar, corregir, compensar, restaurar y reparar según corresponda.

En el Capítulo V de la “Calidad de los Componentes Abióticos y Estados de los Componentes Bióticos”, Art. 191, menciona que la Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, en conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto. Así mismo, se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de acuerdo con las reglas establecidas en este Código. Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica a los cuerpos hídricos y al suelo, con el objetivo de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

En el Título III del “Control y Seguimiento Ambiental” Art. 199, se precisa que las acciones de control y seguimiento de la calidad ambiental tienen como propósito verificar el cumplimiento de la normativa y las obligaciones ambientales correspondientes, así como la efectividad de las medidas para prevenir, evitar y reparar los impactos o daños ambientales. Más adelante, el Art. 208., indica que la obligatoriedad del monitoreo de las emisiones, descargas y vertidos será responsabilidad única del operador, con la finalidad de que estas

cumplan con la norma ambiental. Así pues, la Autoridad Ambiental Competente efectuará el seguimiento respectivo y solicitará al operador el monitoreo de las descargas, emisiones y vertidos, o de la calidad de un recurso que pueda verse afectado por su actividad. Los costos del monitoreo los asumirá el operador. La normativa secundaria establecerá, según la actividad, el procedimiento y plazo para la entrega, revisión y aprobación de tal monitoreo. La información que se genere procese y sistematice de los monitoreos será de carácter público y se deberá incorporar tanto al Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) como al sistema de información que administre la Autoridad Única del Agua en lo que corresponda.

- *Texto Unificado de Legislación Secundaria, mediante Acuerdo N.º 109, publicado en el Registro Oficial del 11 de abril de 2019:*

El Texto Unificado de Legislación Secundaria constituye un cuerpo normativo que agrupa las normas reglamentarias más importantes del manejo ambiental en el Ecuador. Estos cuerpos legales tienen como objetivo la prevención, control, protección, conservación y recuperación de los recursos naturales para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, ecosistemas y del ambiente en general.

En el Capítulo X del Control y Seguimiento Ambiental, Art. 247, se precisa lo siguiente:

“La Autoridad Ambiental competente ejecutará el seguimiento y control sobre todas las actividades de los sujetos de control, sean estas personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, nacionales o extranjeras, que generen o puedan generar impactos y riesgos ambientales y sean tengan el correspondiente permiso ambiental o no.”

Por otro lado, en los Capítulos III, IV y V del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), se reglamentan amplia y pormenorizadamente los elementos, metodologías y alcances de los estudios de impacto ambiental; sus términos de referencia y componentes; las revisiones y aprobaciones por parte de la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable; el seguimiento, monitoreo y auditorías ambientales en procura de vigilar el cumplimiento de los planes de manejo; la vigilancia comunitaria; las diversas instancias, momentos y mecanismos de la participación ciudadana; las causales para la revocatoria de los permisos, entre otros.

En el Capítulo VIII, Sección III, Art. 209, de la Calidad del Agua, estipula que la evaluación y control de la calidad de agua se realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreos de descargas, vertidos y cuerpos receptores; dichos lineamientos se detallan en el Anexo I del TULSMA. Además, se menciona que la Autoridad Ambiental Competente podrá disponer al Sujeto de Control responsable de las descargas y vertidos, para que realice muestreos de sus descargas, así como del cuerpo de agua receptor.

Con respecto a la calidad de suelos, el Art. 212 de la Sección III del capítulo anterior, indica que se deberán llevar a cabo muestreos y monitoreos ambientales periódicos, para una adecuada caracterización de este recurso dentro de los estudios ambientales, y se regirá a las metodologías estipuladas en el Anexo II del libro VI de este marco normativo. En esta misma línea, ordena a La Autoridad Ambiental Competente y las entidades del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, en el marco de sus competencias, realizar el control y cumplimiento de la calidad del suelo en conformidad con las normas técnicas expedidas para este efecto.

Específicamente en lo que concierne a las auditorías ambientales y al seguimiento de los Planes de Manejo Ambiental, el mismo cuerpo legal (ACUERDO MINISTERIAL 109) establece los mecanismos en los artículos 264, 269 y 270:

- La auditoría ambiental es una herramienta de gestión que abarca conjuntos de métodos y procedimientos de carácter fiscalizador, los cuales utiliza la autoridad ambiental competente para evaluar el desempeño ambiental de un proyecto, obra o actividad.
- Las auditorías ambientales las elaborará un consultor calificado y con base en los respectivos términos de referencia correspondientes al tipo de auditoría.
- Sin perjuicio de que la autoridad ambiental competente pueda disponer que se realice una auditoría ambiental de cumplimiento en cualquier momento, una vez se cumple el año de otorgado el permiso ambiental a las actividades, se deberá presentar el primer informe de auditoría ambiental de cumplimiento; posteriormente, el sujeto de control deberá presentar los informes de las auditorías ambientales de cumplimiento cada dos años. En el caso de actividades reguladas por cuerpos normativos sectoriales, el regulado presentará la auditoría ambiental en los plazos establecidos en dichas normas.

- De identificarse incumplimientos en el Plan de Manejo Ambiental durante las auditorías ambientales o a la normativa ambiental aplicable, presencia de fuentes de contaminación, daños o pasivos ambientales, el sujeto de control responsable deberá tomar las medidas pertinentes para su corrección y reparación ambiental integral (ambiental) mediante un plan de acción.

El plan de acción detallará las actividades que ejecutará el sujeto de control con los respectivos cronogramas, responsables, presupuestos y medios de verificación, con el fin de corregir los incumplimientos identificados; de ser el caso, se incorporarán actividades de reparación, restauración o remediación ambiental que correspondan (Ministerio del Ambiente, 2015).

En lo referente a los controles de la contaminación ambiental del agua por operadores de centrales hidroeléctricas, este instrumento normativo dispone de la “Norma para la prevención y control de la contaminación ambiental del recurso agua en las centrales hidroeléctricas” en su Anexo 1B. Este tiene como objetivo fundamental la protección de la calidad del agua para salvaguardar la salud e integridad de las personas y proteger el equilibrio de los ecosistemas acuáticos incluidos en todas las actividades de generación eléctrica. Además, su cumplimiento es obligación de todo los regulados que sean propietarios, administradores, operadores o arrendatarios de centrales hidroeléctricas (Ministerio del Ambiente, 2015).

Para este efecto, se establecieron criterios técnicos ambientales con el fin de prevenir y controlar la contaminación del agua y los requerimientos de la calidad del este recurso. El TULSMA regula las siguientes normas técnicas de las que hace uso para el análisis de la calidad del agua en las centrales hidroeléctricas y la NTE INEN 1108:

- Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo 1) del TULSMA (2015).
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108: Agua potable; Requisitos.

Posteriormente, en el Anexo 2A se encuentra la “Norma para la prevención y control de la contaminación ambiental del recurso suelo en centrales de generación eléctrica”. Dentro de los objetivos de esta normativa, se establece la obligatoriedad de generar mecanismos e instancias para regular la gestión integral del recurso suelo, con el propósito de prevenir y controlar la

contaminación de este como resultado de las actividades anexas a los procesos de generación eléctrica (Ministerio del Ambiente, 2015).

En tal sentido, para el análisis de los criterios de remediación de los suelos contaminados y los valores permisibles de este recurso se regirá estrictamente al cumplimiento de los parámetros que se determinaron en la siguiente normativa:

- Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados (Anexo 2) del TULSMA (2015).

2.3 Conceptos de monitoreos ambientales de los recursos agua y suelo

2.3.1 Definición de monitoreo ambiental

Los monitoreos ambientales representan instrumentos fundamentales para materializar un plan de gestión ambiental, así como contribuir a la planificación y toma de decisiones en el ámbito del manejo de los recursos naturales y la protección de la biodiversidad de los ecosistemas naturales (López et al., 2012).

En este sentido, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura [UNESCO] (2002) consideró al monitoreo ambiental como una posibilidad de evaluación constante del proceso de gestión ambiental, en el que se identifican aspectos negativos que se deben tener en cuenta en un plan de medidas correctivas y preventivas orientadas a la conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Así, la eficiencia de la gestión ambiental dependerá de la selección de las variables ambientales, la localización de los puntos de monitoreo de las estaciones de control, frecuencia y registro de muestras. Con esta información se podrá tomar medidas correctivas o preventivas de acuerdo con el cumplimiento de los estándares que se establecieron en la legislación.

En este orden de ideas, CELEC SUR (2020) utilizó la metodología de monitoreos ambientales en las centrales hidroeléctricas, la cual consiste en la medición de las variables de carácter físico, químico y biológico, para determinar la calidad del aire, agua y suelo en todo el ecosistema de las centrales y así contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas, además de garantizar la existencia de ecosistemas saludables, viables y un desarrollo sustentable.

2.3.2 Calidad del agua

El diagnóstico de la calidad del agua en las centrales hidroeléctricas es fundamental en el marco de la evaluación ambiental, pues sus embalses no solo se construyen para proveer energía, sino también constituyen grandes reservorios de agua para consumo humano, animal y riego en cultivos agrícolas (Losada et al., 2020). Por ello es que, resulta complejo encontrar una definición de la calidad del agua en las centrales hidroeléctricas en términos cuantitativos, debido a los factores que intervienen en los procesos de análisis y a la amplia cantidad de variables y subvariables que se emplean para describir el estado de los cuerpos del agua en las áreas de las estructuras de las centrales. En la actualidad, los conocimientos sobre la calidad del agua evolucionaron con el pasar de los tiempos, gracias a la importancia y necesidad de preservar este recurso. Así mismo, es importante conocer aspectos como composición, características, especificaciones y aspectos físicos de las sustancias orgánicas e inorgánicas que determinan la calidad de un ambiente acuático (Sierra, 2011).

En tal sentido, Boyd (2015) definió la calidad del agua como la condición en la que se encuentra un cuerpo de agua disponible para un propósito en particular, y estas condiciones se determinan por las propiedades físicas, químicas y biológicas que ayudan a describir su nivel de aceptación según su aplicabilidad y usos. Además, los cambios en estas propiedades pueden alterar la idoneidad del agua requerida para los sistemas ecológicos naturales y los usos del ser humano. La representación de la calidad del agua se puede realizar fundamentalmente de dos maneras:

- a) A través de la medición de variables físicos, químicas y microbiológicos.
- b) Mediante el uso de un índice de calidad del agua.

La calidad presenta variaciones espaciales y temporales a causa de factores externos e internos al cuerpo de agua (Sierra, 2011). En términos de calidad del agua en las centrales hidroeléctricas, en el Ecuador se concibe en mantener bajos los valores permisibles que estableció la normativa ambiental vigente (TULSMA) de las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua que se utiliza en el proceso de generación eléctrica, teniendo en cuenta que aguas debajo de las centrales hidroeléctricas, el agua se sigue aprovechando.

2.3.3 Índices de la calidad del agua

Según la Norma para la prevención y control de la contaminación ambiental del recurso agua en centrales hidroeléctricas, en el Libro VI anexo IB, el Ministerio del Ambiente (2015) determina lo siguiente:

“El Índice de la Calidad del Agua (WQI) sirve para indicar el grado de contaminación del agua a una fecha de muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura. El agua altamente contaminada tendrá un WQI (Water Quality Index) cercano o igual a 0 %, en tanto que el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano o igual al 100 %. Para simplificar la interpretación de los datos de su monitoreo, existen índices de calidad de agua y de contaminación, los cuales reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación entre técnicos, administradores ambientales y el público en general (p. 1).”

En resumen, el índice WQI es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico a través de la integración de las mediciones y muestreos de determinados parámetros del agua para determinar las tendencias integradas a los cambios en su calidad (Torres et al., 2009). La Tabla 1 muestra las ecuaciones de cálculo de los WQI, asociados por grupos según el país.

Tabla 1.

Ecuaciones de cálculo empleados para medir los WQI

Grupo	Índice	Ecuaciones	Observaciones
1	ICA NSF(EEUU) ICA Dinius(EEUU) IQA CETESB (Brasil) ICA Rojas (Colombia)	$ICA = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i}$	Promedio ponderado: Wi: peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro. Ii: subíndice de i-ésimo parámetro.

2	CCME-WQI (Canadá) DWQI (EEUU)	$ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$	<p>El índice incorpora tres elementos:</p> <p>F1: porcentaje de parámetros individuales de cada parámetro que excede la norma.</p> <p>F2: porcentaje de pruebas individuales de cada parámetro que excede la norma.</p> <p>F3: magnitud en la que excede la norma cada parámetro que no cumple.</p> <p>Promedio aritmético ponderado:</p> <p>Wi: peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro.</p> <p>li: subíndice de i-ésimo parámetro.</p> <p>T: temperatura.</p> <p>DQO: demanda química de oxígeno.</p> <p>OD: oxígeno disuelto.</p> <p>Cond: conductividad.</p> <p>SS: sólidos suspendidos.</p>
3	UWQI (Europa)	$UWQI = \sum_{i=1}^1 Wili$	
4	ISQA (España)	$ISQA = T(SQO + S + OD + Cond)$	

Nota. Tomada de “Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano”, por Torres et al. (2009).

Fuente: <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/59>

2.3.4 Monitoreo de la calidad del agua

El monitoreo de la calidad del agua en las centrales hidroeléctricas abarca el seguimiento sistemático por medio del muestreo y toma de datos de campo en períodos determinados. Estos tiempos son los que definen la información correcta, la cual permite evaluar los parámetros de calidad que guardan relevancia con los usos del cuerpo receptor (Ministerio del Ambiente, 2015).

2.3.5 Toma de muestras

Las tomas de muestras tienen la capacidad de definir las caracterizaciones del agua, y con esto se puede verificar la calidad del agua cruda, potable, residual, de río, lixiviados y de suelos. Estos trabajos constituyen el punto de partida para promover el cumplimiento normativo de los parámetros y tomar acciones correctivas orientadas a la recuperación y protección de los recursos hídricos (Arangoitia, 2018).

2.3.6 Parámetros que conforman el WQI (Water Quality Index)

Los parámetros que se deben incluir en los WQI están marcados estrictamente por el criterio de expertos, agencias o entidades gubernamentales, quienes determinan su importancia en el ámbito legislativo al establecerlos como estándar de calidad del agua (Fernández et al., 2004). Para la selección de los parámetros, Dunnette (1979) propuso seleccionar los parámetros de las cinco categorías más reconocidas, como eutrofización, nivel de oxígeno, características físicas y sustancias disueltas.

Por otro lado, en la investigación de Brown et al. (1970), recomendaron la selección de nueve parámetros que se consideran relevantes para determinar el WQI, entre ellos, coliformes totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), potencial de hidrógeno (pH), turbidez (TU), temperatura (T), fosfato (PO_4^{3-}), oxígeno disuelto (OD), sólidos totales disueltos (SDT) y el nitrato (NO_3^-). Cabe mencionar que estos parámetros pueden variar de acuerdo con la utilización de las ecuaciones para evaluar el WQI de la Tabla 1.

2.3.7 Parámetros físicos del agua

En este apartado se plasma el contenido de los parámetros físicos de la calidad del agua según los datos facilitados por CELEC SUR.

- Sólidos suspendidos totales:

Los sólidos suspendidos totales son partículas mayores a $1.2 \mu m$ de diámetro, más grandes que las partículas disueltas. Algunas son insolubles y se transportan por los cuerpos de agua mediante suspensiones estables y variables, mientras se arrastran por la corriente del agua. A estos sólidos también se los conoce como la porción que se retiene por un filtro de fibra de vidrio producto de la toma de una muestra de agua natural, residual industrial o doméstica (Jácome y Calle, 2014).

- Turbiedad (NTU)

Según la Organización Panamericana de la Salud [OPS] (2012), puntualizó que la turbiedad es causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos

orgánicos e inorgánicos, con un tamaño considerable que va desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, esto dependiendo del nivel de turbulencia del agua.

La transparencia o claridad del agua se debe a la turbiedad y, a su vez, permite detectar la calidad del agua en su estado natural como tratada. Es una expresión de la propiedad óptica del agua que ocasiona que la luz se disperse o absorba en lugar de transmitirse sin cambiar de dirección a través de la muestra. Este parámetro se mide en unidades de turbidez nefelométrica (NTU) (UICN, 2018).

- Color real:

En los cuerpos de agua que presentan color predomina la presencia de sustancias suspendidas como disueltas y se denomina color aparente, mientras que el color producto únicamente de sustancias disueltas se conoce como color real o verdadero (APHA, AWWA y WEF, 2012). En ese sentido, el agua con color indica la presencia de iones, materia orgánica o residuos industriales. Para el análisis del color aparente de una muestra se le examina sin filtrarla, a diferencia del color verdadero, el cual se determina después de pasar la muestra por un filtro con poro de dos micrones o menor. Finalmente, el color se mide en unidades de color escala platino/cobalto (Pt/Co) (UICN, 2018).

- Temperatura:

La temperatura es tal vez el parámetro físico más importante del agua. Además de afectar la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas, interviene en el diseño de la mayoría de los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y sedimentación (Sierra, 2011). La OPS (2012) mencionó que la temperatura es un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor o transferencia de energía. La temperatura del agua influye en la cantidad de oxígeno presente en el agua, dado que a mayor temperatura se acelera el proceso fotosintético y la remoción de materia orgánica.

2.3.8 Parámetros químicos

- Potencial de hidrógeno (pH):

Este parámetro determina qué tan ácida o alcalina se encuentra un cuerpo de agua. Así mismo, es un indicador fundamental para medir la calidad del agua, cuya escala de medida va desde 0 a 14. Esta configuración de sus medidas depende de su clasificación, por ejemplo, si es de 0 a 7 se considera una sustancia ácida y desde 7 a 14 pasa a ser alcalina. Para ayudar a mantener la flora y fauna de un cuerpo de agua es necesario que el pH se encuentre entre los niveles de 7.5 a 8.5 (Ocasio, 2008).

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅):

Este parámetro posibilita medir la contaminación orgánica en el agua y se define como la cantidad total de oxígeno disuelto consumida por los microorganismos durante los primeros cinco días de la biodegradación de la materia orgánica presente en el agua, de ahí deriva su nombre DBO₅. El valor numérico de este parámetro permite tener una idea clara de la presencia de materia orgánica en el agua y de cuánto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas (Raffo y Ruiz, 2014).

- Demanda química de oxígeno (DQO):

Este parámetro se refiere a la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar o descomponer los cuerpos orgánicos que contiene el agua. Esta prueba se realiza para estimar la cantidad de materia orgánica presente en el agua y se expresa de O₂/l (Martínez, 2006). Adicionalmente, es uno de los parámetros principales en el estudio de la calidad el agua, lo que facilita ponderar el nivel de contaminación a través de una muestra líquida.

- Oxígeno disuelto:

Se describe como la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Un cuerpo de agua superficial limpia suele estar lleno de oxígeno, que es esencial y de gran importancia para los organismos acuáticos; por otro lado, si el contenido de este parámetro es relativamente bajo, indica que está contaminado por materia orgánica. Un nivel de este parámetro por debajo de los límites permisibles es incapaz de soportar algunas formas de vida acuática (Cárdenas, 2020), así pues, un elevado nivel de oxígeno disuelto puede ser un parámetro indicador de contaminación del agua. Gran parte del oxígeno disuelto en el agua procede del oxígeno presente en el aire que se

disolvió en el agua, una parte de oxígeno disuelto es la derivación de la fotosíntesis de las plantas acuáticas (OPS, 2012).

- Nitratos:

Este compuesto está en la naturaleza y forma parte del ciclo del nitrógeno, es decir, es la forma oxidada estable de ese ciclo. Así pues, la concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, no obstante, puede ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas, o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares (OPS, 2012). Este compuesto participa en forma de nutriente y provoca la eutrofización del agua, lo que aumenta el consumo de oxígeno y mata los organismos acuáticos. Cabe mencionar que si está presente en altas concentraciones en el agua provocará efectos nocivos en la salud humana (Pérez et al., 2019).

- Nitritos:

Los altos niveles de nitritos en las aguas naturales son un indicador significativo de la calidad del agua. Este se relaciona con el ciclo del nitrógeno de suelo y plantas exteriores y se forman durante la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacal u otros compuestos orgánicos nitrogenados. Así mismo, se utiliza como indicador de contaminación fecal en aguas naturales (Cabrera et al., 2003, p. 88).

- Fósforo:

El fósforo es parte esencial para el crecimiento de plantas acuáticas como las algas y otros organismos biológicos. Actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de fósforo mediante el método de vertimientos de aguas residuales, domésticas, industriales y por escorrentía, a causa de las incontrolables proliferaciones de algas en las aguas superficiales. El fósforo orgánico es de poca importancia en la mayor parte de los residuos domésticos, sin embargo, puede ser relevante en los vertimientos industriales y lodos de aguas residuales domésticas (Ramírez et al., 2008).

- Aluminio:

El aluminio es un elemento que se encuentra de manera abundante en la corteza terrestre y posee una amplia implicación en el tratamiento de las aguas de consumo humano y de tratamiento. Una de las razones para el análisis de este parámetro es que sus altas concentraciones en las aguas provocan riesgos en la salud humana, a saber, la enfermedad de Alzheimer se asocia a este elemento (Trejo y Hernández, 2004).

Según OMS (2018), la presencia de aluminio mayor a 0.1 a 0.2 mg/l puede ocasionar el incremento de la coloración en el agua, como consecuencia de la precipitación del flóculo de hidróxido, lo que causa molestias a los consumidores. Por consiguiente, es fundamental optimizar los procesos de tratamiento del agua para de minimizar la presencia de residuos de aluminio en el sistema de distribución.

- Amonio:

Las aguas residuales que producen las industrias, drenaje y subproductos utilizados en la agricultura y ganadería son responsables de la presencia de amonio en las aguas, lagos y ríos. Otro de los factores de la presencia del amonio se debe a la putrefacción de los animales muertos, hojas secas, partes muertas de las plantas, restos de comida y la materia fecal de los peces. Este elemento en altas concentraciones es potencialmente venenoso para la salud de los humanos y perjudicial para la vida acuática (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR], 2007).

2.3.9 Parámetros microbiológicos

- Coliformes fecales:

Dentro del análisis de la calidad del agua es muy importante estudiar los parámetros microbiológicos como los coliformes fecales, puesto que son indicadores de contaminación del agua, por lo general se encuentran en mayor cantidad en la capa superficial del agua y en los sedimentos del fondo. La presencia de coliformes en el abastecimiento de agua es un indicio de que el agua puede estar afectada por aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición, lo que llega a ser perjudicial para la salud de los humanos (Munn, 2004).

- Coliformes totales:

Estas bacterias se caracterizan por reproducirse en el ambiente y facilitan información sobre los procesos de tratamiento acerca de la calidad sanitaria del agua que integra el sistema de distribución (Aurazo, 2009). Así mismo, la determinación de este parámetro es importante porque brinda información valiosa en el estudio de los cambios que pueden acontecer en las poblaciones microbianas presentes en las fuentes de agua (Abbaszadegan, 2006). De acuerdo con Rojas (2005), los coliformes no solo provienen de los excrementos humanos, pues también se pueden originar de los residuos de los animales y del suelo, y, a su vez, por una combinación de las tres fuentes de contaminación.

2.3.10 Calidad del agua potable

Para determinar la calidad del agua potable se recomienda considerar las características físicas, químicas y microbiológicas, además de cumplir con los criterios técnicos de las normas nacionales e internacionales. En este sentido, Ramirez (2011) señaló que el agua potable es la que se debe tratar, con el fin de que presente condiciones estéticamente aceptables y aptas para el consumo humano, y esté exenta de microorganismos que puedan causar enfermedades en los usuarios.

La OMS (2018) mencionó que el consumo de agua no potable involucra altos riesgos de contraer enfermedades como la diarrea y enfermedades respiratorias, por ende, es necesario tener en cuenta varias directrices de acuerdo con las normativas correspondientes para la evaluación de la calidad del agua potable, entre ellas la toma de muestras periódicas para evidenciar la presencia de coliformes fecales.

La calidad del agua potable en las instalaciones de las centrales hidroeléctricas no está exenta de cumplir con los requisitos de los criterios de calidad de la legislación ambiental vigente en Ecuador, por el contrario está obligada a realizar monitoreos para la determinación del agua potable que se destina al consumo humano en las áreas de influencia. Para este efecto, en las centrales hidroeléctricas Mazar, Molino y Sopladora se llevan a cabo monitoreos y toma de muestras permanentes para así asegurar que no se produzcan desviaciones en los parámetros que se establecieron en los requisitos del Agua Potable de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108.

2.3.11 Calidad del agua cruda

El agua que se encuentra en la naturaleza como el agua de los ríos, océanos, quebradas, manantiales, embalses naturales, entre otros, se conciben como agua cruda, debido a que se encuentran en su estado natural y no presentan modificaciones en sus características físicas, químicas y microbiológicas (NTE INEN 1108, 2011). Sin embargo, para el caso de las centrales hidroeléctricas el agua cruda que se almacena en sus embalses cambia sus características físicas, químicas y microbiológicas, porque si al almacenarse no fluyen con su cauce normal, pierden sus propiedades naturales como nutrientes, salinidad, temperatura, gases disueltos, entre otros. Adicionalmente, los embalses de las centrales se diseñan para almacenar grandes volúmenes de agua, lo que ocasiona la acumulación de sedimentos, por esa razón, el río aguas abajo se empobrece de nutrientes y esto provoca un impacto ambiental en los ríos que sirven como aprovechamiento de sus aguas para la generación de energía eléctrica.

En concordancia con Sierra (2011), los cambios en las características del agua cruda de las centrales hidroeléctricas se dan por la influencia directa de la turbinación del agua cruda, pues la turbulencia que se crea para la captación y la tubería de presión incrementa la concentración de oxígeno disuelto. Estos cambios constituyen una modificación en las características ambientales de un curso de agua de flujo libre. Teniendo en cuenta estas afectaciones que producen las centrales en el medio acuático, CELEC SUR, encargada del manejo integral de las centrales hidroeléctricas del sur del Ecuador, evalúa este recurso bajo los requisitos de los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios estipulada en la normativa ambiental vigente (Ministerio del Ambiente, 2015).

2.3.12 Calidad del agua residual

De manera puntual, las aguas residuales son aquellas que se emplearon en cualquier uso benéfico para el ser humano. Por lo general, estas aguas se pueden clasificar por su fuente generadora como: doméstica, industrial, agrícola, pecuario y comercial. Sierra (2011) hizo referencia a la importancia de conocer la naturaleza del agua residual, dado que es fundamental de cara a la explotación del agua de manera sostenible por medio de la gestión ambiental que involucra la operación, recolección, tratamiento y evacuación de los sistemas de aguas residuales.

Así mismo, las aguas residuales arrastran toda clase de materias de desechos orgánicos y minerales: en estado sólido se tiene materia fecal, arenas, arcillas y desechos de las industrias; en estado líquido los colorantes y orines; y, finalmente, en estado gaseoso se pueden encontrar nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, amoníaco y metano. Los tres últimos gases son procedentes de la descomposición de la materia orgánica en las aguas residuales (Tchobanoglous et al., 2003).

El agua residual que generan las centrales hidroeléctricas a causa de las actividades de producción de energía eléctrica provoca muchos contaminantes en sus efluentes, los cuales contienen material en suspensión y se deben tratar para dar una adecuada disposición final. Por consiguiente, antes de ser tratadas es necesario conocer la calidad del agua residual para impedir efectos adversos en las plantas de tratamiento o en la red de drenaje. Una alternativa para determinar, cuantificar e informar sobre la calidad del agua residual es mediante un índice de calidad del agua residual (ICAR) que ingresa a una red desagüe (Flores et al., 2013).

Toda agua residual se debe tratar tanto para proteger la salud de los seres humanos como para preservar el medio ambiente y más aún si se utiliza en el regadío de áreas verdes. Según la legislación actual vigente del Ministerio del Ambiente (2015), Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, exige el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental para el agua residual antes de descargarse a un cuerpo receptor.

2.3.13 Calidad del agua de río

La calidad del agua de un río depende de las características de la cuenca hidrográfica, principalmente de los suelos y de la geología, no obstante, actividades como agricultura, ganadería, trabajos industriales y la urbanización, entre otros factores, provocan la contaminación de las subcuencas, y por medio del arrastre de sedimentos llegue a la fuente principal de un río, lo que ocasiona cambios físicos, químicos y biológicos en su estructura molecular. Esto hace que sea más difícil disponer de aguas de río para consumo humano por los requisitos de calidad (Pauta et al., 2019). Por último, una de las principales fuentes de contaminación que sufren los ríos se da por la descarga de desechos en sus aguas provenientes de sistemas de alcantarillados.

2.3.14 Lixiviados

Los lixiviados son líquidos que provienen principalmente de aguas residuales, los cuales se componen por altas cargas orgánicas solubles y constituyentes inorgánicos. Estos líquidos también pueden venir de las precipitaciones pluviales o escorrentías, de la humedad de los residuos, por reacción o descomposición de estos, y que arrastra residuos sólidos disueltos o en suspensión y contaminantes que se encuentran en los esos residuos (TULSMA, 2015).

2.3.15 Criterios de calidad del agua basada en la Acuerdo Ministerial 097-A

Los proyectos hidroeléctricos en el proceso de control de la contaminación del recurso hídrico están obligados a evaluar y garantizar los usos consecutivos y no consecutivos aguas abajo y aguas arriba de las centrales hidroeléctricas. Estos controles se basan en el mantenimiento de la calidad del agua de acuerdo con las normas generales de los criterios de calidad para los diferentes usos, tal como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2.

Criterios de calidad del agua para distintos usos

Criterios de calidad para:	*Usos					
	1	2	3	4	5	6
Consumo humano y uso doméstico, previo a potabilización: Aquella que se obtiene de cuerpos de agua, superficiales o subterráneas, y que luego de ser tratada las personas o comunidades la utilizarán en actividades como: - Bebida y preparación de alimentos para consumo humano. - Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios.						√
Preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, y en aguas, marinas y de estuario: Empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos, o para actividades que permiten la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura.						√
Uso agrícola o de riego: - Empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes.						√
Uso pecuario Aquellas que se emplean para el abrevadero de animales, así como otras actividades conexas y complementarias que determinen los organismos competentes.						√
Uso recreativo Se entiende por uso del agua para fines recreativos, la utilización en la que existe: - Contacto primario, como en la natación y el buceo, incluidos los baños medicinales.						√

- Contacto secundario, como en los deportes náuticos y pesca.

Uso estético

Se refiere al mejoramiento y creación de la belleza escénica

✓

Nota. (*) Usos del agua: 1. Consumo humano y uso doméstico, 2. Preservación de la vida acuática y silvestre, 3. Uso agrícola o de riego, 4. Uso pecuario, 5. Uso recreativo, 6. Uso estético. Tomado de Acuerdo ministerial 097–A por el Ministerio del Ambiente, 2015.

En concordancia con el Ministerio del Ambiente (2015), en su libro del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), se establecieron los criterios técnicos ambientales para prevenir y controlar la contaminación del agua y los requerimientos de calidad en los cuerpos de agua durante la operación y mantenimiento de las centrales hidroeléctricas. Así pues, en la Tabla 3 se describen las normas técnicas para la evaluación y análisis de la calidad del agua de las que hacen uso las centrales hidroeléctricas para el monitoreo ambiental.

Tabla 3.

Normas técnicas para la evaluación de la calidad del agua en las centrales hidroeléctricas.

Normativas	N.º de Tabla	Nombre	Recurso
ANEXO 1 TULSMA (2015)	Tabla 1	Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico	Agua cruda
NTE INEN 1108	Tabla 1	Agua potable: requisitos	Agua potable
ANEXO 1 TULSMA (2015)	Tabla 9	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	Agua residual
ANEXO 1 TULSMA (2015)	Tabla 2	Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios	Agua de río
ANEXO 1 TULSMA (2015)	Tabla 8 y 9	Límites de descarga al sistema de alcantarillado público Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	Lixiviados

Nota. Elaborado por las autoras.

2.3.16 Calidad del suelo

El suelo es el lugar donde se desarrolla la vida de la mayoría de los seres del planeta, y en el que se crea el sustento para los seres humanos, el cual es esencial para su desarrollo. Su relevancia es trascendental en muchos aspectos, pero sobre todo como un recurso, por eso es vital determinar su calidad. De acuerdo con Wilson et al. (2017), la calidad del suelo se divide

en calidad inherente y dinámica, la primera es consecuencia de los atributos connaturales del suelo, que se establecen por elementos que contribuyen al proceso de su formación; mientras que la calidad dinámica se refiere a aquella que proviene de los cambios en las características del suelo, provocados por influencia directa del hombre.

Para evaluar la calidad de un suelo se deben considerar los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones, tales componentes son determinantes para identificar indicadores causantes de contaminación del suelo García et al. (2012). En ese sentido, la evaluación de la calidad del suelo ayuda a entender y rehabilitar el deterioro en la funcionalidad natural del ecosistema provocado por factores como la pérdida de suelos por erosión, deposición de sedimento por inundaciones o viento, compactación de la capa superficial, pérdida de nutrientes, efecto de la presencia de pesticidas, cambios en el pH, aumento de la solubilidad de metales pesados, pérdida de materia orgánica, reducción de la actividad biológica, algunos de ellos provienen de actividades relacionadas con la minería, y por proyectos hidroeléctricos (Banegas, 2014).

Con respecto a los suelos afectados por las instalaciones de las centrales hidroeléctricas, el TULSMA (2015) menciona que las causas se pueden generar por derrames, vertidos, fugas, almacenamiento o abandono de productos o desechos peligrosos, infecciosos o hidrocarburíficos, lo que afecta la calidad del suelo.

2.3.17 Índice de la calidad del suelo (Soil Quality Indexing)

El Índice de la calidad del suelo (SQI) sirve de guía, para la interpretación de la calidad de un suelo. Los autores Aranda et al. (2013) señalaron que un índice de la calidad del suelo (ICS, en español) es un valor numérico comprendido entre 0 y 100 %, o también se puede representar de 0 a 1. Ahora bien, el uso convencional de los suelos por centrales hidroeléctricas supone una pérdida progresiva de la calidad del suelo, y se puede evaluar cuantitativamente por medio de propiedades del suelo como los indicadores físicos, químicos y biológicos. En la Tabla 4 se precisan algunos de los ICS que propusieron diferentes autores.

Tabla 4.

Parámetros usados por varios autores para medir la calidad del suelo

Autores	Indicadores
Andrews et al.(2002)	pH, conductividad eléctrica, monóxido de carbono (CO) total, zinc (Zn).

Wang y Gong (1998)	Monóxido de carbono(CO) total, nitrógeno total, fósforo, potasio (K), potencial de hidrógeno (pH).
Lee et al. (2006)	Monóxido de carbono(CO) total, nitrógeno total, fósforo (P), potasio (K), cobre (Cu), zinc (Zn), potencial de hidrógeno (pH).

Nota. Elaborado por las autoras.

La fórmula normalizada y la que más se utiliza para la evaluación de este índice es la desarrollada por Andrews et al. (2002):

$$ICS = \sum_{i=1}^n W_i S_i$$

Donde:

ICS = valor del índice de la calidad del suelo

Wi = indicador seleccionado

Si = coeficiente de puntuación

En este proyecto no se realizan los cálculos de los índices del suelo, puesto que está limitado sólo a la comparación de las normas ambientales con la finalidad de identificar los parámetros que no cumplen (NC) con los valores máximos permisibles correspondientes a este recurso.

2.3.18 Criterios de calidad del suelo basado en el Acuerdo Ministerial 097 A- Anexo 2

Los proyectos hidroeléctricos en el proceso de control de la contaminación del recurso geológico se encuentran obligados a evaluar y garantizar los usos consecutivos y no consecutivos de los suelos intervenidos por las centrales hidroeléctricas, estos controles se centran en el mantenimiento de las características originales del suelo, para ello, se basa en los criterios de remediación que se establecieron en el Anexo 2 del TULSMA.

Los criterios de calidad de suelo son los valores límites para detectar un contaminante en el suelo. Estos valores se pueden dar por la evolución natural del área, por las características geológicas y sin influencia de las actividades desarrolladas por el ser humano (Ministerio del Ambiente, 2015).

Tabla 5.

Norma técnica para la evaluación de los criterios de remediación para suelos contaminados.

Normativas	N.º de Tabla	Nombre	Recurso
ANEXO 2 TULSMA (2015)	Tabla 2	Criterios de remediación (valores máximos permisibles)	Suelo

Nota. Elaborado por las autoras.

2.3.19 Monitoreo del suelo

El monitoreo del suelo representa una herramienta fundamental para el análisis y caracterización de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Sumado a lo anterior, permite verificar los niveles de contaminación en un lugar y período determinado (Font, 2007). Las técnicas de monitoreo se pueden emplear para determinar el estado del suelo y llevar una línea base para hacer seguimiento de los cambios en la estructura del suelo debido a los indicadores o parámetros que afecten este recurso. Así como mencionaron Lutens et al. (2000), existen dos formas para evaluar la calidad del suelo aplicando técnicas de monitoreo:

1. Hacer mediciones periódicamente a lo largo del tiempo.
2. Comparar los valores medidos con los de una condición de referencia similar.

2.3.20 Parámetros de la calidad del suelo

- Potencial de hidrógeno (pH):

El pH en el suelo se puede definir como una medida de la alcalinidad o acidez de un suelo, el cual afecta la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de microbiana y la solubilidad de minerales del suelo. Algunos de los factores importantes que afectan el pH en un suelo son la temperatura, precipitaciones y la meteorización de los minerales del suelo. Así mismo, la acidez de un suelo generalmente se asocia con suelos lixiviados. Sin embargo, las actividades que lleva a cabo el ser humano como prácticas agrícolas, el uso de fertilizantes de amonio, puedan alterar el pH. Usualmente, valores de pH entre 6.0 y 7.5 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica [USDA], 2000).

2.3.21 Parámetros orgánicos

- Benceno:

El benceno, o también denominado benzol, es un hidrocarburo líquido de un característico olor dulce y con la particularidad de ser incoloro. El benzol puede estar presente en el suelo, agua y aire. Además, es posible que provenga de fuentes tanto naturales como industriales (Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, 2007).

- Etilbenceno:

Otros de los derivados del benceno es el etilbenceno. Según la European Chemical Agency [ECHA] (2007), es un compuesto químico en estado líquido que, además, es inflamable, no posee color y tiene un olor característico similar al de la gasolina.

- Xileno:

Este elemento está presente de manera natural en el petróleo y es otro de los derivados del benceno. Es una sustancia química que se subdivide en tres compuestos: ortoxileno, metaxileno y paraxileno. En circunstancias ordinarias se encuentran en estado líquido, no tiene color y cuentan con un aroma similar al del tolueno (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, 2007). Sumado a lo anterior, los xilenos se introducen en el suelo a través de procesos industriales o derrames accidentales, o por fugas al medio ambiente durante el almacenamiento de desechos residuales de petróleo.

- Bifenilos policlorados (PCBs):

Los bifenilos policlorados (PCBs) se tratan de una serie de compuestos químicos clorados. Hasta ahora se conoce que no provienen de una fuente natural o si se crean en la naturaleza, como ocurre en otros compuestos, estos surgen de las actividades humanas y pueden ser altamente contaminantes. Entre las características de los PCBs se ubica su color variado, que puede ser incoloro hasta un tono amarillo claro, también se pueden presentar de forma líquida, como sustancia oleosa o en estado sólido (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR], 2007).

2.3.22 Parámetros inorgánicos

- Cobre:

En concordancia con la K+S Minerals and Agriculture (2019), el cobre (Cu) es un metal de color rojizo que muestra una conductividad eléctrica y térmica muy alta. Así mismo, el cobre en el suelo esté principalmente adsorbido a la materia orgánica, a los óxidos de hierro y manganeso, así como también está fijo en la red cristalina que es la base estructural directa de los silicatos del suelo.

- Plomo:

El plomo (Pb) es un metal de color gris azulado que pierde brillo cuando se expone al aire debido a la formación de óxido, además, es muy maleable, suave y de fácil fundición (Corzo y Velázquez, 2014). Las industrias lo utilizan de forma sólida o líquida. La Organización Panamericana de la Salud (PAHO) señaló que al liberarse al medio ambiente el plomo reacciona de acuerdo con el aire, agua y luz solar, luego se desplaza a través de las corrientes de aire por extensos recorridos antes de depositarse en el suelo.

- Belirio:

La ATSDR (2002) definió al belirio de la siguiente manera:

“Es un elemento natural que está presente en una variedad de materiales tales como las rocas, carbón y petróleo, en el suelo y en polvo volcánico. La mayor cantidad del mineral de berilio que es minado es usada en aleaciones (mezclas de metales), este metal entra al aire, al agua y al suelo desde fuentes causadas por el hombre como naturales (p. 1).”

- Cromo:

El cromo elemental (Cr) no se encuentra como tal en la naturaleza, y el único mineral de cromo importante es la espinela, cromita o piedra de cromo hierro, que es cromito ferroso (FeOCr_2O_3) y está ampliamente distribuida en la corteza terrestre. Usualmente, este elemento no permanece

en la atmósfera, sino que se asienta en el agua y el suelo. A su vez, el cromo puede cambiar de forma según la fuente en que se deposite y depende de las condiciones medioambientales (Nordberg, 1998).

2.4 RStudio

RStudio es un lenguaje de programación de alto nivel, el cual se compone por un entorno de desarrollo integrado, comúnmente conocido como IDE por sus siglas en inglés (Integrated Development Environment). En ese sentido, RStudio facilita la creación y trabajo de proyectos en R de distintos tipos, puesto que presenta un poderoso entorno para el análisis de datos y gráficos avanzados, además de proporcionar una amplia variedad de técnicas estadísticas (modelado lineal y no lineal, pruebas estadísticas clásicas, análisis de series de tiempo, clasificación, agrupamiento, etc.), y ser altamente extensible. Uno de los puntos fuertes de R es la facilidad con la que se pueden producir gráficos con calidad de publicación, es decir, bien diseñados, incluidos símbolos matemáticos y fórmulas cuando sea necesario (RStudio Team, 2022).

2.5 Paquete Shiny

Shiny es un paquete de R con el que se pueden diseñar y crear aplicaciones web interactivas con interfaz gráfica de forma rápida para el análisis y visualización de datos ingresados por R Shiny Team. Adicionalmente, mediante este paquete se pueden alojar aplicaciones independientes en una página web, incrustarlas en documentos de RMarkdown o elaborar paneles.

La mecánica de Shiny consiste en dos categorías de componentes: la categoría de componentes reactivos, que son elementos que permiten una reacción en el resto de la aplicación (por ejemplo, oprimir un botón); y la categoría de componentes reactantes, los cuales permiten cambiar sus presentación y funcionalidad luego de recibir una orden de un componente reactivo (RStudio Team, 2022).

2.6 Paquete ggplot2

Este paquete hace posible la creación de gráficos visualmente atractivos, con apariencia moderna y altamente configurable en una aplicación. Ggplot2 permite producir un gran número de diferentes tipos de gráficos estadísticos, así como la configuración de su apariencia,

incluyendo la paleta de colores, el rellanado de gráficos, leyendas que representan los datos, entre otras más opciones de apariencia de los gráficos (Wickham et al., 2021).

2.7 RMarkdown

RStudio posibilita realizar informes en diferentes formatos de salida, tanto dinámicos como estáticos (PDF, Word, HTML, sitios web, entre otros). Esta herramienta facilita considerablemente la elaboración de informes con características automáticas, puesto que permite incluir tanto texto, imágenes, tablas, gráficos, como una serie de comandos a ser ejecutados en un mismo documento (RStudio Team, 2022).

CAPÍTULO III

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto se desarrolló en tres etapas:

1. Organización y definición de las variables a partir de los datos de monitoreos ambientales de las centrales hidroeléctricas Mazar, Molino y Sopladora.
2. Análisis de datos y procedimiento para la elaboración de los reportes del cumplimiento normativo de la calidad del agua y suelo en RStudio.
3. Implementación de la interfaz web interactiva a través del software Shiny.

3.1 Organización y definición de las variables a partir de los datos de monitoreos ambientales de las centrales hidroeléctricas Mazar, Molino y Sopladora

3.1.1 Recopilación de la información del monitoreo ambiental del agua y suelo

La recopilación de los datos de monitoreo histórico que se requieren para el análisis de la calidad ambiental del agua y suelo en las centrales hidroeléctricas, se realizó mediante la coordinación con el Departamento de Gestión Social y Ambiental de CELEC SUR, a través del convenio de “Cooperación interinstitucional para la ampliación de base de datos, mantenimiento de sensores meteorológicos y generación automática de reportes para monitoreo de variables solares, eólicas, geológicas y climáticas en soporte a CELEC EP”. Los técnicos de este departamento junto con la Dra. Daniela Ballari, codirectora de este proyecto, programaron fechas para la entrega de los datos de los ensayos de monitoreos de agua y suelo, y también para conocer los recursos que se miden dentro de los procesos de los monitoreos.

En las reuniones con los técnicos de CELEC SUR se evidenció la necesidad de homogeneizar procesos y automatizar resultados de los parámetros resultantes de los monitoreos periódicos y el imperativo de obtener reportes automáticos de las variables agua y suelo que no cumplan con la normativa ambiental. Seguido a esto, se obtuvo acceso a los datos estadísticos de los monitoreos que contienen mediciones de la calidad del agua y suelo que se realizaron en diferentes puntos de medición de las centrales Paute-Mazar, Paute-Molino y Paute-Sopladora, cuyos datos van desde el año 2018 hasta el primer trimestre del 2021.

3.1.2 Base de datos

Para el presente proyecto se empleó como punto de partida la base de datos de los registros de monitoreos que suministraron los laboratorios prestadores de servicio de la Unidad de Negocio CELEC SUR, los cuales se obtuvieron de las muestras del agua y suelo recogidas durante las campañas de monitoreos que se llevaron a cabo entre los años 2018 a 2021. Las características, que en adelante se denominan variables físicas, químicas y microbiológicas consideradas para la evaluación de la contaminación orgánica y eutrofización del agua, son las siguientes: coliformes fecales, potencial de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno, turbidez, nitrato, fósforo, oxígeno disuelto, entre otros, y las variables orgánicas e inorgánicas para la evaluación del suelo son el potencial de hidrógeno, aceites y grasas, plomo y cobre.

3.1.3 Organización de los datos de monitoreo del agua y suelo

La organización y clasificación de los datos fue el punto de partida para llevar a buen término este proyecto. Por ello, se hizo una inspección visual de los datos que entregó CELEC SUR de los resultados de los monitoreos del agua y suelo, para luego identificar, organizar y clasificar los resultados de las mediciones de los parámetros de caracterización de la calidad del agua y suelo, producto de los muestreos en las tres centrales hidroeléctricas.

Para un mejor entendimiento se elaboraron tablas en Excel con el objetivo de identificar la frecuencia de las campañas de monitoreo, el tipo de recurso, los puntos de muestreo, la ubicación, los parámetros de caracterización del recurso agua y suelo y, finalmente, la comparación con la Norma Ambiental requerida para cada recurso, tal y como se describe a continuación.

3.1.4 Frecuencia de muestreo del agua y suelo

De acuerdo con la información proporcionada se realizaron campañas de monitoreos dos veces al año, a diferencia del año 2019 donde se registraron datos de una sola campaña de monitoreo, dentro de esas campañas se encuentran datos de muestreos de cada tipo de recurso en las tres centrales. En la Tabla 6 se presentan las fechas de las campañas de monitoreo en cada central y el tipo de recurso del que se posee datos de muestreo.

Tabla 6.

Frecuencia de muestreo en las tres centrales y tipo de recurso analizado

Central	Fecha de muestreo	Tipo de recurso
Paute-Mazar	18/03/2018	Agua cruda
	27/12/2018	Agua potable
	17/09/2019	Agua residual
	28/08/2020	Agua de río
	20/11/2020	Lixiviados
	15/05/2021	Suelo
Paute-Molino	19/03/2018	Agua cruda
	28/12/2018	Agua potable
	18/09/2019	Agua residual
	29/08/2020	Agua de río
	20/11/2020	Lixiviados
	17/05/2021	Suelo
Paute-Sopladora	20/03/2018	Agua cruda
	29/12/2018	Agua potable
	20/09/2019	Agua residual
	01/09/2020	Lixiviados
	22/11/2020	Suelo
	18/05/2021	

Nota. En la central Paute-Sopladora no se cuenta con registros del recurso agua de río.

Fuente: Las Autoras.

3.1.5 Puntos de control y muestreo de la calidad de agua de las centrales hidroeléctricas.

- Puntos de control y muestreo del agua en la central Paute-Mazar:

En el siguiente apartado se presentó a manera de resumen las reseñas de los puntos de medición de las aguas que se tratan en la central Paute-Mazar. En cada tabla se detallaron algunos de los puntos de muestreo establecidos por central para el monitoreo del agua cruda, potable, residual, de río y lixiviados, sumado a su posicionamiento geográfico UTM.

Tabla 7.*Puntos de muestreo y ubicación del agua cruda de la central Paute-Mazar*

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Mazar	Agua cruda	Quebrada campamento	770561	9715968
		Casa de máquinas	765417	9713190

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 8.*Puntos de muestreo y ubicación del agua potable de la central Paute-Mazar*

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Mazar	Agua potable	Planta de agua potable	770601	9715951
		Cocina	770500	9716243

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 9.*Puntos de medición y muestreo del agua residual de la central Paute-Mazar*

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Mazar	Agua residual	Trampa de grasa gasolinera	766016	9713380
		*PTAR campamento	770351	9716150

Nota: *PTAR, se refiere a la Planta de tratamiento de agua residual.

Tabla 10.*Puntos de medición y muestreo del agua residual de la central Paute-Mazar*

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Mazar	Lixiviados	Pozo lixiviados	777915	9714792

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 11.*Puntos de muestreo y ubicación de la agua de río de la central Paute-Mazar*

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Mazar	Agua río	Antes de la central Alazán	760333	9715272
		Antes de la unión con el río Paute	764452	9713106

Nota. Elaborado por las autoras.

- Puntos de control y muestreo del agua de la central Paute-Molino:

De igual manera, en este apartado se describió un breve resumen de la ubicación de los puntos de monitoreo y el tipo de recurso de los que se tiene información.

Tabla 12.

Puntos de ubicación y muestreo del agua cruda de la central Paute-Molino

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Molino	Agua cruda	Quebrada campamento	777933	9714118
		Presa Daniel Palacios	770365	9712905

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 13.

Punto de ubicación y muestreo del agua potable de la central Paute-Molino

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Molino	Agua potable	Planta de agua potable	777949	9714137
		Cocina	797678	9714686

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 14.

Punto de muestreo y ubicación del agua residual de la central Paute-Molino

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Molino	Agua residual	Casa de máquinas	777173	9714477
		Trampa de grasa comedor	777676	9714684

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 15.

Puntos de muestreo y ubicación del agua de río de la central Paute-Molino

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Molino	Agua de río	Pie de presa Daniel Palacios	770893	9712704
		Amaluza	771219	9711180

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 16.*Puntos de muestreo y ubicación de lixiviados de la central Paute-Molino*

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Molino	Lixiviados	Pozo lixiviados	777920	9714783

Nota. Elaborado por las autoras.

- Puntos de control y muestreo del agua de la central Paute-Sopladora:

Tabla 17.*Puntos de muestreo y ubicación del agua cruda de la central Paute-Sopladora*

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Sopladora	Agua	Casa de máquinas	783740	9712914
	cruda	Quebrada campamento	783201	9711764

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 18.*Puntos de muestreo y ubicación del agua de río de la central Paute-Sopladora*

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Sopladora	Agua potable	Comedor	783452	9711789
		Edificio de control	781715	9713383

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 19.*Puntos de muestreo y ubicación del agua residual de la central Paute-Sopladora*

Central	Recurso	Punto de Medición	Coordenadas UTM	
Sopladora	Agua residual	PTAR casa de máquinas entrada	781001	9713876
		Aguas turbinadas	785286	9711896

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 20.*Puntos de muestreo y ubicación de lixiviados de la central Paute-Sopladora*

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
----------------	----------------	--------------------------	------------------------	--

Sopladora	Lixiviados	Fosa taller automotriz pesados	783368	9711564
-----------	------------	--------------------------------	--------	---------

Nota. Elaborado por las autoras.

Dentro del proceso de organización de los datos se comprobó que todos los años se toman muestras en los mismos puntos de medición, a excepción del recurso suelo que tiene una variación en las coordenadas de los puntos de medición como en su denominación.

3.1.6 Puntos de control y muestreo de la calidad del suelo de las centrales hidroeléctricas.

En este apartado se resumieron los puntos de medición de la calidad del suelo que se registraron en las centrales Paute-Mazar, Paute-Molino y Paute-Sopladora, y también su posicionamiento geográfico.

- Puntos de control y muestreo del suelo de la central Paute-Mazar:

Tabla 21.

Puntos de muestreo y ubicación para la variable suelo de la central Paute-Mazar

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Mazar	Suelo	Escombrera llavircay sector garita	765466	9713769
		Escombrera punto 1	764196	9713632

Nota. Elaborado por las autoras.

- Puntos de control y muestreo del suelo de la central Paute-Molino:

Tabla 22.

Puntos de muestreo y ubicación del recurso suelo de la central Paute-Molino

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Molino	Suelo	Gasolinera Campamentos Guarumales p1	777748	9714744
		Chatarrera p1	777545	9714750

Nota. Elaborado por las autoras.

- Puntos de control y muestreo del suelo de la central Paute-Sopladora:

Tabla 23.*Puntos de muestreo y ubicación del recurso suelo de la central Paute-Sopladora*

Central	Recurso	Punto de medición	Coordenadas UTM	
Sopladora	Suelo	Campamento Sopladora p1	783008	9711848
		Gasolinera p1	783008	9711848

Nota. Elaborado por las autoras.

3.1.7 Definición de las variables del monitoreo agua y suelo

Una vez que se realizó una inspección visual de los datos y se organizaron por central, recurso y período de monitoreo, se nombra de aquí en adelante al recurso agua y suelo como variables principales y a los parámetros para su cumplimiento normativo como subvariables. Así pues, dentro de este proceso investigativo intervienen solamente las subvariables que analizan en las tres centrales hidroeléctricas y, por lo tanto, se clasifican según los parámetros por evaluar. Estas son las siguientes:

Tabla 24.*Variables y subvariables del recurso agua*

Variabes	Subvariables
Agua cruda	Hierro, color real, DQO, DBO5, coliformes fecales, turbiedad, pH.
Agua potable	Hierro, color real, DQO, DBO5, coliformes fecales, turbiedad, pH.
Agua residual	Aceites y grasas, cloro residual, coliformes fecales, color real, DBO5, fósforo, hierro, manganeso, pH, níquel, sólidos suspendidos totales, sólidos totales gravimétricos, sulfuros.
Agua de río	Hierro, color real, DQO, DBO5, Coliformes fecales, turbiedad, pH, nitritos, nitratos, oxígeno disuelto.
Lixiviados	Aceites y grasas, DBO5, DQO, aluminio, hierro, manganeso, níquel, nitrógeno total kjeldahl, sólidos suspendidos totales, sulfuro, zinc, amonio expresado como nitrógeno, fósforo.

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 25.*Subvariables del recurso suelo*

Variable	Subvariables
Suelo	Cromo hexavalente, cobre, níquel, plomo, vanadio, aceites y grasas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, bifenilos policlorados PCBS, benceno, etilbenceno, tolueno, xileno, clorobenceno, estireno, pH, hidrocarburos aromáticos volátiles en peso húmedo, hidrocarburos totales de petróleo.

Nota. Elaborado por las autoras.

3.1.8 Sistematización y comparación de los datos de monitoreo con la norma legal vigente

En los datos de los monitoreos que proporcionó CELEC SUR se encontraron valores de parámetros medidos que no correspondían al tipo de recurso analizado, por ende, no se contaba con un valor en las tablas de la norma con que realizar la comparación. Esto significa que para analizar la información de los recursos agua y suelo de las centrales Mazar, Molino y Sopladora, se deben examinar solamente parámetros que consten en las tablas de la normativa de acuerdo con los criterios de calidad de cada recurso, establecidos para cada tipo de uso. Por ello, se consideró omitir los datos que no tienen límite permisible para así visualizar los datos en conjunto con su respectiva norma.

De igual forma, se observó que los datos del archivo de suelos tenían diferentes nombres en el campo de “tipo de recurso”, es decir, “suelo talleres”, “suelo gasolinera”, “suelo otros”, por lo tanto, se consideró remplazar por “Suelo”.

Estos cambios que se llevaron a cabo en un archivo de Excel, y se guardaron los datos concatenados con la nueva información, que posteriormente será utilizado por la aplicación para el análisis de la información. A modo de ejemplo, se resume una serie de datos de los monitoreos de la central Mazar. No se muestran los datos completos, debido que son exclusivamente de uso interno de CELEC SUR.

Tabla 26.

Datos de medición y comparación normativa del agua cruda de la central Paute-Mazar

Central	Recurso	Punto de medición	Tabla Normativa	Parámetro	Unidad	Medición	Límite permisible
Mazar	Agua cruda	Quebrada campamento	Acuerdo Ministerial 97A tabla 1	Coliformes fecales	NMP/100ml	1.00	1000
				Color real	U.Pt-Co	10.00	75
				DBO5	mg/l	1.89	2
				Hierro	mg/l	0.00	1

pH	unidad de pH	7.17	6 a 9
----	--------------	------	-------

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 27.

Datos de medición y comparación normativa del agua potable de la central Paute-Mazar

Central	Recurso	Punto de medición	Tabla Norma	Parámetro	Unidad	Medición	Límite permisible
Mazar	Agua potable	Planta de agua potable	NTE INEN 1108	Coliformes fecales	NMP/100ml	1	1000
				Color real	U.Pt-Co	25	75
				DBO5	mg/l	1.71	2
				DQO	mg/l	3.8	4
				Hierro	mg/l	0.25	1
				Turbiedad	NTU	0.53	100

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 28.

Datos de medición y comparación normativa del agua residual de la central Paute-Mazar

Central	Recurso	Punto de medición	Tabla Norma	Parámetro	Unidad	Medición	Límite permisible
Mazar	Agua residual	Trampa de grasa gasolinera	Acuerdo Ministeria l 97A tabla 9	Color real	U.Pt-Co	12	0.05
				Sólidos totales gravimétricos	mg/l	130	1600
				Sólidos suspendidos totales	mg/l	2	130
				Sulfuros	mg/l	0.014	0.50
				Alumino	mg/l	0,2789	5
				Hierro	mg/l	0.4391	10
				Manganeso	mg/l	0.1399	2
				Níquel	mg/l	0.0004	2
				Fósforo	mg/l	0.05	10
				Aceites y grasas	mg/l	0.6	30
				DBO5	mg/l	6.63	100
				Coliformes fecales	NMP/100 ml	1	2000
				pH	Unidad de pH	7.71	6 a 9

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 29.

Datos de medición y comparación normativa del agua de río de la central Paute-Mazar

Central	Recurso	Punto de medición	Tabla Normativa	Parámetro	Unidad	Medición	Límite permisible
Mazar	Agua de río	Antes de la central Alazán	Acuerdo Ministerial 97a tabla 1	Turbiedad	mg/l	2.26	100
				DBO5	mg/l	3	2
				DQO	mg/l	3.96	4
				Coliformes fecales	NMP/100ml	1	1000
				pH	Unidad de pH	8.50	6 a 9

Nota. Elaborado por las autoras.

Tabla 30.

Datos de la medición y comparación normativa para el análisis de lixiviados

Central	Recurso	Punto de medición	Tabla Norma	Parámetro	Unidad	Medición	Límite permisible
Mazar	Lixiviados	Pozo lixiviados	Acuerdo Ministerial 97A tabla 8 Acuerdo Ministerial 97A tabla 9	SST	mg/l	25	220
				Amonio expresado como nitrógeno	mg/l	6.844	30
				Nitrógeno total kjeldahl	mg/l	11.25	60
				Sulfuros	mg/l	0.105	1
				Alumino	mg/l	0.3012	5
				Hierro	mg/l	2.612	25
				Manganeso	mg/l	0.1787	10
				Níquel	mg/l	0.0004	2
				Fósforo	mg/l	0.464	10
				Zinc	mg/l	0.7617	10
				Aceites y grasas	mg/l	0.67	70
				DBO5	mg/l	45.84	250
				DQO	mg/l	101.59	500

Nota. Elaborado por las autoras.

Para el análisis de los lixiviados el laboratorio asignado por CELEC SUR trabajó con la tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público (ver Anexo 5) en el año 2019, y a partir de ese año con la tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (ver Anexo 3) para todas las centrales intervenidas.

Para el recurso suelo se utilizó la tabla 2 de la norma: Criterios de remediación para suelos contaminados con hidrocarburos en centrales eléctricas (Valores máximos permisibles de acuerdo con el uso del suelo, ver anexo 6) del TULSMA (2015), con el fin de determinar los valores de las mediciones de los parámetros orgánicos e inorgánicos como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 31.

Datos de la medición y comparación normativa para el análisis del recurso suelo con en la central Paute-Mazar

Central	Recurso	Punto de medición	Tabla Norma	Parámetro	Unidad	Medición	Límite permisible
Mazar	Suelo	Escombrera	Acuerdo	pH	unid pH	8.310	0.0108
		Llavircay	Ministeria	Cromo hexavalente	mg/kg	0.010	1.4
		sector	1 97 a	Cobre	mg/kg	94.447	91
		Garita	anexo2	Níquel	mg/kg	8.964	50
			tabla 2	Plomo	mg/kg	3.100	150
				Vanadio	mg/kg	50.919	130
				Aceites y grasas	mg/kg	2338.400	4000
				Hidrocarburos	mg/kg	0.070	0.1
				aromáticos	mg/kg		
				policíclicos	mg/kg		
				Bifenilos	mg/kg	0.001	33
				policlorados PCBs	mg/kg		
				Benceno	mg/kg	0.010	5
				Etilbenceno	mg/kg	0.010	20
				Tolueno	mg/kg	0.010	0.8
				Xileno	mg/kg	0.10	20
				Clorobenceno	mg/kg	0.020	10
				Estireno	mg/kg	0.020	50

Nota. Elaborado por las autoras.

3.1.9 Integración a la base de datos de CELEC SUR

Luego del proceso de organización, clasificación y limpieza de los datos de muestreo, se procedió a crear la base de datos en archivo Excel, donde se guardaron los datos concatenados de las fechas de monitoreo, coordenadas, puntos de medición, parámetro, resultados de la medición con los límites permisibles para cada recurso. Con esta nueva información se procede a guardar los datos como se indica a continuación:

- db00_agua_cruda.csv
- db00_agua_potable.csv
- db00_agua_residual.csv
- db00_agua_rio.csv
- db01_lixiviados.csv
- db002_suelo.csv
- norma_ac.csv
- norma_ap.csv
- norma_ar.csv
- norma_arío.csv
- norma_lixiviados.csv
- norma_suelos.csv
- puntos_medición.csv

Seguido a esto, se integraron a la base de datos relacionados al PostgreSQL/PostGIS de CELEC SUR, la cual se utilizará posteriormente para la creación del proyecto en el software RStudio.

3.2 Análisis de datos y procedimiento para la elaboración de los reportes del cumplimiento normativo de la calidad del agua y suelo en RStudio

3.2.1 Estructuración de los reportes

La estructura de los reportes para el análisis del cumplimiento normativo ambiental de las variables agua y suelo y sus respectivas subvariables consta de varias secciones que van desde lo más general a lo más particular:

- Portada inicial
- Manual de usuario
- Mapa espacial de puntos
- Agua cruda
- Agua residual
- Agua potable
- Agua de río
- Lixiviados

- Suelo
- Descargar reportes

3.2.2 Creación del proyecto en RStudio

RStudio es un entorno de desarrollo integrado para el lenguaje R, el cual provee de varias funcionalidades que ayudan a agilizar y facilitar el desarrollo de *scripts* o proyectos (RStudio, 2020). Para este caso se emplea el paquete Shiny de RStudio, que permite crear archivos base para un proyecto funcional, así como también de librerías que brinda este software para la creación de gráficos estadísticos, tablas y mapas interactivos que se consideran de gran utilidad para el desarrollo de este proyecto.

- **Librerías para la creación de gráficos y tablas.** Se utilizaron tres librerías principales: “ggplot2”, “ggploty” y “data.table”. La primera permite generar diferentes tipos de gráficos con la ventaja de que el usuario puede modificar su estética según los requerimientos; la segunda posibilita transformar los gráficos en interactivos; y, por último, la tercera permite generar tablas con filtros.
- **Librerías para la creación de mapas interactivos.** Se emplearon las librerías “leaflet” y “shape” que ayudan a crear mapas interactivos directamente desde la consola RStudio. Estas librerías tienen la función de hacer *zoom*, delimitar mapas, añadir capas, imprimir mapas, entre otras.
- **Librería para la conexión con control a la base de datos de CELEC.** Para esto se usó la librería “DBI” y las funciones “dbConnect()” y “dbGetQuery()”. La primera hace posible conectarse a una base de datos, y la segunda permite generar búsquedas de tablas y vistas en la base de datos y ser extraídas en una variable R.
- **Paquete Shiny para la creación del proyecto.** Este paquete posibilita elaborar aplicaciones web interactivas directamente desde R y permite al usuario interactuar con los datos sin tener que manipular el código.

3.3 Implementación de la interfaz web interactiva a través de Shiny de RStudio

La programación del aplicativo web comprendió realizar una presentación a las partes interesadas y recibir retroalimentación a medida que se desarrollaba el programa. De esta manera se validó periódicamente la funcionalidad de la aplicación y a las necesidades de los técnicos de CELEC SUR. Con esto se dio cumplimiento al objetivo planteado inicialmente de

diseñar reportes automáticos como un sistema de ayuda al monitoreo de calidad ambiental del agua y suelo. A continuación, se detalla el contenido de cada pestaña del aplicativo:

- **Pestaña de inicio:** hace referencia a la portada inicial del producto y la acompaña una breve descripción del abstracto del proyecto al que pertenece. Esta pestaña también cuenta con los link directos a las páginas de la Universidad del Azuay y la de CELEC SUR.

Figura 5.

Pestaña de inicio



Fuente: Las Autoras

- **Pestaña de guía de usuario:** se presenta información sobre los componentes del aplicativo web y las acciones que el usuario puede realizar. Además, incluye información acerca de este trabajo de titulación y el convenio interinstitucional entre la Universidad del Azuay y CELEC SUR.

Figura 6.

Pestaña de guía de usuario

Evaluación del cumplimiento normativo ambiental de las variables agua y suelo



Celec S... Guía de usuario **Mapa de puntos** Agua cruda Agua residual Agua potable Agua de río Lixiviados Suelo Descargar reporte

UNIVERSIDAD DEL AZUAY HERSE CELEC EP

Manual de usuario

Este aplicativo permite al usuario visualizar los datos de monitoreo de los parámetros del Índice de calidad del Agua y Suelo, y el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. Además, permite generar reportes automáticos y a partir de esos resultados brinda un plan de acción correctivo para los parámetros que superan los límites máximos establecidos en la norma.

Esta aplicación cuenta con 7 pestañas principales:

1. Agua Cruda
2. Agua Residual
3. Agua Potable
4. Agua de Río
5. Lixiviados
6. Suelo
7. Descargas de Reportes

Esta página web cuenta con elementos interactivos que permite al usuario realizar las siguientes acciones:

1. Visualizar espacialmente los puntos de monitoreo por: central, punto de medición y recurso.
2. Seleccionar: la central, punto de medición, tipo de recurso y fecha.
3. Filtrar tablas según la fecha de interés.

Fuente: Las Autoras

- **Pestaña de mapas de punto:** en esta pestaña se incluyen los puntos de monitoreos de cada recurso en las centrales Mazar, Molino y Sopladora. Además, en esta sección se puede visualizar el número de puntos en una tabla de resumen, así como la posibilidad de seleccionar la central, el recurso y el punto de interés con su respectiva coordenada.

Figura 7.*Pestaña de mapa de puntos*


Guía de Usuario **Mapa de Puntos** Agua Cruda Agua Residual Agua Potable Agua de Río Lixiviados Suelo

Descargar Reporte

Geovisor

Las fuentes utilizadas para analizar el área y evaluar las variables seleccionadas, han sido trabajos realizados por CELEC EP. Según estos estudios, la Central Hidroeléctrica Paute Molino está ubicada en el límite de las provincias del Cañar, Chimborazo, Azuay y Morona Santiago, a 125 Km de la ciudad de Cuenca, la capital azuaya y a 50 Km de Santiago de Méndez, perteneciente a la provincia de Morona Santiago



Central: Paute_molino
UBICACION: Molino_2
ESTE: 770542 NORTE: 9716201

Satelite
 Topo
 Agua cruda
 Agua de río
 Agua potable
 Agua residual
 Lixiviados

Show 15 entries Search:

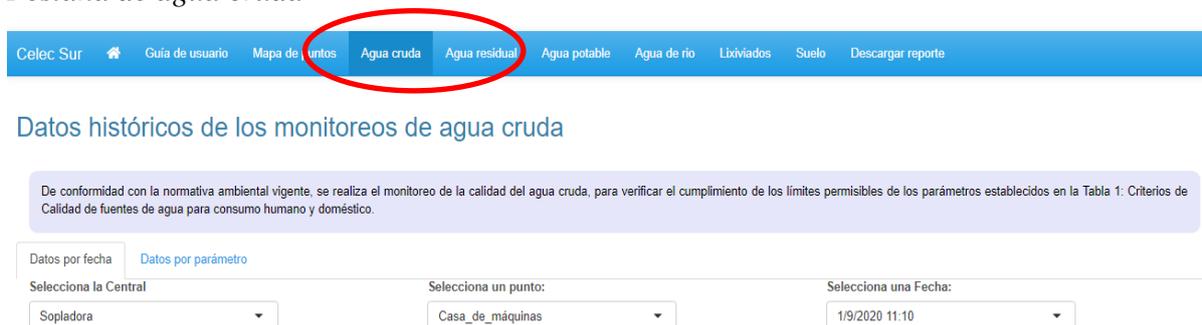
	Central	Recurso	Punto_Medición	X_coor
1	Paute_sopladora	Suelo gasolinera	Hormigonera_parte_baja	7837
2	Paute_mazar	Agua cruda	Jordán_1	7668
3	Paute_mazar	Agua cruda	Jordán_2	7668

Fuente: Las Autoras

- **Pestaña agua cruda:** esta pestaña muestra los datos históricos del monitoreo del agua cruda y una breve reseña sobre la normativa utilizada. Adicionalmente, se incluyen subpestañas como “Datos por fecha” y “Variación temporal” donde el usuario podrá seleccionar la opción de visualización y hacer el filtrado por central, punto de medición y fecha según sea su interés.

Figura 8.

Pestaña de agua cruda



Celec Sur [Guía de usuario](#) [Mapa de puntos](#) **Agua cruda** Agua residual Agua potable Agua de río Lixiviados Suelo Descargar reporte

Datos históricos de los monitoreos de agua cruda

De conformidad con la normativa ambiental vigente, se realiza el monitoreo de la calidad del agua cruda, para verificar el cumplimiento de los límites permisibles de los parámetros establecidos en la Tabla 1: Criterios de Calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.

Datos por fecha Datos por parámetro

Selecciona la Central: Sopladora

Selecciona un punto: Casa_de_máquinas

Selecciona una Fecha: 1/9/2020 11:10

Fuente: Las Autoras

- **Pestaña de agua residual:** esta pestaña describe brevemente la normativa que regula este recurso. Así mismo, se incluyen subpestañas como “Datos por fecha” y “Variación temporal” donde el usuario podrá seleccionar la opción de visualización y hacer el filtrado por central, punto de medición y fecha según su interés.

Figura 9.

Pestaña de agua residual



Celec Sur [Guía de usuario](#) [Mapa de puntos](#) Agua cruda **Agua residual** Agua potable Agua de río Lixiviados Suelo Descargar reporte

Datos históricos de los monitoreos de agua residual

Son los líquidos de composición variada provenientes de usos doméstico, municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de otra índole, ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original. La misma que es regulada por la normativa ambiental vigente donde indica los límites permisibles que deben cumplir los diferentes parámetros caracterizados, de acuerdo a la tabla 9 "Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del Anexo 1, LIBRO VI, TULSMA.

Datos por fecha Variación temporal

Selecciona la Central: Molino

Selecciona un punto: Aguas_turbinadas

Selecciona una Fecha: 16/5/2021 16:40

Fuente: Las Autoras

- **Pestaña de agua potable:** esta pestaña contiene una descripción breve del agua potable y la tabla normativa que se emplea para realizar el análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que la norma indica. Sumado a esto, se incluyen subpestañas como “Datos por fecha” y “Variación temporal” donde el usuario podrá seleccionar la opción de visualización y hacer el filtrado por central, punto de medición y fecha según de acuerdo con su interés.

Figura 10.

Pestaña del agua potable

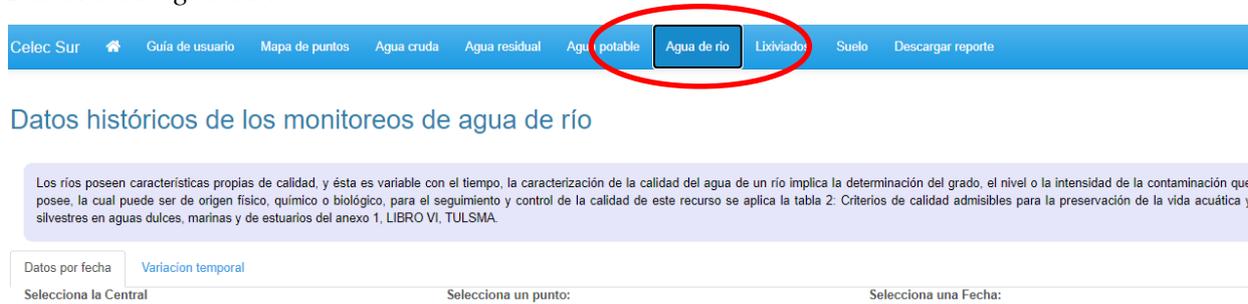


Fuente: Las Autoras

- **Pestaña de agua de río:** esta pestaña muestra una breve reseña de los ríos y la tabla de la normativa que se utiliza para realizar el análisis de los parámetros. Además, se incluyen subpestañas como “Datos por fecha” y “Variación temporal” en las que el usuario podrá seleccionar la opción de visualización y hacer el filtrado por central, punto de medición y fecha según sea su interés.

Figura 11.

Pestaña de agua de río

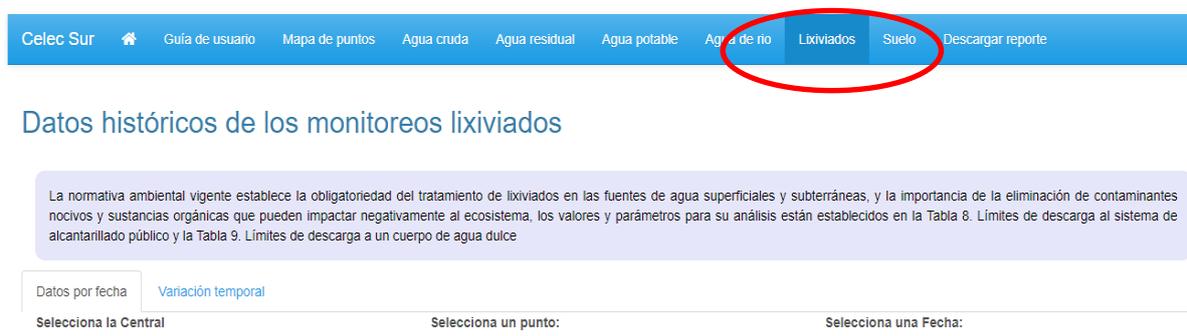


Fuente: Las Autoras

- **Pestaña de lixiviados:** ofrece una breve descripción de los lixiviados y la tabla de la normativa a la que debe estar sujeta su cumplimiento. Adicionalmente, se agregan subpestañas como “Datos por fecha” y “Variación temporal” donde el usuario podrá seleccionar la opción de visualización y hacer el filtrado por central, punto de medición y fecha según su interés.

Figura 12.

Pestaña de lixiviados

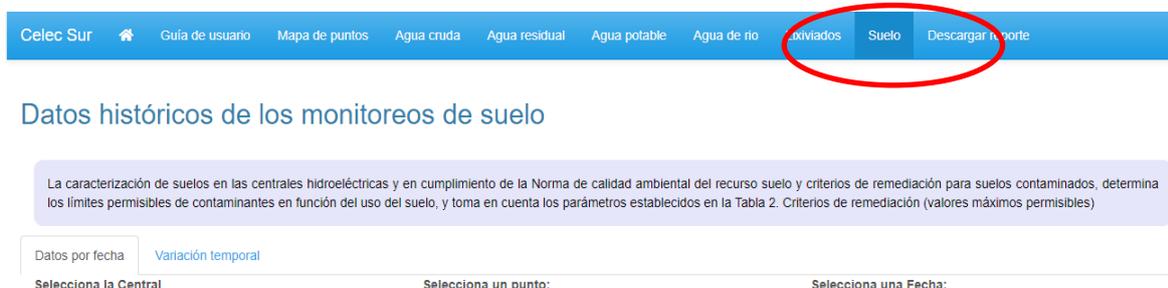


Fuente: Las Autoras

- **Pestaña de suelos:** presenta los datos históricos de la variable suelo y una breve reseña de la normativa a la que está sujeto su cumplimiento de la evaluación de los parámetros para determinar su calidad. Así mismo, se incluyen subpestañas como “Datos por fecha” y “Variación temporal” en las que el usuario podrá seleccionar la opción de visualización y hacer el filtrado por central, punto de medición y fecha de acuerdo con su interés.

Figura 13.

Pestaña del suelo



Fuente: Las Autoras

- **Pestaña de descarga de reportes:** esta pestaña presenta una interfaz que permite la descarga de reportes semestrales y anuales por central, por recurso y por frecuencia de acuerdo al año de interés en formato PDF.

Figura 14.

Pestaña de descarga de reportes

Evaluación del cumplimiento normativo ambiental de las variables agua y suelo

Celec Sur [Guía de usuario](#) [Mapa de puntos](#) [Agua cruda](#) [Agua residual](#) [Agua potable](#) [Agua de río](#) [Lixiviados](#) [Suelo](#) **Descargar reporte**

Elige la Central: Selecciona un recurso: Selecciona la frecuencia: Selecciona un año:

[Descargar reporte](#)

Fuente: Las Autoras

- **Subpestaña variación temporal:** brinda la posibilidad de realizar una búsqueda rápida de los parámetros medidos en un determinado sitio de medición y su variación en el transcurso de los años de análisis que se llevaron a cabo en las tres centrales hidroeléctricas.

Figura 15.

Opción de visualización "Variación temporal" del aplicativo

Evaluación del cumplimiento normativo ambiental de las variables agua y suelo

Celec Sur [Guía de usuario](#) [Mapa de puntos](#) [Agua cruda](#) [Agua residual](#) [Agua potable](#) [Agua de río](#) [Lixiviados](#) [Suelo](#) [Descargar reporte](#)

Datos históricos de los monitoreos de agua cruda

De conformidad con la normativa ambiental vigente, se realiza el monitoreo de la calidad del agua cruda, para verificar el cumplimiento de los límites permisibles de los parámetros establecidos en la Tabla 1: Criterios de Calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.

Datos por fecha: Selecciona la Central: Selecciona un punto: Selecciona una Fecha:

Fuente: Las Autoras

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez que se finalizó la organización, limpieza e incorporación de los datos a la base de datos de CELEC SUR y se aplicó la metodología anterior, tuvo lugar el análisis de los resultados que se abordaron de acuerdo con el contenido expuesto en capítulos anteriores. Los resultados se presentan para un punto de muestreo de cada central hidroeléctrica debido a las limitaciones de publicación de datos de este proyecto.

4.1 Evaluación de los criterios de calidad del recurso agua en las centrales hidroeléctricas basadas en el Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A y la NTE INEN 1108.

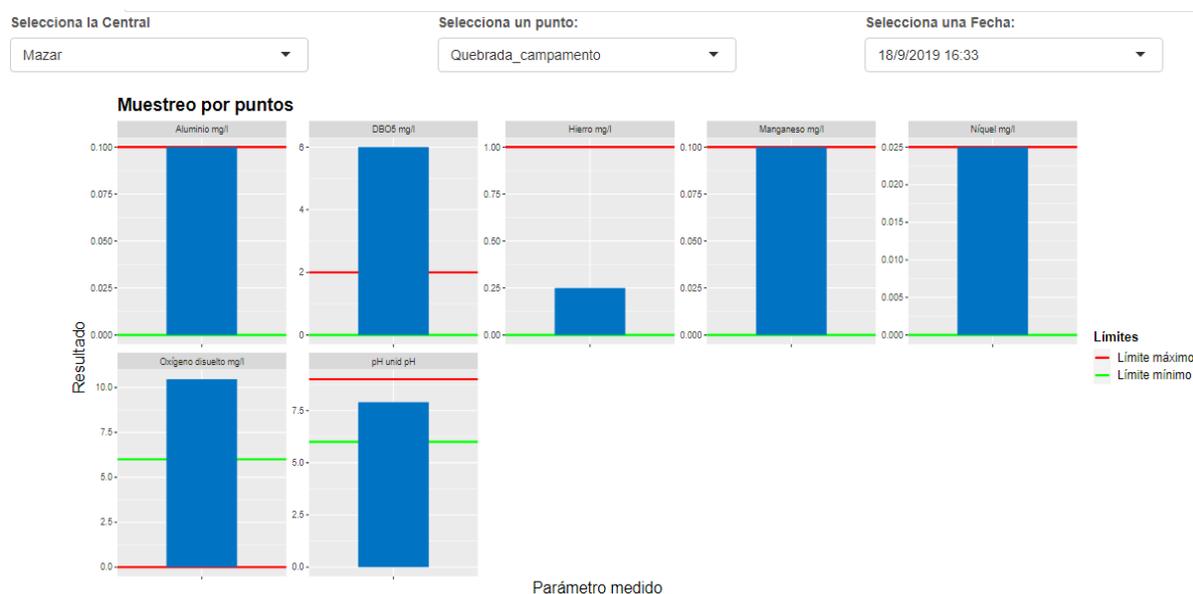
Con base en la legislación ambiental del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma para la prevención y Control de la Contaminación Ambiental del Recurso agua en Centrales Hidroeléctricas, se realiza la comparación de resultados del monitoreo proporcionados por CELEC SUR de los puntos de muestreo medidos en las centrales Mazar, Molino y Sopladora con el límite máximo permisible de exposición en los cuerpos de agua de la siguiente manera.

4.1.1 Evaluación de los criterios de calidad del agua cruda en la central Paute-Mazar

En la pestaña “Agua cruda” se podrá encontrar los resultados de la comparativa y evaluación del cumplimiento de la normativa ambiental para esta variable. Dicho esto, en la Figura 16 se muestran los resultados del análisis comparativo de los parámetros de esta variable en el punto “Quebrada campamento”, con los límites permisibles establecidos en la Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico (ver Anexo 1), de la “Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua” (Ministerio del Ambiente, 2015).

Figura 16.

Visualización de la comparación con la normativa ambiental de los parámetros medidos en el punto “Quebrada campamento” de la central Paute-Mazar



Fuente: Las Autoras

Estos gráficos evidencian los valores de las concentraciones para cada subvariable (parámetros), de los que se tienen datos de medición en un determinado punto de muestreo. Para este caso en particular, se observan parámetros como: aluminio (Al, mg/l), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5, mg/l), hierro (Fe, mg/l), manganeso (Mn, mg/l), níquel (Ni, mg/l), oxígeno disuelto (OD, mg/l) y al potencial de hidrógeno (unidad de pH), de los cuales todos cumplen con los límites permisibles (líneas roja y verde) establecidos en la Tabla 1 (ver Anexo 1) del TULSMA. Los parámetros que no cumplen con la normativa aparecen en la Figura 17 resaltados en color naranja, tal es el caso de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y el oxígeno disuelto (OD, mg/l).

Para la demanda bioquímica de oxígeno (DBQ5), el límite máximo permisible que indica la normativa deber ser menor a 2 mg/l (ver Anexo 1), y en este caso se tiene un valor de 6mg/l, por consiguiente, no cumple con las concentraciones mínimas que requiere este parámetro para el agua cruda, puesto que un alto contenido de BDO5 demanda de un alto consumo de oxígeno, lo que imposibilita su degradación biológica normal y pone en peligro la vida acuática.

En cuanto al oxígeno disuelto (OD), la normativa señala que este valor no debe ser menor al 80 % del oxígeno de saturación (OS) y ni a 6mg/l, y en este punto de medición se obtuvo un

valor de 10.46 mg/l, por lo tanto, su concentración es alta con respecto a lo que se estableció en la normativa. Un nivel de OD por debajo de los 6 mg/l se considera perjudicial para la vida acuática.

Figura 17.

Visualización del cumplimiento normativo de los parámetros en el punto “Quebrada campamento” de la central Paute-Mazar

Norma_tabla	Parámetro	Unidad	Límite_mínimo	Límite_máximo	Fecha	Medición	v_his	Cumplimiento
Acuerdo_ministerial 97a_tabla 1	Aluminio	mg/l	0	0.1	18/9/2019 16:33	0.1		C
Acuerdo_ministerial 97a_tabla 1	DBO5	mg/l	0	2	18/9/2019 16:33	6		NC
Acuerdo_ministerial 97a_tabla 1	Hierro	mg/l	0	1	18/9/2019 16:33	0.25		C
Acuerdo_ministerial 97a_tabla 1	Manganeso	mg/l	0	0.1	18/9/2019 16:33	0.1		C
Acuerdo_ministerial 97a_tabla 1	Níquel	mg/l	0	0.025	18/9/2019 16:33	0.025		C
Acuerdo_ministerial 97a_tabla 1	Oxígeno disuelto	mg/l	6	0	18/9/2019 16:33	10.46		NC
Acuerdo_ministerial 97a_tabla 1	pH	unid pH	6	9	18/9/2019 16:33	7.9		C

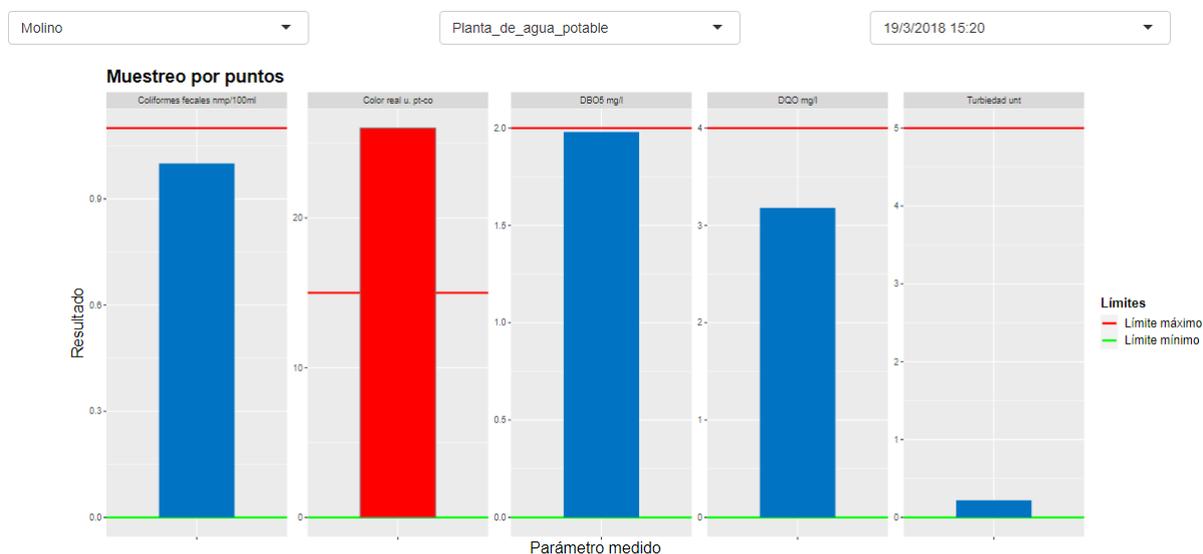
Fuente: Las Autoras

4.1.2 Evaluación de los criterios de calidad del agua potable en la central Paute-Molino

En la pestaña “Agua Potable” del aplicativo se consigue visualizar los resultados de la comparación y evaluación del cumplimiento de los requisitos que le corresponden al agua potable para ser considerada apta para el consumo humano. En este sentido, en la Figura 18 se precisan los resultados del análisis comparativo de los parámetros que determinan la calidad del agua potable según lo que se especificado en la NTE INEN 1108, Tabla 1. “Agua Potable: Requisitos” (ver Anexo 2). Como se puede observar en el punto “Planta_de_agua_potable” se realizaron mediciones de las concentraciones para los siguientes parámetros: coliformes fecales (CF, mg/l), color real (U.Pt.Co), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5, mg/l), demanda química de oxígeno (DQO, mg/l) y la turbiedad (TU, unt).

Figura 18.

Visualización de la comparación con la normativa ambiental de los parámetros medidos en el punto “Planta_de_agua_potable” de la central Paute-Molino



Fuente: Las Autoras

En la Figura 19 se puede identificar que el color real no cumple (NC) con el límite máximo permisible, que para este caso es de 15 U.Pt.Co (unidades de platino de cobalto), y el valor que se registra es de 26 U.Pt.Co, es decir, está por encima del límite máximo establecido en la norma. Un nivel alto de color real en las aguas es un indicador de contaminación, dado que es posible encontrar partículas en suspensión, materia orgánica, sedimentos, sustancias húmicas, entre otras. En este caso el agua presenta un color real con un nivel 11 veces por arriba de los límites permitidos.

Figura 19.

Visualización del cumplimiento normativo de los parámetros en el punto “Planta_de_agua_potable” de la central Paute-Molino.

Norma_tabla	Parámetro	Unidad	Límite_mínimo	Límite_máximo	Fecha	Medición	v_his	Cumplimiento
NTE INEN_1108	Coliformes fecales	nmp/100ml	0	1.1	19/3/2018 15:20	1		C
NTE INEN_1108	Color real	u. pt-co	0	15	19/3/2018 15:20	26		NC
NTE INEN_1108	DBO5	mg/l	0	2	19/3/2018 15:20	1.98		C
NTE INEN_1108	DQO	mg/l	0	4	19/3/2018 15:20	3.18		C
NTE INEN_1108	Turbiedad	unt	0	5	19/3/2018 15:20	0.22		C

Fuente: Las Autoras

4.1.3 Evaluación de los criterios de calidad del agua residual de la central Paute-Sopladora

En la pestaña “Agua residual” del aplicativo se pueden observar los resultados de la comparación y evaluación del cumplimiento de los criterios de calidad establecidos en las “Normas generales para descargas de efluentes a cuerpos de agua dulce” del TULSMA (2015) (ver Anexo 3).

En ese orden de ideas, en la Figura 20 se detallan los parámetros de los que se poseen registros en la base de datos del año 2018 para el punto “Casa_de_máquinas” de la central Paute-Sopladora, los cuales son los siguientes: aluminio(Al, mg/l), aceites y grasas (mg/l), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5, mg/l), coliformes fecales (NMP/100ml), potencial de hidrógeno (unidad de pH), fósforo (P, mg/l), hierro (Fe, mg/l), níquel (Ni, mg/l), manganeso (Mn, mg/l), sulfuros(S², mg/l), sólidos suspendidos totales (SST, mg/l) y sólidos suspendidos gravimétricos (SSD, mg/l). De estos, el Fósforo (P), la DBO5 y los coliformes totales no cumplen (NC) con los criterios especificados en la norma que regula las condiciones que el agua residual debe cumplir antes de ser descargada a un cuerpo de agua dulce.

Para el caso de los coliformes fecales (NMP/100ml), su nivel de concentración registra un valor de 613.100,00 NMP/100ml, es excesivamente alto comparado con 2000NMP/100ml que indica la normativa. Los niveles altos de concentración de los CF se dan generalmente por una carga grande de excrementos de humano. Según Mora (1998), la presencia de altas concentraciones de coliformes fecales, particularmente en zonas donde se asientan las centrales hidroeléctricas,

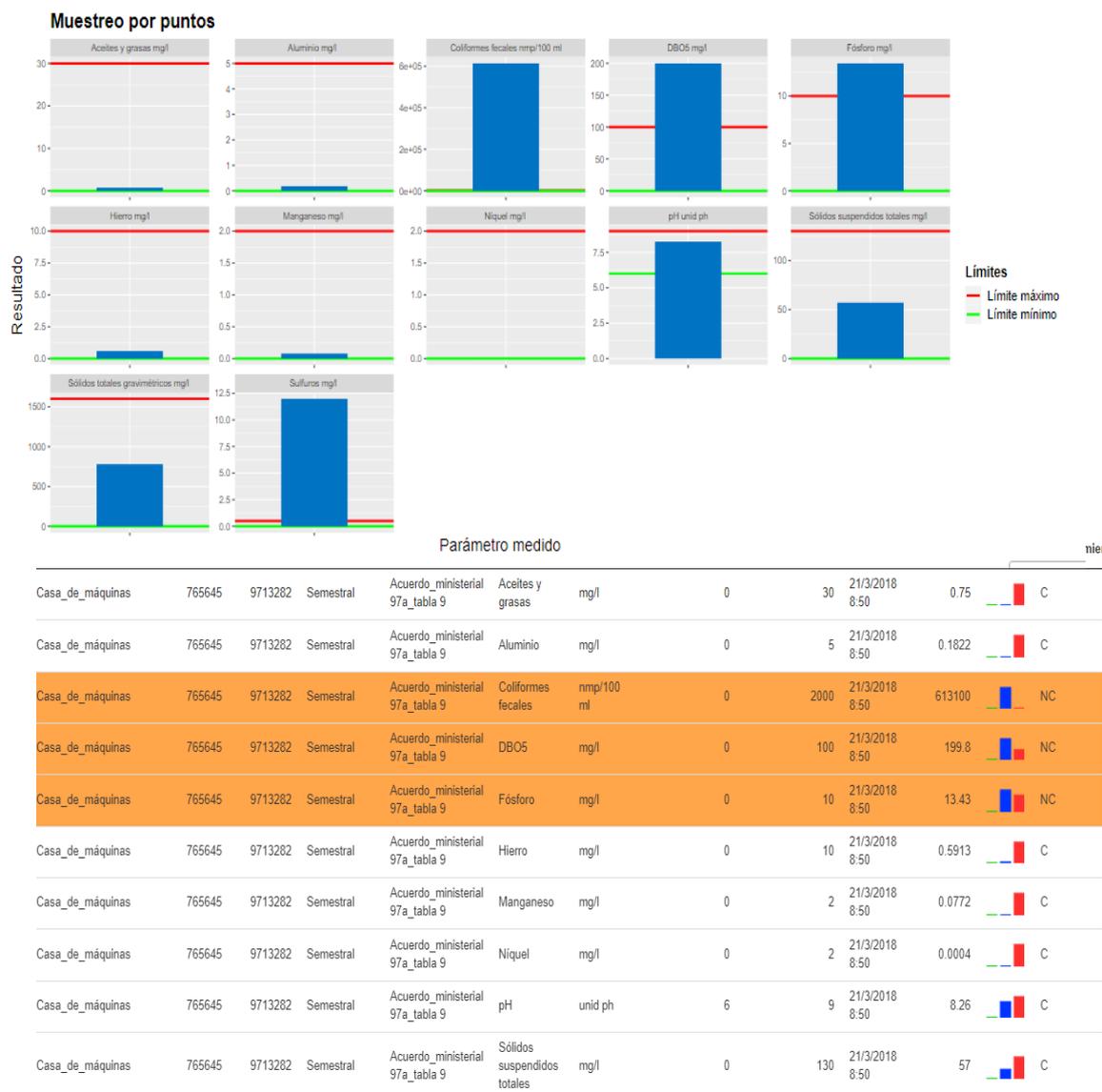
significan un riesgo para la salud de los humanos, debido a que aguas abajo de las centrales los probadores utilizan esas aguas para riego de cultivos, por esa razón, existe alto riesgo de contraer enfermedades intestinales.

Con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la normativa indica un límite máximo permisible de 100 NMP/ml, mientras que para este año de análisis se registró 199,8NMP/ml, lo que representa el doble de su valor máximo. Esto sugiere la presencia un alto contenido de materia orgánica, por lo tanto, refleja un cuerpo de agua muy contaminado, donde solo viven los organismos más resistentes a la contaminación (Restrepo y Tobón, 2002).

Referente al fósforo (P), el valor que se encontró en el año 2018 no cumple con la normativa que estipula un máximo permisible de 10 mg/l, y el valor para ese año registró 13.43mg/l. Si bien es cierto, este parámetro no se considera tóxico para los seres humanos y animales, no obstante, puede tener efectos indirectos a través de la eutrofización de los cuerpos de aguas superficiales, lo que implica gran crecimiento de algas (Carpenter et al.,1999).

Figura 20.

Visualización de la comparación con la normativa ambiental de los parámetros medidos en el punto “Casa_de_máquinas” de la central Paute-Sopladora.



Fuente: Las Autoras

4.2 Evaluación de los criterios de calidad del suelo en las centrales hidroeléctricas basado en el Anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097-A

En función de los datos obtenidos por los monitoreos del suelo en las centrales hidroeléctricas Paute-Mazar, Paute-Molino y Paute-Sopladora, se compararon los criterios de remediación para suelos contaminados y suelos tipo industrial, dictados en la “Norma de la calidad

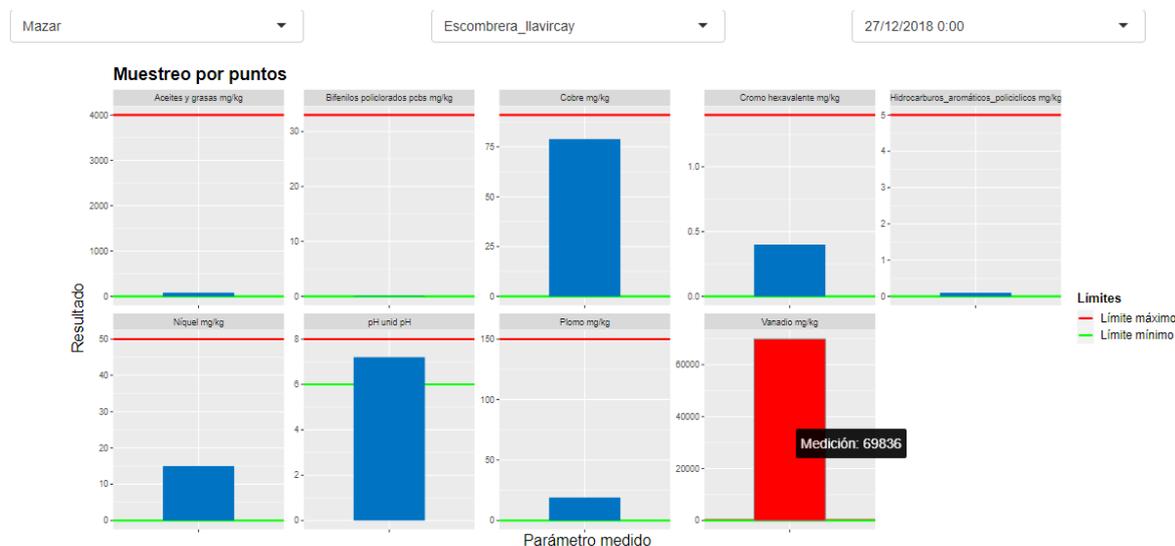
ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” en el Anexo 2 del TULSMA.

4.2.1 Evaluación de los criterios de calidad del suelo de la central Paute-Mazar

En la “Pestaña suelo” del aplicativo se exponen los resultados de la evaluación de los parámetros de criterios de remediación para suelos contaminados. Para este caso, se muestran los resultados del punto de muestreo denominado “Escombrera_llavircay”, de la central Mazar en el año 2018, como se observa en la Figura 21. Los parámetros que se miden en este punto son aceites y grasas (mg/kg), cobre (Cu, mg/kg), cromo hexavalente (Cr+5, mg/kg), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs, mg/kg), níquel (Ni, mg/kg), pH (Unidades de pH), plomo (Pb, mg/kg) y vanadio (V, mg/kg).

Figura 21.

Vista de los parámetros medidos en el punto “Escombrera_llavircay” de la central Paute-Mazar vs. los límites máximos permisibles



Fuente: Las Autoras

Al realizar la comparativa con la norma, en la Figura 22 se puede evidenciar que únicamente el vanadio (V) no cumple (NC) con su límite de concentración permisible, debido a que presenta un valor de 69.836.0 mg/kg, mientras que en la tabla 2 (ver Anexo 6) de los criterios de remediación para suelos contaminados su valor máximo es de 130 mg/kg. El Departamento Estatal de Servicios de Salud de Texas (2015) menciona que la presencia de un alto nivel de

vanadio en los suelos es un indicador de polución por fuentes ligadas a procesos industriales como las que se realizan en las centrales hidroeléctricas, que usan petróleo y carbón ricos en vanadio para su funcionamiento.

Figura 22.

Vista del cumplimiento y no cumplimiento normativo de los parámetros medidos en el punto “Escombrera_llavircay” de la central Paute-Mazar

Parámetro	Unidad	Límite_mínimo	Límite_máximo	Fecha	Medición	v_his	Cumplimiento
Níquel	mg/kg	0	50	27/12/2018 0:00	15		C
pH	unid pH	6	8	27/12/2018 0:00	7.2		C
Plomo	mg/kg	0	150	27/12/2018 0:00	19		C
Vanadio	mg/kg	0	130	27/12/2018 0:00	69836		NC

Fuente: Las Autoras

4.2.2 Evaluación de los criterios de la calidad del suelo de la central Paute-Molino.

De igual manera, en la “Pestaña suelo” del aplicativo se encuentra la comparación de los parámetros medidos con la tabla de la normativa (ver Anexo 6) en uno de los puntos de medición denominado “Campamento_guarumales_relleno_sanitario” de la central Paute-Molino, registrado en el año 2020. Así pues, en la Figura 23 se visualizan los parámetros medidos en este punto de muestreo, entre los que se tiene: bifenilos policlorados (PCB, mg/kg), cobre (Cu, mg/kg), cromo hexavalente (Cr+5, mg/kg), hidrocarburos totales de petróleo (TPH, mg/kg), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP, mg/kg), níquel (Ni, mg/kg), pH (Unidades de pH), plomo (Pb, mg/kg) y vanadio (V, mg/kg), tres de estos presentan valores más elevados que los citados en la normativa al realizar el proceso de evaluación del cumplimiento normativo.

Figura 23.

Vista de los parámetros medidos en el punto “Campamento_guarumales_relleno_sanitario” de la central Paute-Molino vs. límites máximos permisibles



Fuente: Las Autoras

En la figura 24 se puede apreciar que el plomo (Pb), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) no cumplen (NC) con los valores máximos permisibles determinados en la tabla 2: “Criterios de remediación” (ver Anexo 6). Para el caso del metal plomo (Pb), la normativa indica un valor máximo de 150 mg/kg, y en este punto se presenta un nivel de concentración de 202.417.0 mg/kg, lo que señala que el suelo está potencialmente contaminado por este elemento. Los efectos que puede causar un alto nivel de plomo en el suelo es la persistencia a la degradación y no permite que el suelo cumpla con sus funciones características. Según Ubillus (2003), se pueden producir malformaciones y cambios de comportamiento de organismos tanto terrestres como acuáticos por bioacumulación en sus ecosistemas.

En cuanto a los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), la norma precisa que este valor debe ser menor a 5 mg/kg, en este caso alcanza un valor de 1.601,2 mg/kg, por consiguiente, no cumple (NC). Una presencia elevada de este parámetro en el suelo provoca una contaminación del suelo y del agua, debido a que tiene la capacidad de adherirse firmemente a las partículas del suelo, algunas de ellas se movilizan a través de las capas del suelo y contaminan las fuentes de aguas subterráneas.

En lo referente a los hidrocarburos totales de petróleo (TPH), el valor máximo que señala la normativa es de 620 mg/kg, y en este caso, alcanza un valor máximo de 49.914,0 mg/kg, por ende, está fuera de los límites permitidos. Los valores altos pueden ser resultado de fugas, derrames y filtraciones de hidrocarburos durante la operación de las centrales hidroeléctricas. Castellanos et al. (2015) afirmaron que la contaminación de los suelos por THP puede producir cambios físicos y químicos hasta incluso alterar su condición natural, principalmente en las capas expuestas.

Figura 24.

Vista del cumplimiento y no cumplimiento normativo de los parámetros medidos en el punto “Campamento_guarumales_relleno_sanitario” de la central Paute-Molino

Parámetro	Unidad	Límite_mínimo	Límite_máximo	Fecha	Medición	v_his	Cumplimiento
Bifenilos policlorados pcbs	mg/kg	0	33	21/11/2020 10:10	0.086		C
Cobre	mg/kg	0	91	21/11/2020 10:10	73.87		C
Cromo hexavalente	mg/kg	0	1.4	21/11/2020 10:10	1		C
Hidrocarburos totales de petróleo	mg/kg	0	620	21/11/2020 10:10	49914		NC
Hidrocarburos_aromáticos_policiclicos	mg/kg	0	5	21/11/2020 10:10	1601.2		NC
Níquel	mg/kg	0	50	21/11/2020 10:10	12.57		C
pH	unid pH	6	8	21/11/2020 10:10	7.23		C
Plomo	mg/kg	0	150	21/11/2020 10:10	202417		NC

Fuente: Las Autoras

4.2.3 Evaluación de los criterios de la calidad del suelo de la central Paute-Sopladora

En la Figura 25 se pueden constatar los resultados de la comparación de los parámetros para la evaluación del cumplimiento normativo (ver Anexo 6) de los criterios de calidad del suelo registrados en el punto denominado “hormigonera_parte_baja” del período 2019 de la Central Paute-Sopladora. En este punto se poseen registros de medición de los siguientes parámetros: bifenilos policlorados (PCB, mg/kg), cobre (Cu, mg/kg), cromo hexavalente (Cr+5, mg/kg),

hidrocarburos totales de petróleo (TPH, mg/kg), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP, mg/kg), níquel (Ni, mg/kg), pH (Unidades de pH), plomo (Pb, mg/kg) y vanadio (V, mg/kg).

Figura 25.

Vista de los parámetros medidos en el punto “Hormigonera_parte_alta” de la central Paute-Sopladora vs. límites máximos permisibles.



Fuente: Las Autoras

En este punto de medición “Hormigonera_parte_alta” se puede evidenciar que los parámetros como el plomo (Pb), vanadio (V, mg/kg), hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y los bifenilos policlorados (PCB) no cumplen con los criterios de calidad de la normativa, como se observa en la Figura 26.

La concentración de estos parámetros en este sitio presenta valores por encima de los límites permisibles, para el caso de los bifenilos policlorados (PCB) la norma señala un valor de 33 mg/kg, y se registró un valor de 4684 mg/kg, lo que significa que este suelo está contaminado por tales parámetros. De acuerdo con la ATSDR (2020), la degradación de este compuesto orgánico cuando se presenta en el suelo puede durar años y su presencia puede ser a causa de derrames accidentales y escapes durante actividades inapropiadas de las industrias.

Otros de los parámetros que sobrepasa con los límites máximos son los hidrocarburos totales de petróleo (TPH), con un registro de 58.995,00 mg/kg cuando su límite permitido es de 620 mg/kg (ver Anexo 6), así mismo, el plomo (Pb) registró un valor máximo de 29.876.00 mg/kg, y según la norma indica su límite máximo es de 150 mg/kg y, finalmente, el vanadio (V) cuenta

con un registro de 21.844,00 mg/kg, lo que representa un porcentaje muy alto con relación a su límite permitido de 130 mg/kg.

Figura 26.

Vista del cumplimiento y no cumplimiento normativo de los parámetros medidos en el punto “Campamento_guarumales relleno_sanitario” de la central Paute-Sopladora

Parámetro	Unidad	Límite_mínimo	Límite_máximo	Fecha	Medición	v_his	Cumplimiento
Bifenilos policlorados pcbs	mg/kg	0	33	1/9/2020 9:59	4684		NC
Cobre	mg/kg	0	91	1/9/2020 9:59	53.51		C
Cromo hexavalente	mg/kg	0	1.4	1/9/2020 9:59	1		C
Hidrocarburos totales de petróleo	mg/kg	0	620	1/9/2020 9:59	58995		NC
Níquel	mg/kg	0	50	1/9/2020 9:59	44.19		C
pH	unid pH	6	8	1/9/2020 9:59	6.38		C
Plomo	mg/kg	0	150	1/9/2020 9:59	29876		NC
Vanadio	mg/kg	0	130	1/9/2020 9:59	21844		NC

Fuente: Las Autoras

4.3 Análisis de la variación histórica del monitoreo ambiental del agua y suelo

Una vez se obtuvieron los resultados de la evaluación de los criterios de calidad del recurso agua y suelo en los sitios de monitoreo de las centrales Paute-Mazar, Paute-Molino y Paute-Sopladora, se procedió a realizar un análisis de la variación de los parámetros que definen la calidad del agua y suelo a lo largo de los períodos 2018 al 2021.

4.3.1 Análisis de la variación histórica del monitoreo ambiental del agua cruda en la central Paute-Mazar.

- Potencial de Hidrógeno pH

En la Figura 27 se visualizan los resultados del pH que se tomaron en el punto “Quebrada_campamento”, cuyos valores oscilan entre los 7.9 y 7.17, y en septiembre del año 2019 alcanzaron el valor más alto. Muy pocas especies pueden desarrollarse en pH inferiores a 2 o superiores a 10 (Ocasio, 2008); en tanto que, para el agua destinada a consumo humano y doméstico de acuerdo con el TULSMA (2015) los valores máximos permisibles oscilan entre 6 a 9. A su vez, se encontraron similitudes de los resultados con los estudios que llevó a cabo Jiménez (2001), quien señaló que un pH con valores entre 6.5 a 8.5 están dentro del régimen aceptable para consumo doméstico.

Figura 27.

Variación histórica del potencial de hidrógeno (pH unidad de pH) medidos en el punto “Quebrada campamento”



Fuente: Las Autoras

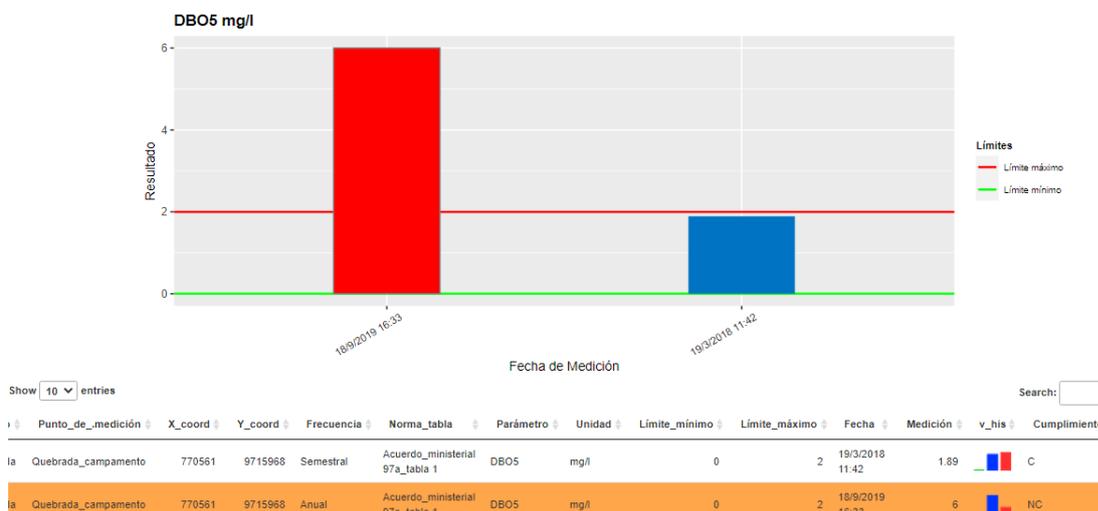
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

En la Figura 28 se exponen los resultados para el punto “Quebrada campamento” de las concentraciones de la DBO5, las cuales varían entre 1.89 mg/l y 6 mg/l para los años 2018 y 2019 respectivamente, en el mes de septiembre del 2019 predominó un mayor nivel de concentración, una de las razones de los niveles altos de DBO5 puede ser por aporte de material orgánico de origen animal en los cuerpos hídricos. Los autores Bejar y Mendoza (2018)

indicaron que estos aumentos también se dan por contribuciones de agua residual provenientes del uso doméstico, lo que provoca el aumento en las concentraciones de la DBO5 en los ríos.

Figura 28.

Variación histórica de la DBO5 (mg/l) medidos en el punto “Quebrada campamento”



Fuente: Las Autoras

- Hierro

En la Figura 29 se aprecian los resultados para el punto “Quebrada campamento” de las concentraciones del hierro (Fe), el cual presenta una variación de 0,0047 mg/l en el año 2018 y 0,25mg/l en el 2019. Para este caso en particular en los dos años cumplen con los valores permisibles, cuyo valor límite es de 1 mg/l según TULSMA (2015).

Figura 29.

Variación histórica del hierro (Fe mg/l) medidos en el punto “Quebrada campamento”



Fuente: Las Autoras

Cabe enfatizar que en todos los puntos de monitoreos para la evaluación de los criterios de calidad del agua cruda de la central Paute-Mazar no se midieron todos los parámetros indicados en el Acuerdo Ministerial 097 A del TULSMA (ver Anexo 1), pues durante los años de análisis varían la toma de muestras para distintos parámetros, por ejemplo, en el año 2018 registraron muestras para los coliformes fecales, pero para el año siguiente ya no existían registros, por ello, no se presenta una variación histórica de los otros parámetros que se miden para el punto “Quebrada campamento”.

4.3.2 Análisis de la variación histórica del monitoreo ambiental del agua potable en la central Pate-Molino

- Coliformes fecales:

La Figura 30 precisa el aumento considerable de coliformes fecales en el punto “Planta_de_agua_potable” de los registros del mes diciembre del año 2018, el cual presenta un valor significativo de 81,6 NMP/100ml, en consecuencia, el agua no está apta para consumo humano desde el punto de vista microbiológico, puesto que la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2011 decretó que la ausencia de este parámetro deber ser menor a 1.1 NMP/100ml.

Figura 30.

Variación histórica de los coliformes totales (CF nmp/100ml) del punto
“Planta_de_agua_potable”



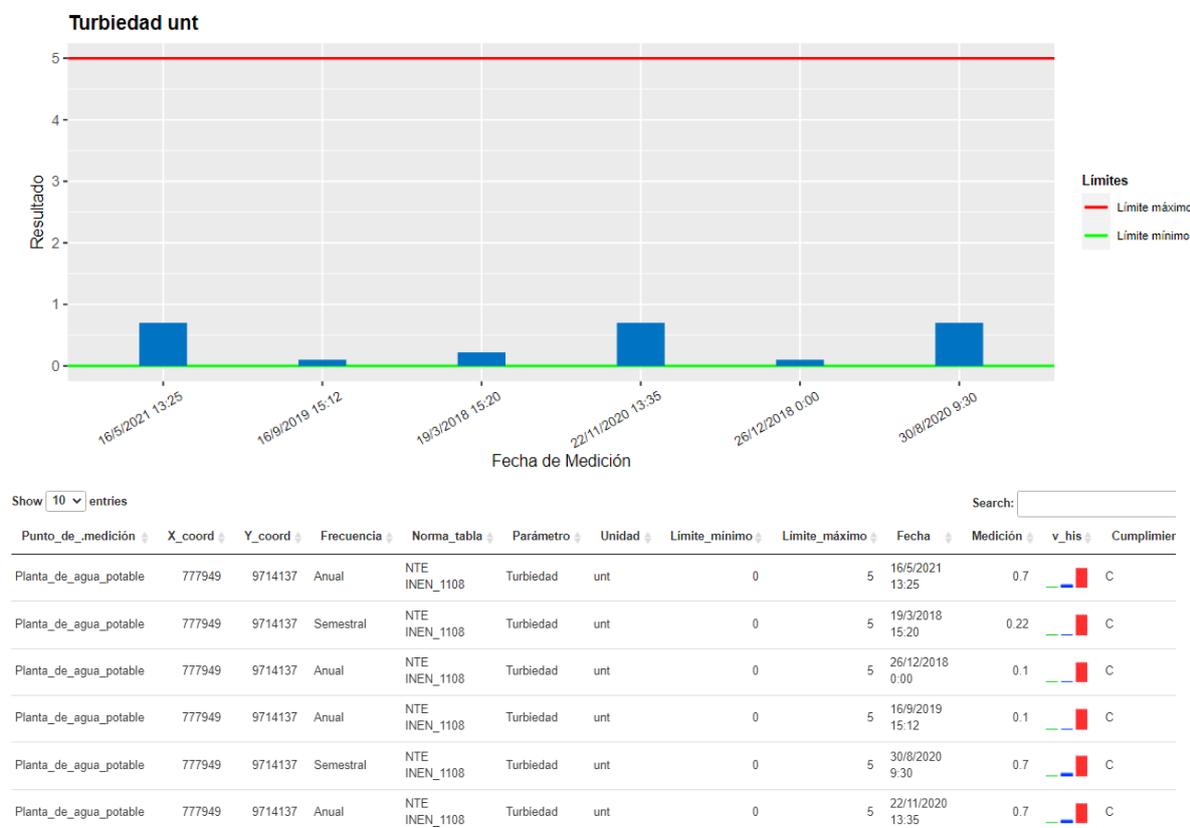
Fuente: Las Autoras

- **Turbiedad:**

En la Figura 31 se presentan los resultados de la turbiedad obtenidos, estos no difieren con respecto a los límites máximos permisibles de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108, dado que en todos los años de monitoreo estos parámetros permanecen dentro de los rangos permitidos. Los valores relativamente altos se registraron en los años 2020 y 2021, con una concentración de 0.7 UNT, mientras que la norma estipula un valor permitido de 5 UNT para el agua potable. De acuerdo con la OMS, la turbidez del agua destinada para el consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 UNT y su concentración ideal estará por debajo de 1 UNT.

Figura 31.

Variación histórica de la turbiedad (UNT) del punto “Planta_de_agua_potable”



Fuente: Las Autoras

- Demanda bioquímica de oxígeno DBO5:

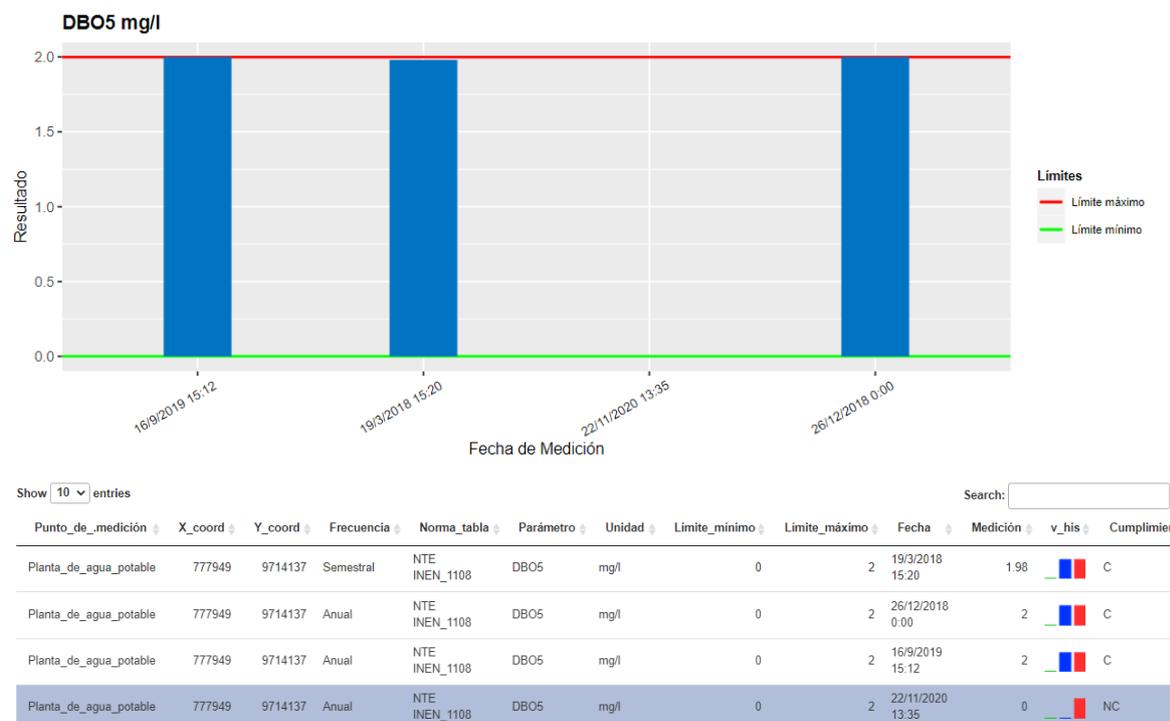
En la Figura 32 se detallan cada uno de los resultados de las concentraciones para el parámetro DBO5, que se registraron en los años 2018 al 2021 en el punto “Planta_de_agua_potable”, los cuales presentaron variaciones entre 0 a 2 mg/l, y según el Acuerdo Ministerial 097 A, tabla 1 del TULSMA (ver Anexo 1), el valor permisible debe ser menor a 2 mg/l, mientras que la NTE INEN 1108 no lo registra en sus criterios de calidad como un parámetro a considerarse para los requisitos del agua potable.

En concordancia con algunos estudios que realizaron Delzer y McKenzie (2003), la ausencia de la DBO5 crea ambientes sépticos y de mal olor propias de la putrefacción, e impiden prácticamente cualquier uso de este recurso. Por otro lado, Ramirez et al. (2008) señalaron que un valor nulo o cero de la DBO5 se puede generar por dos factores: el primero, que los equipos

de medición estén mal calibrados; y el segundo, la metodología utilizada para el muestreo se ejecute erróneamente.

Figura 32.

Variación histórica de la BDO5 (mg/l) del punto “Planta_de_agua_potable”



Fuente: Las Autoras

- **Color:**

En la Figura 33 se puede visualizar que el valor más alto del color se registró en el mes de marzo del año 2018 con un valor de 26 u.pt.co, este valor es significativamente mayor en cuanto al límite máximo permisible por la NTE INEN 1108, que estableció su valor máximo permisible en 15 u.pt.co. Los autores Arnáiz y Lebrado (2022) recalcan que la presencia de color en el agua para consumo humano es un indicador de una calidad deficiente, además, mencionan que toda agua potable deber ser transparente, es decir, que no posea partículas insolubles en suspensión como limo, arcilla, materia mineral, algas, entre otras.

Figura 33.

Variación histórica del color real (u.pt.co) del punto “Planta_de_agua_potable”



Fuente: Las Autoras

Es fundamental mencionar que las variaciones de los parámetros en todos los puntos de muestreo de la central Paute-Molino se mantienen en el mismo rango de valores que se presentaron y describieron en este apartado.

4.3.3 Análisis de la variación histórica de los parámetros del agua residual en la central Paute-Sopladora

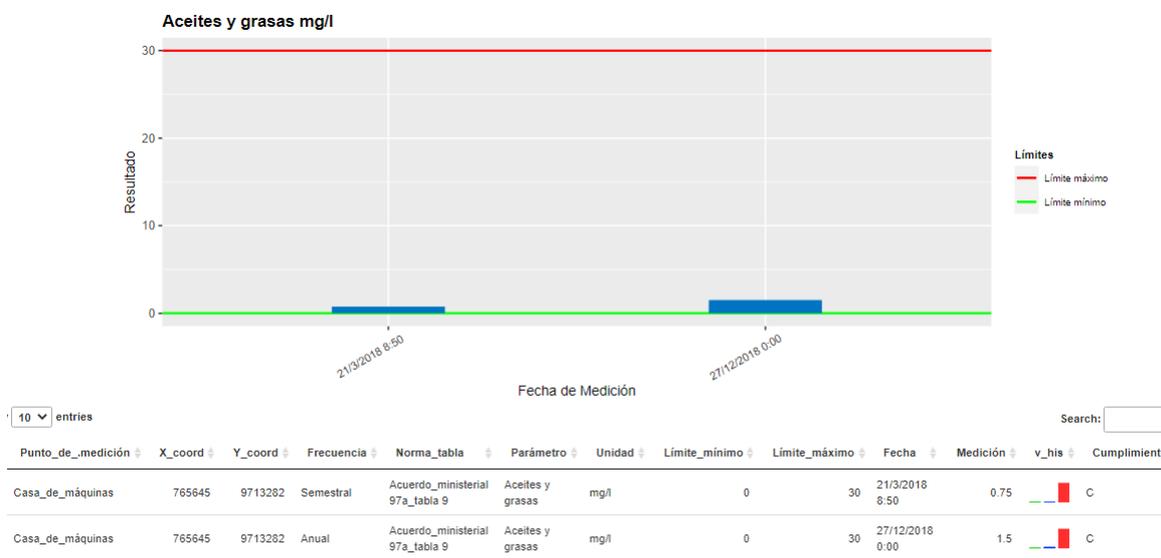
- Aceites y grasas:

En la Figura 34 se muestra la variación del parámetro aceites y grasas (mg/l) a lo largo de las campañas que se ejecutaron en el año 2018, en el sitio denominado “Casa_de_máquinas”, el cual no tiene incumplimiento normativo, puesto que la norma ambiental (ver Anexo 4) indica que el límite máximo de concentración es de 30 mg/l y en este punto se registraron niveles de

concentración que están dentro de los límites máximos permisibles, en consecuencia, no representan un indicador de contaminación.

Figura 34.

Variación histórica de aceites y grasas (mg/l) del punto “Casa_de_máquinas”



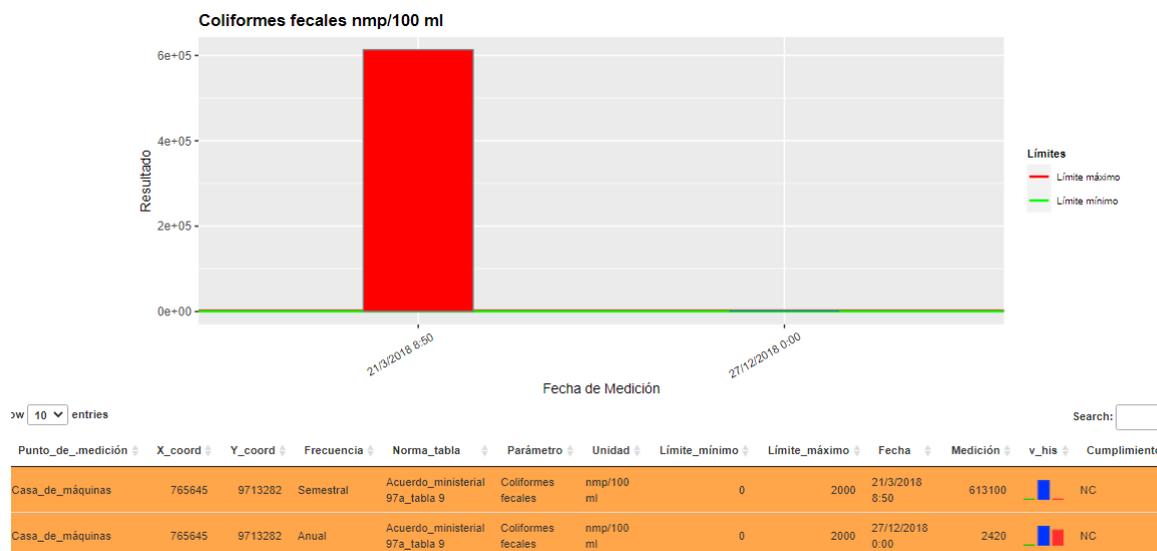
Fuente: Las Autoras

- Coliformes fecales:

En la Figura 35 se visualiza cómo se comporta este parámetro a lo largo del período de 2018 en el punto “Casa_de_máquinas”, donde se evidenciaron valores significativamente altos, y no cumplen con valores límites del TULSMA, el cual estipula un valor de 2000 NMP/ml como un valor máximo que debe tener el agua residual antes de ser descargada a un cuerpo de agua dulce. Para estos dos casos se registran valores de 613100,00 NMP/100ml y de 2420 NMP/100ml en los meses marzo y diciembre respectivamente. Según CELEC SUR (2021), estos valores altos se deben a las altas precipitaciones en los meses de marzo y diciembre, que arrastraron consigo material orgánico de origen animal y del desagüe de sus instalaciones.

Figura 35.

Variación histórica de los coliformes fecales (mg/l) en el punto “Casa_de_máquinas”



Fuente: Las Autoras

- Sólidos suspendidos totales:

En la Figura 36 se aprecia que los niveles de concentración de sólidos suspendidos totales en el punto “Casa_de_máquinas” se mantuvieron dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa (ver Anexo 4), el cual estableció un valor de 130 mg/l como su límite permisible, y en estos casos se tienen valores entre 33 mg/l a 57 mg/l.

Figura 36.

Variación histórica de los coliformes fecales (mg/l) en el punto “Casa_de_máquinas”



Fuente: Las Autoras

- **Sulfuros:**

En la Figura 37 se especifican los registros de los sulfuros medidos en el período 2018 en el punto “Casa_de_máquinas”, donde su valor máximo se registró en la campaña de marzo con un valor de 11.98 mg/l, y la normativa (ver Anexo 4) determinó un valor máximo de 0.5 mg/l, por ende, no cumple con los requisitos de la norma. En concordancia con Águila (2003), una alta concentración de sulfuros en las aguas residuales se genera, en gran parte, por la descomposición de la materia orgánica y, en algunas veces, de desechos industriales.

Figura 37.

Variación histórica del sulfuro (mg/l) en el punto “Casa_de_máquinas”



Fuente: Las Autoras

4.4 Análisis de la variación histórica del monitoreo ambiental del suelo en las centrales hidroeléctricas

En este punto se expone la variación histórica de los parámetros que se midieron en las centrales hidroeléctricas en un solo punto de muestreo, con la finalidad de conocer cómo se comportan los parámetros con relación al cumplimiento de los criterios de remediación para suelos contaminados por hidrocarburos en las centrales de generación eléctrica, según lo establecido en la normativa TULSMA (2015) (ver Anexo 6). Así pues, es preciso enfatizar que debido a las restricciones para publicar los datos sólo se presentó la variación histórica de los datos de monitoreos de calidad del suelo de la central Paute-Molino y Paute-Sopladora.

4.4.1 Análisis de la variación histórica del monitoreo ambiental del suelo en la central Paute-Molino

En este apartado se precisaron los parámetros que más incidieron con la normativa ambiental vigente (ver Anexo 6) y, a su vez, son repetitivos a lo largo de los años de análisis y en todos los sitios de medición de esta central. Cabe destacar que en consideración con la restricción de publicación de los datos no se presentó un análisis de todos los parámetros.

- Aceites y grasas:

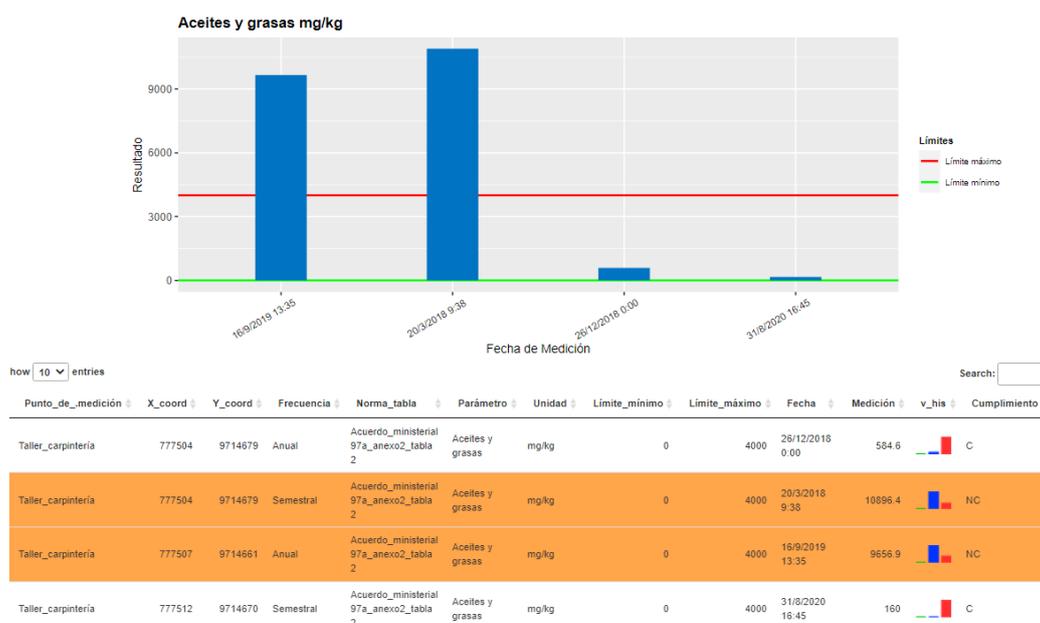
En la Figura 38 se muestra la variación del parámetro aceites y grasas en el punto de medición “Taller_carpintería”, registrados desde el año 2018 hasta el año 2020, puesto que para el año 2021 no se encontró registro. De los valores que se hallaron durante el análisis, se observa que en marzo del año 2018 se representó una concentración de 10896.4 mg/kg, en tanto que septiembre del mismo año se registró un valor de 9656.9 mg/kg, valores significativamente grandes que están fuera del límite máximo permisible establecido en 4000mg/l, según la tabla 2 del Anexo 2 del TULSMA (ver Anexo 6).

Una de las causas de altas concentraciones de aceites y grasas en el suelo radica en el derrame involuntario de hidrocarburos, fugas y una mala disposición final. De acuerdo con CELEC SUR (2020), la producción de residuos químicos, aceite o combustible seguirá siendo un fenómeno constante en el quehacer de la generación eléctrica, por lo tanto, mencionaron que en sus PMA se incorporaron medidas de prevención y control de derrame de estos productos.

Por otro lado, la EPA (1992) aseguró que los vertidos de estos aceites en el suelo afectan su fertilidad al imposibilitar el normal desarrollo de la actividad biológica y química de este, así como la destrucción del humus y contaminación de aguas subterráneas y superficiales.

Figura 38.

Variación histórica de aceites y grasas (mg/kg) en el punto “Taller carpintería” de la central Paute-Molino



Fuente: Las Autoras

- Cobre:

En la Figura 39 se observa que en el punto “Taller carpintería” el cobre (Cu) es otro de los parámetros que muestra un alto grado de concentración, especialmente en las campañas que se ejecutaron en marzo del año 2018, con un valor de 316.53 mg/kg, por su parte, en la campaña de septiembre se registró un valor de 98.6 mg/kg, y en noviembre del año 2020 se obtuvo un valor de 273.02mg/kg, cuyos valores no están dentro del estándar de los criterios de calidad para la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos según la Norma (ver Anexo 6).

En un estudio de Guartantanga y Sigüencia (2019) sobre la recuperación de suelo contaminado con cobre y plomo al interior de la central Paute-Molino de la unidad de negocio CELEC SUR en el mes de junio del año 2019, obtuvieron una concentración de cobre (Cu) de 332,26 mg/kg, lo que se asemeja a los valores registrados en la base de datos proporcionados por CELEC SUR, por consiguiente, se debería tomar acciones correctivas, puesto que una elevada concentración de este metal en el suelo es tóxico para las plantas, afecta a las raíces y su crecimiento radicular, además de perjudicar al crecimiento natural de las plantas (Kamunde y Wood, 2004).

Figura 39.

Variación histórica del cobre (mg/kg) en el punto “Taller carpintería” de la central Paute-Molino



Fuente: Las Autoras

- Potencial de hidrógeno pH:

En la Figura 40 se puede evidenciar cada uno de los resultados de las concentraciones para el pH en el punto de muestreo “Taller carpintería” desde el año 2018 hasta el 2020, cuyas concentraciones varían entre 6.5 hasta 7.42 unidades de pH, prevaleciendo sus valores dentro de los límites máximos permisibles sugeridos por la normativa (ver Anexo 6), el cual indica valores de 6 a 8 unidades de pH para los criterios de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos. El USDA (2000) manifestó que comúnmente valores de pH entre 6.0 y 7.5 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos.

Figura 40.

Variación histórica del pH (unidad de pH) en el punto “Taller carpintería” de la central Paute-Molino



Fuente: Las Autoras

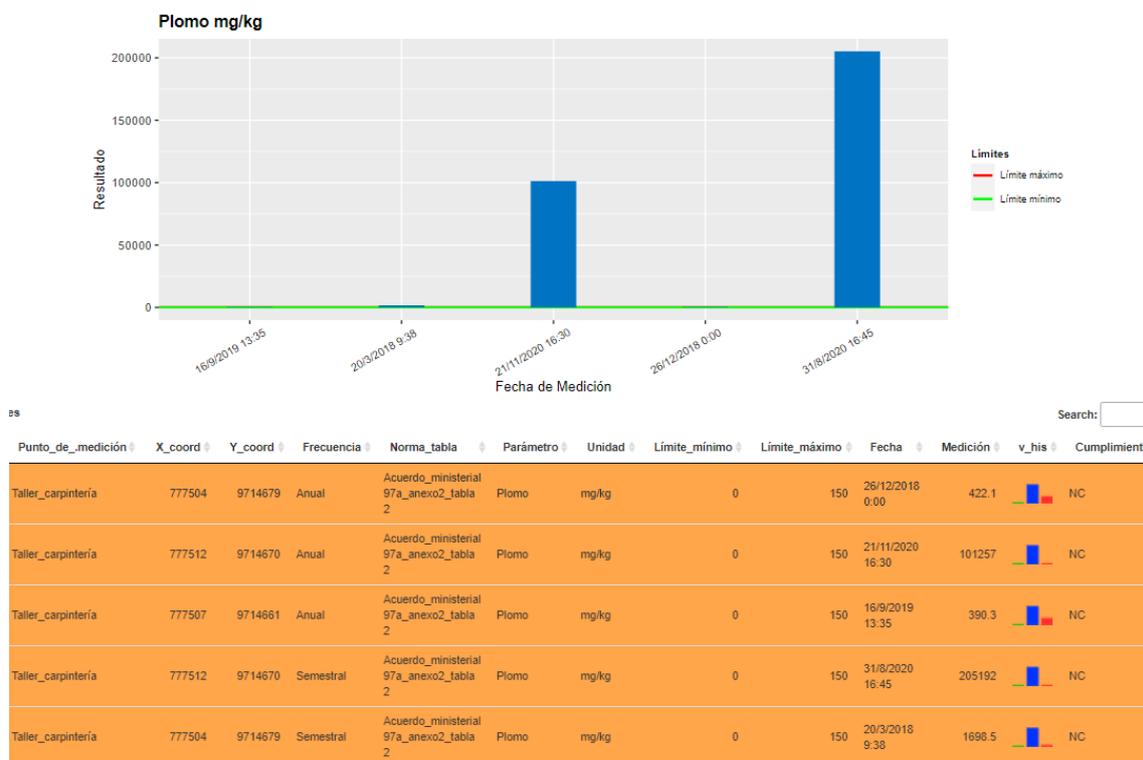
- **Plomo:**

En la Figura 41 se pueden apreciar los resultados de las concentraciones para el plomo (Pb) en el punto de muestreo “Taller carpintería” desde el año 2018 hasta el 2020, cuyos niveles de concentración no cumplen con lo referido a la normativa (ver Anexo 6), debido a que varían entre 390.6 mg/kg hasta 205.192 mg/kg, mientras que la norma indicó un valor máximo permisible de 150 mg/kg. De acuerdo con CELEC SUR (2020), la causa de altas concentraciones en este punto de medición se debe a los procesos y cambios productivos en las actividades de generación hidroeléctricas, y aclararon que este factor será constante, por lo que están tomando medidas correctivas a través de los PMA.

Ahora bien, según Martínez (2012), el plomo es uno de los primeros contaminantes ambientales, la exposición a este metal pesado incluso en bajas concentraciones puede provocar efectos adversos a la salud humana, pues es altamente reactivo y, en consecuencia, puede ser tóxico para las células vivas de las plantas.

Figura 41.

Variación histórica del plomo (mg/kg) en el punto “Taller carpintería” de la central Paute-Molino



Fuente: Las Autoras

4.4.2 Análisis de la variación histórica del monitoreo ambiental del suelo en la central Paute-Sopladora

Igualmente, en este apartado se presentaron los parámetros que más incumplieron con la normativa ambiental vigente (ver Anexo 6) y, a su vez, son repetitivos en todos los puntos de medición de esta central en los años de análisis. En consideración con la privacidad de los datos, no se expuso el análisis de todos los parámetros.

- Bifenilos policlorados PCBs:

En la Figura 42 se muestra la variación histórica de los bifenilos policlorados PCBs en el punto Taller carpintería de la central Paute-Sopladora, donde se puede visualizar que el mes de septiembre del año 2020 se tiene un mayor nivel de concentración de este parámetro, el cual

no cumple con la normativa ambiental vigente (Ver anexo 6) donde se estipula el valor máximo permisible es de 33 mg/kg.

Figura 42.

Variación histórica bifenilos policlorados PCBs (mg/kg) en el punto “Taller carpintería” de la central Paute-Sopladora



Fuente: Las Autoras

- Hidrocarburos totales de petróleo:

La contaminación por hidrocarburos tiene un prominente efecto sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de un suelo, y puede imposibilitar o retardar el crecimiento de la vegetación sobre el área contaminada (Lovell et al., 1998). Dicho esto, en la Figura 43 se manifiesta la variación de este parámetro en el sitio “Taller carpintería”, cuyos niveles de concentración más altos se registraron en septiembre del año 2020 y mayo del 2021, con datos que van entre 353.566,00 mg/kg y 18.212, 00 mg/kg respectivamente. Estos valores incumplen con los límites máximos permisibles decretados por la TULSMA (2015) (ver Anexo 6), dicha normativa estableció su valor límite en 620 mg/kg. Así pues, Serrano et al. (2013) mencionaron que la presencia de alto contenido de los hidrocarburos de petróleo se debe a derrames accidentales de productos químicos que comúnmente se utilizan en las centrales hidroeléctricas

para el funcionamiento de los transformadores, como también por una mala planificación en el transporte y sitios de acopio.

Por otra parte, la contaminación del suelo por hidrocarburos totales de petróleo afecta la flora y fauna, y a los microorganismos del suelo (Madigan et al.,1999), la fertilidad de los suelos, el crecimiento de las plantas, así como la subsistencia y sobrevivencia de los animales que se alimentan de estas (Infante, 1998).

Figura 43.

Variación histórica de hidrocarburos totales de petróleo (mg/kg) en el punto “Taller carpintería” de la central Paute-Sopladora



Fuente: Las Autoras

4.5 Resultado de los reportes periódicos de los recurso agua y suelo de las centrales hidroeléctricas

Luego de interactuar con la aplicación y recibir los resultados de la comparación de la norma ambiental con las mediciones de monitoreos del suelo y seguimiento de los recursos hídricos de centrales hidroeléctricas Mazar, Molino y Sopladora, se podrán descargar reportes semestrales y anuales en formato pdf para cada recurso con gráficos, tablas y mapas espaciales de los puntos de medición.

Estos reportes contienen un formulario organizado por CELEC EP con información extraída de los resultados del monitoreo ambiental, cuyo contenido se muestra en la Figura 44.

Figura 44.

Vista del contenido de reportes periódicos en formato Pdf generado por el aplicativo



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS Y ALCANCE
3. MARCO LEGAL
4. ESTANDARES AMBIENTALES
5. METODOLOGIA DE MONITOREOS
6. UBICACIÓN ESPACIAL DE LOS PUNTOS MONITOREOS (mapas)
7. EVALUACIÓN DE MONITOREOS SEMESTRAL
8. ANALISIS DE DATOS
9. PLAN DE ACCION (formato de plan de acción)
10. ANEXOS

Fuente: Las Autoras

Todo lo descrito en esta sección se puede encontrar en el Anexo 7, donde se proporciona un modelo de reporte semestral del agua potable.

CAPITULO V

5 PLAN DE ACCIÓN

Teniendo en cuenta el análisis de los parámetros que más inciden en el incumplimiento de las normas del agua y suelo que se describen en el Anexo 1 y 2 del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2015), se presenta un plan de acción con medidas correctivas para subsanar los hallazgos que se presentaron anteriormente.

5.1 Plan de acción del recurso agua

En la tabla 32 se presenta un programa para prevenir y reducir las condiciones del agua afectada por parámetros que no cumplen con los estándares de calidad establecidos por las normas ambientales aplicables.

Tabla 32.

Plan de manejo ambiental para el recurso agua

PROGRAMA: PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS SOBRE LAS CONDICIONES DEL AGUA		
Impacto identificado	Nombre de la medida	Descripción o procedimiento
Contaminación del agua cruda por exceso de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).	Medidas de control para la reducción de DBO5 en el agua superficial.	-Utilizar técnicas modernas para la reducción de la concentración de la DBO5. Una de las técnicas es el tratamiento con ozono. -Realizar los monitoreos de las aguas turbinadas.
Alteración de la calidad del agua potable por niveles de turbiedad fuera del límite máximo permisible.	Medidas de control de filtraciones de sedimentos por las tuberías de la red de agua potable.	-Emplear técnicas de la coagulación y floculación, asentamiento y filtración en las plantas potabilizadoras.
Identificación de color en el agua potable.	Medidas de control para controlar indicadores de filtración de materia orgánica en las redes de agua potable.	- Todas las disposiciones de drenaje, cunetas y demás desagües deberán limpiarse y eliminarse cualquier depósito de materiales extraños y efectuando los trabajos de mantenimiento necesarios que permitan la operatividad de estas y salvaguardar su integridad, y así evitar roturas de tuberías.
Contaminación de los efluentes por exceso de los niveles de concentración del fósforo (P) provenientes de las aguas residuales.	Medidas de eliminación del fósforo del agua residual.	- Dar mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR. -Realizar la eliminación de fósforo del agua residual a través de métodos de precipitación de fosfatos. -No descargar los residuos de productos químicos, combustibles, lubricantes, pinturas, sedimentos y otros desechos nocivos en los cauces naturales o artificiales. -Los productos químicos, combustibles, lubricantes se almacenarán por lo menos a 50 m de cualquier cuerpo de agua.

Contaminación del agua por exceso de concentración de coliformes fecales en las descargas de aguas residuales.	Medida de mitigación de contaminación del agua descargada a fuentes de agua dulce.	<ul style="list-style-type: none"> - Enviar las aguas grises y negras al pozo séptico. -Dar mantenimiento a todos los pozos sépticos. -Tratar los efluentes domésticos por medio de pozos sépticos. -Hacer mantenimiento al pozo séptico de casa de máquinas. -Ajustar procesos de tratamiento antes de que salgan de los límites de control. -Limpieza y mantenimiento de las instalaciones de trampa de grasas (comedor del campamento, taller de lavado de vehículos, estación de servicio y relleno sanitario). -Realizar los monitoreos en estación seca y época lluviosa para verificar que se mantiene el caudal ecológico y no existen efectos sobre los ecosistemas del cuerpo de agua y los usos consuntivos y no consuntivos, aguas debajo de las centrales hidroeléctricas. -Mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (ubicada cerca de los rellenos sanitarios de las centrales).
--	--	---

Nota. Elaborado por las autoras.

5.2 Plan de acción del recurso suelo

En esta sección se propone un programa para prevenir y reducir la contaminación del suelo por los indicadores de mayor impacto en el cumplimiento normativo.

Tabla 33.

Plan de manejo ambiental para el recurso suelo

PROGRAMA: PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS SOBRE LAS CONDICIONES DEL SUELO CONTAMINADO		
Impacto identificado	Nombre de la medida	Descripción o procedimiento
Contaminación del suelo por alta concentración de metales pesados como el cobre y el plomo (Pb).	Medidas para la recuperación del suelo contaminado por plomo y cobre.	<ul style="list-style-type: none"> -Reducir los niveles de concentración de plomo y cobre mediante tratamientos de biostimulación y fitoextracción. -Almacenar los productos o sus residuos en recipientes herméticos y resistentes a perforación o corte.
Contaminación del suelo por alta presencia de hidrocarburos totales de petróleo (HTP).	Medidas de prevención de derrames de combustibles e hidrocarburos.	<ul style="list-style-type: none"> -Supervisar las descargas, seguimientos y disposición final de los carburantes que llegan a las centrales. -Utilizar los depósitos primarios, secundarios o generales según corresponda, para la recolección de residuos de lubricantes, aceite hidráulico, dieléctrico o solvente. -Prohibición de arrojar elementos contaminados con productos de lubricantes, aceites hidráulicos, dieléctricos, químicos o combustible, como papel, trapos, wype, envases, etc., al suelo.

Contaminación del suelo por alta concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos.	Manejo, prevención y control de derrames de aceites químicos y combustibles.	<ul style="list-style-type: none"> -Realización de pruebas de estanqueidad de tanques y tuberías, revestimientos de tanques a doble pared e inspecciones de equipos, entre otras. -Llevar a cabo la evacuación periódica del pozo séptico de acumulación de descargas domésticas mediante gestor calificado. -Realizar la limpieza mensual de los sedimentos que se acumulan al ingreso del túnel de carga de las centrales. -Promover la biorremediación como un signo de remediar suelos contaminados con hidrocarburos y otras sustancias químicas. -Recolección y disposición final de aceites hidráulicos, lubricantes, aceites dieléctricos y solventes usados. -Los lugares de almacenamiento, mantenimiento, áreas de trabajo o lugares de carga o descarga de lubricantes, aceites hidráulicos, dieléctricos, productos químicos o combustible, deberán realizarse sobre superficies herméticas de concreto, que no den paso a los fluidos hacia el suelo o vertientes.
Contaminación del suelo por presencia de altos niveles de concentración de aceites y grasas.	Medida de supervisión de la correcta disposición de desechos sólidos en contenedores y reducción de la generación de desechos.	<ul style="list-style-type: none"> -Disponer y etiquetar los envases para residuos según el tipo: “RESIDUOS ACEITES Y GRASAS”, “RESIDUOS ACEITE DIELECTRICO”, “RESIDUOS SOLVENTES” “RESIDUOS ÁCIDOS DE DESECHO” o “COMBUSTIBLE DE DESECHO”. -No mezclar los residuos de aceites dieléctricos, solventes o ácidos con otros desechos, debido a que pueden desencadenar reacciones químicas peligrosas.
Contaminación del suelo debido a altos niveles de pH.	Medidas para la recolección y disposición final de ácidos.	<ul style="list-style-type: none"> -Disponer el drenaje del ácido neutralizado. -Recolección de ácidos activos. -Colocar los ácidos en embalses plásticos.

Nota. Elaborado por las autoras.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo se desarrolló en el software R y el paquete Shiny para crear una aplicación web dinámica e interactiva que permita relacionar la norma ambiental vigente del Ecuador con los datos de las mediciones de monitoreos del agua y suelo de las Centrales Hidroeléctricas Mazar, Molino y Sopladora. Esta aplicación permite a los usuarios verificar el cumplimiento normativo y el incumplimiento a través de gráficos de los parámetros de las variables de agua y suelo para cada grupo de recursos establecidos en el TULSMA. En base a las características de las variables, se presentan visualmente a través de gráficos de barras, tablas interactivas y mapas espaciales de los puntos de medición del agua y suelo y paralelamente se generan reportes semestrales y anuales para evaluar estas variables.

6.1 Limitaciones del trabajo

El principal limitante de este proyecto es que la base de datos producto de los monitoreos ambientales de las variables agua y suelo es de uso exclusivo de los actores involucrados en este proyecto (CELEC SUR, IERSE y TESISTAS), en consecuencia, el presente documento no mostrará la totalidad de los resultados de los monitoreos debido a la confidencialidad de los datos que proporcionó CELEC SUR. Algunas de las limitaciones de este documento se enlistan las siguientes:

- Se profundizó en dos puntos de medición de cada central con los respectivos resultados de medición.
- Se precisó la frecuencia de medición de los monitoreos de las variables muestreadas (agua y suelo).
- En la sistematización y comparación de los datos con la normativa ambiental vigente se mostraron los resultados de monitoreos del agua y suelo de la central Paute-Mazar a manera de ejemplo.
- En cuanto a la interpretación de los resultados de la evaluación de los criterios de calidad del agua y suelo, se mostró un punto de medición por central con sus respectivos parámetros medidos.
- En relación con el análisis de la variación histórica del monitoreo ambiental del agua y suelo se presentó un punto de medición por central para el agua y un punto de medición para la central Paute-Molino y Paute-Sopladora para el caso del suelo.

- Con relación a los datos proporcionados, se encontraron diferentes nombres de los puntos de medición y con las mismas coordenadas, a saber: “Escombrera_llavircay” en otros años se registró como “Llavircay_escombrera”, esto generó conflictos al momento de organizar los datos.
- Este aplicativo web, la base de datos y los códigos estarán disponibles exclusivamente para el uso de CELEC SUR, IERSE.
- La utilización y manipulación del aplicativo web se centró en el uso interno de los técnicos de CELEC SUR, es decir, todas las características del aplicativo se pueden modificar y extender por los actores involucrados en desarrollo de este proyecto.

6.2 Ventajas y contribuciones del trabajo

- El contar con este tipo de herramientas que ayudan a revisar el cumplimiento de los criterios de calidad de los recursos agua y suelo decretados por la norma ambiental vigente (TULSMA), contribuye a optimizar el tiempo y recolección de datos en cuanto a los parámetros que están fuera del límite permisible y, por ende, facilita la toma de medidas correctivas para remediar los hallazgos identificados.
- Los análisis realizados en este proyecto, junto con la herramienta web de visualización de datos facilita una rápida visibilidad de los parámetros críticos en los puntos de medición de las empresas proveedoras de servicios hidroeléctricos y la toma de decisiones para lograr planes de gestión ambiental que cumplan con el marco legal.
- Con la realización de este aplicativo (evaluación del cumplimiento normativo ambiental del recurso agua y suelo) se aprovechó para utilizar herramientas alternativas que no se han explorado dentro del área de la ingeniería civil para contribuir a presentar reportes periódicos de los puntos de monitoreos en las centrales hidroeléctricas y mejorar sus investigaciones con el afán de conservar el medio ambiente.

6.3 Futuros trabajos

- Como futuro trabajo en continuidad con la estructura propuesta, se puede desarrollar un componente que integre el cálculo de porcentajes de los índices de calidad del agua y suelo, determinando así el grado de contaminación de estos recursos, enfocándose no solo en las centrales hidroeléctricas sino que también se puede realizar en otros organismos gubernamentales de la gestión global de los recursos naturales.

- Se incentiva a futuras investigaciones a contemplar este estudio con otros productos y proyectos ambientales, con el fin de lograr un desarrollo en el uso de nuevas herramientas que ayuden a las gestiones del control del medio ambiente.

6.4 Recomendaciones finales

- En lo referente a la base de datos de suelos, los registros identificados como “Tipo de recurso” clasificaban al suelo de acuerdo con el lugar donde se tomaban las muestras. Lo que se recomienda en esta columna de la base de datos es poner “Suelo”, para que el aplicativo identifique solamente ese único recurso.
- Uno de los conflictos que se presentó al momento de realizar la comparativa de los resultados productos de los monitores de los datos proporcionados por CELEC SUR radicó en que para seleccionar los parámetros de la calidad del recurso agua cruda y de río se basaban en dos diferentes tablas de las normas en el período 2019. Por ejemplo: agua cruda, tabla 1 (Anexo 1) y tabla 2 (Anexo2), lo que provocó dificultades en el proceso de homogenización de los datos, igualmente para el caso de la variable lixiviados. Por consiguiente, se sugiere llevar una sola normativa para futuras tomas de muestras.
- Con respecto a los parámetros de la calidad del agua, se recomienda tomar en cuenta los que conforman el índice de la calidad del agua (IQW), pues si bien es cierto miden el pH, los coliformes totales, la DBO5, pero no se tiene presente un parámetro fundamental como el nitrato.
- En relación con la variable suelo, se propone considerar los parámetros que forman parte del índice de la calidad el suelo (ICS), debido a que aunque se tiene registros del plomo (Pb) y cobre (Cu), según estudios como el de Lee et al. (2006), señalan que se debería considerar al fósforo (P), la conductividad eléctrica y al zinc (Zn).

REFERENCIAS

- Abbaszadegan, M. (2006). *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR]. (2007). *Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU.*
<https://www.atsdr.cdc.gov/es/index.html>
- Águila, L. (2003). *El Tratamiento de Residuos Industriales Mediante Técnicas de Oxidación, Reducción y Precipitación Química*. Revista RESIDUOS: <http://intacta.es/el-tratamiento-de-aguas-industriales-contaminadas-con-sulfuros/>
- Andrews, S., Karlen, D., y Mitchell, J. (2002). A Comparison of Soil Quality Indexing Methods for Vegetable Production Systems in Northern California. *Environ*, 90 (1), 25–45.
 Doi:Pii S0167-8809(01)00174-8\rDoi 10.1016/S0167-8809(01)00.
- APHA, AWWA, y WEF. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- Aranda, V., Calero, J., Montejo, A., y Serrano, J. (2014). Aplicación web para el cálculo de un índice de calidad del suelo de olivar en prácticas docentes. *Iniciación a La Investigación*.DOI:
<https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/ininv/article/view/1742>.
- Arangoitia, C. (2018). *Monitoreo y Estrategias de control de la contaminación de laguna de paca- Juaja-Junin*. Universidad alas Peruanas.
- Arnáiz, L., y Lebrato, J. (2000). *Tratamientos biológico de aguas residuales. Grupo de Tratamiento de Aguas Residuales*. Universidad de Sevilla
https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/libros/Pasar/Tratamiento_biologico_e dar.pdf
- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Lexis.
- Aurazo, M. (2009). *Aspectos Biológicos de la Calidad del Agua*. OPS/CEPIS/PUB/02.93.
- Banegas, N. (2014). *Calidad y salud del suelo*. Cátedra de Edafología. FAZ. UNT:
<file:///C:/Users/User/Downloads/Calidad%20y%20salud%20del%20suelo.pdf>
- Béjar, J., y Mendoza, B. (2018). Contaminación orgánica del río Chambo en el área de descarga de agua residual de la ciudad de Riobamba. *Perfiles*, 2(20), 40-46.
- Boyd, C. (2015). *Water Quality*. Springer.
- Brown, R., Mcclelland, N., Deininger, R., y Tozer, R. (1970). A water quality index do we dare? *Water Sewage Works*, 117, 339-343.

- Cabrera, M., Hernández, G., Gómez, R., y Cañizares, M. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88-92.
- Cárdenas, P. (2020). *Evaluación de la Calidad del Agua en la Microcuenca Hidrográfica del Río Tutanangoza Mediante Análisis Físicoquímicos, Microbiológicos y la Aplicación del ICA-NS*. Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19608/1/UPS-CT008912.pdf>
- Carpenter, S., Ludwig, D., y Brock, W. (1999). Management of Eutrophication for Lakes Subject to Potentially Irreversible Change. *Ecological Applications*, 9(3), 751–771. DOI: <https://doi.org/10.2307/2641327>.
- Castellanos, M., Isaza, R., y Torres, J. (2015). Evaluación de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) sobre suelos urbanos en Maicao, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 44 (3), 11-17.
- CELEC. (s.f.). *Antecedentes*. https://www.celec.gob.ec/hidropaute/images/stories/INFORMES_DE_GESTION/2014/site9161618.91.webydo.com/sopladora.html
- CELEC SUR. (2020). *Home*. <https://www.celec.gob.ec/enerjubones/index.php/msf/informacion-general>
- Corzo, I., y Velázquez, M. (2014). El plomo y sus efectos. *Electrónica y Servicios*, 2, 141-148.
- Cuenca, A., y León, M. (2013). Diseño e implementación del sistema de monitoreo, supervisión y control automático del proceso de destilación de agua en el área de inyectables e LIFE C.A . *MASKAY*, 31-33.
- Czitrom, S. P., Trelles, S., y Hiriart, G. (2012). Energía del Agua. *Revista Ciencia*, 53-54.
- Delzer, G., y McKenzie, S. (2003). *Demanda bioquímica de oxígeno de cinco días: técnicas del Servicio Geológico de EE. UU. para investigaciones de recursos hídricos*. http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/Chapter7/NFMChap7_2_BOD.pdf
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica [USDA]. (2000). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. USDA.
- Dunnette, D. (1979). A Geographically Variable Water Quality Index Used in Oregon. *Water Pollution Control Federation*. 51(1), 53-61.
- Endesa, F. (2022). *Endesa Fundación*. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educacion/recursos/centrales-renovables/central-hidroelectrica>

- Environmental Protection Agency [EPA]. (1992). *Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization*.
- Fernández, N., Ramos, G., y Solano, F. (2004). Una herramienta informática para el análisis y valoración de la calidad del agua. *BISTUA*, 2(2), 88-97.
- Flores, P., Meléndez, J., y Amezcua, M. (2013). Propuesta de índice de calidad de agua residual utilizando un modelo aritmético ponderado. *Interciencia*, 38(2), 145-149. DOI: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33926950011>.
- Font, L. (2007). *Sistema de evaluación y monitoreo de la calidad del suelo con un software a tal fin*. http://innovacion.idict.cu/Resultados_cvview.asp?id=363.
- García, Y., Ramírez, W., y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.
- Guartantanga, E., y Sigüencia, K. (2019). *Recuperación de suelo contaminado con cobre y plomo*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17835/1/UPS-CT008444.pdf>
- Infante, C. (1998). *Biorremediación de derrames de hidrocarburos en ambientes naturales*. Editorial Equinoccio.
- Jácome, J., y Calle, G. (2014). *Validación de métodos analíticos para la determinación de la demanda de oxígeno (rango bajo, rango medio, rango alto), sólidos totales disueltos y sólidos suspendidos en matrices de agua calra y residual en el centro de investigaciones y control ambiental*. Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8461/1/BQ%2062.pdf>
- Jiménez, B. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. UNAM y FEMISCA.
- K+S Minerals and Agriculture. (2019). *K+S Minerals Website*. http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/copper.html
- Kamunde, C., y Wood, C. (2004). Environmental chemistry, physiological homeostasis, toxicology and environmental regulation of copper, an essential element in freshwater fish. *Australasian Journal of Ecotoxicology*, 10, 1-20.
- Lobo, E., y Bajaña, L. (2018). *Calibración del índice de calidad del agua (ICA) para la cuenca hidrográfica del río Paute*. Universidad Internacional SEK: https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3218/1/Tesis_MGA_Lenin%20Bajana_%20Prof.%20Lobo.pdf
- López, L., Armas, Y., Almeida, M., y Alonso, L. (2012). Procedimiento para planificar el monitoreo ambiental en empresas hoteleras. *Revista Avanzada Científica*, 16.

- Losada, L., Rueda, C., y Martínez, P. (2020). Evaluación de la calidad del agua en el embalse hidroeléctrico El Quimbo, 14(27). *Entre Ciencia e Ingeniería*, 107-116.
- Lovell, B., Toombs, M., Blackie, M., y Scheihaft, J. (1998). *Land application of sewage biosolids for crop production*. www.gov.on.ca: 80/ OMAFRA/ english/ environment/ facts/95-069.
- Madigan, M., Martinko, J., y Parker, J. (1999). *Brock: Biología de los microorganismos*. Prentice Hall.
- Martínez, G. (2006). *Análisis de BOD5 por el método SM 5210B*. Edicon 20 AAA/SOP-QA.
- Martínez, J. (2012). *La contaminación ambiental y ocupacional por plomo y sus efectos en la salud reproductiva masculina, evidencia de daño al ADN*.
<https://www.rics.org.mx/index.php/RICS/article/view/14/100>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. Editorial Nacional.
- Mora, A. (1998). Actualización de los criterios microbiológicos para evaluar la calidad del agua en sus diferentes usos período 1998 - Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 7(13), 15–24.
- Munn, C. (2004). *Marine Microbiology: Ecology and Applications*. Garland Science/BIOS Scientific Publishers.
- Nordberg. (1998). *Metales y Propiedades Químicas*. In J. Mager, *Enciclopedia de Salud y Seguridad*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTE INEN 1108. (2011). Agua Potable: Requisitos. En I. E. Normalización, *Agua Potable: Requisitos*. INEM.
- Ocasio, F. (2008). *Evalución de la calidad del agua y posibles fuentes de contaminación en un segmento del río Pideras*. Universidad Metropolitana San Juan de Puerto Rico:
https://documento.uagm.edu/cupey/biblioteca/biblioteca_tesisamb_ocasiosantiago2008.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2002). *Trabajo de recuperación de áreas degradadas en minas de fosfato realizado por la empresa Arafertil*. II Curso Internacional de aspectos geológicos de protección ambiental, Oficina Regional de Ciencia de la Unesco para America Latina y el Caribe.:
<http://www.ingenieroambiental.com/4012/campinasprimeras.pdf>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. WHO Graphics.

- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agropecuario en Apurímac y Cusco*. FIODM.
- Osorio, C. (2018). *La Consulta popular ante los impactos ambientales de la construcción de proyectos hidroléctricos en Colombia. Estudio del caso de la hidroléctrica El Quimbo*. Universidad Católica de Colombia: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/15905>.
- Pauta, G., Velazco, M., Gutierrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., y Morales, O. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 10(2), 76-88.
- Pérez, J., Ortega, H., Ramírez, C., Flores, M., Sánchez, E., Á, C., y Mancilla, O. (2019). Concentración de nitrato, fosfato, boro y cloruro en el agua del río Lerma. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 175–182. DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1829>.
- Raffo, E., y Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Dat*, 17(1), 71-80. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, DOI: <https://doi.org/10.15381/idata.v17i1.12035>.
- Ramírez, I., Duran, M., García, J., Montuy, R., y Oaxaca, M. (2008). *Química Ambiental de Residuos Peligrosos*. Versión Electrónica.
- Ramírez, M. (2011). Geopolítica de los recursos estratégicos: conflictos por agua en América Latina. *Revista de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad*, 6(1), DOI: scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1909-30632011000100008.
- Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. (2007). *Xilenos | PRTR España*. <https://prtr-es.es/Xilenos,15665,11,2007.html>
- Restrepo, A., y Tobón, L. (2002). *Manual de Calidad de Aguas*. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Facultad de Ingeniería Ambiental.
- Rojas, J. (2005). *Calidad del Agua*. ALFAOMEGA.
- RStudio. (2020). *Home*. <https://shiny.rstudio.com/>
- RStudio Team. (2022). *What is R? A Mathematical Statistics with Applications in R*. <https://www.r-project.org/about.html>
- Saldaña , M., Díaz Pardo, E., y Gutiérrez Hernández, A. (2011). Diagnóstico de la calidad del agua en un sistema de embalses de cascada. *Cielo*, 115-126.

- Serrano, M., Torrado, L., y Pérez, D. (2013). Impacto de los derrames de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenosos. *Ciencia y Tecnología, 11*, 233-244.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del Agua Evaluación y diagnóstico*. Editores DigiprintUE.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., y Stensel, H. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and Reuse*. McGraw Hill.
- Torres, P., Cruz, C., y Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. *Revista Ingenierías, 8(15)*, 83-85.
- Trejo, R., y Hernández, V. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *Conciencia Tecnológica, 25*, DOI: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94402508>.
- Ubillus, J. (2003). *Estudio sobre la presencia de plomo en el medio ambiente de Talara. Estudio sobre la presencia de plomo en el medio ambiente de Talara en el año 2003*.
- UICN. (2018). *Guía de Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua*. <https://www.iucn.org/es>
- Wickham, H., Winston, C., Henry, L., Lin, T., Takahashi, K., Wilke, C., . . . Team, R. (2021). *Overview. Tidyverse*. <https://ggplot2.tidyverse.org>.
- Wilson, M., Quintero, C., Boschetti, N., Benavidez, R., y Mancuso, W. (2000). Evaluación de atributos del suelo para su utilización como indicadores de calidad y sostenibilidad en Entre Ríos. *Rev. Facultad de Agronomía, 20(1)*, 23-30.

ANEXOS

ANEXO 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico

Tabla 2. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0.3
Arsénico	As	mg/L	0.1
Coliformes fecales	NMP	nmp/100mL	1000
Bario	Ba	mg/L	1
cadmio	Cd	mg/L	0.02
Cianuro	CN	mg/L	0.1
Cobre	Cu	mg/L	2
Color real	Color	u. pt-co	75
Cromo hexavalente	Cr	mg/L	0.05
Fluoruro	F	mg/L	1.5
DQO	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	4
DBO5	Demanda Bioquímica Oxígeno(5días)	mg/L	2
Hierro total	Fe	mg/L	1
Mercurio	Hg	mg/L	0.006
Nitratos	NO ₃	mg/L	50
Nitritos	NO ₂	mg/L	0.2
pH	Potencial de Hidrógeno	unid pH	6 a 9
plomo	Pb	mg/L	0.01
Selenio	Se	mg/L	0.01
Sulfatos	SO ₄	mg/L	500
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	0.2
Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad	ntu	100

ANEXO 2: NTE INEN 1108: Agua potable requisitos

Tabla. 2 Requisitos del agua potable.

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Características físicas		

Color	Unidades de color aparante(Pt-Co)	15.00
Turbiedad	unt	5.00
Olor		no objetable
Sabor		no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0.02
Arsénico, As	mg/l	0.01
Bario, Ba	mg/l	0.70
Boro, B	mg/l	0.50
Cadmio, Cd	mg/l	0.003
Cianuro, CN	mg/l	0.07
Cloro residual	mg/l	0.30 a 1.5
Cobre, Cu	mg/l	2.00
Cromo hexavalente	mg/l	0.05
Fluoruro	mg/l	1.50
Manganeso, Mn	mg/l	0.40
Mercurio, Hg	mg/l	0.005
Niquel, NI	mg/l	7.00
Nitratos, NO ₃	mg/l	50.00
Nitritos, NO ₂	mg/l	0.20
Plomo	mg/l	0.01
Selenio	mg/l	0.04
Radiación total α	Bg/l	0.10
Radiación total β	Bg/l	1.00
Aceites y grasas	mg/l	0.30
Arsénico	mg/l	0.01
Coliformes fecales	nmp/100ml	1.10
DQO	mg/l	4.00
DBO ₅	mg/l	2.00
Hierro	mg/l	1.00
pH	unid pH	6 a 9
Sulfatos	mg/l	500.00
Hidrocarburos totales de petróleo	mg/l	0.20
Conductividad	uS/cm	1500.00
Dureza total	mg/l	500.00

ANEXO 3: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro Total	B	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml unidades de color	2000 Inapreciable en dilución: 1/20
Color real	Color real	color	
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5
Fluoruros	F	mg/l	5
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	2
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6 - 9
Selenio	Se	mg/l	0,1

Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ²⁻	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1

ANEXO 4: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios

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

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/L	0.1
Amoniaco total	NH ₃	mg/L	---
Arsénico	As	mg/L	0.05
Bario	Ba	mg/L	1
Berilio	Be	mg/L	0.1
Bifenilos policlorados	Concentración de PCBs totales	ug/L	1
Boro	B	mg/L	0.75
Cadmio	Cd	mg/L	0.001
Cianuros	CN	mg/L	0.01
Zinc	Zn	mg/L	0.03
Cloro residual total	Cl ₂	mg/L	0.01
Clorofenoles	---	mg/L	0.05
Cobalto	Co	mg/L	0.2
Cobre	Cu	mg/L	0.005
Cromo total	Cr	mg/L	0.032
Estaño	Sn	mg/L	---
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/L	0.001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0.3
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	0.5
Hierro	Fe	mg/L	0.3
Manganeso	Mn	mg/L	0.1
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/L	0.0002
Níquel	Ni	mg/L	0.025
Oxígeno disuelto	OD	mg/L	> 80
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/L	0.05
Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	ug/L	10
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	ug/L	10
Plata	Ag	mg/L	0.01
Plomo	Pb	mg/L	0.001
Ph	Potencial de Hidrógeno	unid ph	6.5 a 9
Selenio	Se	mg/L	0.001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0.5
Nitritos	NO ₂	mg/L	0.2
Nitratos	NO ₃	mg/L	13
DQO	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
DBO5	Demanda Bioquímica Oxígeno(5días)	mg/L	20
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	---

ANEXO 5: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	70
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil Mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	1
Cinc	Zn	mg/l	10
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Hierro total	Fe	mg/l	25
Manganeso total	Mn	mg/l	10
Mercurio total	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60
Organofosforados	Especies totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6 – 9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	220
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400
Sulfuros	S ²⁻	mg/l	1
Temperatura	°C		<40
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2

Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1

ANEXO 6: Criterios de remediación (valores máximos permisibles)

Tabla 2. Criterios de remediación (valores máximos permisibles)

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible
Conductividad	uS/cm	400.000
Ph	-	6.0 - 8.0
Relación de adsorción de sodio (Índice SAR)	-	12.000
Arsénico	mg/kg	12.000
Sulfuro	mg/kg	---
Bario	mg/kg	2000.000
Boro(soluble en agua caliente)	mg/kg	---
Cadmio	mg/kg	10.000
Cobalto	mg/kg	300.000
Cobre	mg/kg	91.0
Cromo total	mg/kg	87.000
Cromo hexavalente	mg/kg	1.4
Cianuro	mg/kg	8.000
Estaño	mg/kg	300.000
Fluoruros	mg/kg	2000.000
Mercurio	mg/kg	10.000
Molibdeno	mg/kg	40.000
Níquel	mg/kg	50.0
Plomo	mg/kg	150.0
Selenio	mg/kg	10.000
Talio	mg/kg	1.000
Vanadio	mg/kg	130.0
Zinc	mg/kg	360.000
Aceites y grasas	mg/kg	4000.000
Benceno	mg/kg	5.000
Etilbenceno	mg/kg	20.000
Estireno	mg/kg	50.000
Tolueno	mg/kg	0.800
Xileno	mg/kg	20.000
Bifenilos policlorados PCBs	mg/kg	33.0
Clorofenoles_cada tipo	mg/kg	5.000
Fenoles_total	mg/kg	5.000
Clorinados alifáticos_cada tipo	mg/kg	50.000

Hidrocarburos totales de petróleo	mg/kg	620.000
Hidrocarburos aromáticos Polocíclicos	mg/kg	5.000
Clorobenzenos_cada tipo	mg/kg	10.000
Tetracloroetilenos	mg/kg	0.600
Tricloroetileno	mg/kg	30.000
Atrazina	mg/kg	0.005
Carbofuran	mg/kg	0.010
Compuestos orgánicos volátiles en peso húmedo	mg/kg	---
Alifáticos no clorinados_cada tipo	mg/kg	---
Antraceno	mg/kg	100.000
Benzo(a)antraceno	mg/kg	10.000
Benzo(a)pireno	mg/kg	0.700
Benzo(b)fluoranteno	mg/kg	10.000
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	10.000
Dibenzo(a,h)antraceno	mg/kg	10.000
Indeno(1,2,3-cd)pireno	mg/kg	10.000
Fluoranteno	mg/kg	100.000
Naftaleno	mg/kg	22.000
Pireno	mg/kg	100.000
Criseno	mg/kg	100.000
Fenantreno	mg/kg	50.000
Alfa BCH	mg/kg	0.010
Beta BCH	mg/kg	0.010
Gamma BCH	mg/kg	0.010
Delta BCH	mg/kg	0.010
Heptacloro	mg/kg	0.010
Aldrin	mg/kg	0.100
Heptacloro epoxico isomero B	mg/kg	1.000
Endosulfan I	mg/kg	0.100

ANEXO 7: Modelo de reporte semestral del agua potable

Reporte Semestral del Recurso Agua potable

Año 2020

Central Mazar

CELEC SUR

August 31, 2022

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS Y ALCANCE
3. MARCO LEGAL
4. ESTANDARES AMBIENTALES
5. METODOLOGIA DE MONITOREOS
6. UBICACIÓN ESPACIAL DE LOS PUNTOS MONITOREOS (mapas)
7. EVALUACIÓN DE MONITOREOS SEMESTRAL
8. ANALISIS DE DATOS
9. PLAN DE ACCION (formato de plan de acción)
10. ANEXOS

1. INTRODUCCIÓN

La Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP, Unidad de Negocio CELEC SUR, central Molino (mazar, Sopladora, Minas San Francisco), cuenta con la Licencia Ambiental Resolución No. 004 – MAE–DPAA–LA–2015, del 18 de marzo de 2015 y está ubicado en la provincia del Azuay, cantón Sevilla de oro, parroquia Amaluza. Las actividades de la CELEC EP – CELEC SUR, podrían generar impactos ambientales en los medios físicos y bióticos de las áreas de Influencia, que deben ser monitoreados. En ese contexto el presente informe resume los resultados del monitoreo de calidad del agua y suelo realizadas en el segundo tercero y cuarto trimestre cada año. También se incluyen gráficas de los resultados el monitoreo, así como su análisis y medida de acción frente a estos resultados.

2. OBJETIVOS Y ALCANCE

Evaluar los resultados del monitoreo de los parámetros de calidad de agua y suelo y compararlos con la norma ambiental vigente para su análisis y medidas de acción. Estos monitoreos se realizaron en el área de influencia de los proyectos de CELEC SUR y en laboratorios acreditados en el Sistema de Acreditación del Ecuador (SAE).

3. MARCO LEGAL

De acuerdo a la Normativa Ambiental el Código Orgánico del Ambiente:

CAPÍTULO IV: MONITOREO Y SEGUIMIENTO, Artículo 208.- Obligatoriedad del monitoreo.

El operador será el responsable del monitoreo de sus emisiones, descargas y vertidos, con la finalidad de que estas cumplan con el parámetro definido en la normativa ambiental. La Autoridad Ambiental Competente, efectuará el seguimiento respectivo y solicitará al operador el monitoreo de las descargas, emisiones y vertidos, o de la calidad de un recurso que pueda verse afectado por su actividad. Los costos del monitoreo serán asumidos por el operador. La normativa secundaria establecerá, según la actividad, el procedimiento y plazo para la entrega, revisión y aprobación de dicho monitoreo.

El Reglamento del Código Orgánico del Ambiente: Art. 484. Monitoreos de aspectos ambientales. - El operador llevará reportes que contengan las observaciones visuales, los registros de recolección, los análisis y la evaluación de los resultados de los muestreos para medición de parámetros de la calidad y/o de alteraciones en los medios físico, biótico, socio-cultural, así como las acciones correctivas implementadas en el caso de identificarse incumplimientos de la normativa ambiental. Las fuentes, sumideros, recursos y parámetros a ser monitoreados, así como la frecuencia del monitoreo y la periodicidad de los reportes constarán en el

respectivo plan de monitoreo del plan de manejo ambiental y serán determinados según la actividad, la magnitud de los impactos ambientales y características socio-ambientales del entorno.

CAPÍTULO X: CONTROL Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL, DE LOS MONITOREOS, Art.

253 Del objeto.- Dar seguimiento sistemático y permanente, continuo o periódico, mediante reportes cuyo contenido está establecido en la normativa y en el permiso ambiental, que contiene las observaciones visuales, los registros de recolección, los análisis y la evaluación de los resultados de los muestreos para medición de parámetros de la calidad y/o de alteraciones en los medios físico, biótico, socio-cultural; permitiendo evaluar el desempeño de un proyecto, actividad u obra en el cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental y de la normativa ambiental vigente. Los monitoreos de los recursos naturales deberán evaluar la calidad ambiental por medio del análisis de indicadores cualitativos y cuantitativos del área de influencia de la actividad controlada y deberán ser contrastados con datos de resultados de línea base y con resultados de muestreos anteriores, de ser el caso.

4. ESTANDARES AMBIENTALES

Con respecto a los mecanismos o parámetros de comparación de resultados la normativa ambiental establece el siguiente cuadro para su análisis.

Table 1: Normativa Ambiental de Agua potable

Parámetro	Unidad	Límite mínimo	Límite máximo
Aceites y grasas	mg/l	0	0.3
Arsénico	mg/l	0	0.01
Coliformes fecales	nmp/100ml	0	1.1
Bario	mg/l	0	0.7
Cadmio	mg/l	0	0.003
Cianuro	mg/l	0	0.07
Cobre	mg/l	0	2
Color real	u. pt-co	0	15
Cromo hexavalente	mg/l	0	0.05
Fluoruro	mg/l	0	1.5
DQO	mg/l	0	4
DBO5	mg/l	0	2
Hierro	mg/l	0	1
Mercurio	mg/l	0	0.006
Nitratos	mg/l	0	50
Nitritos	mg/l	0	3
pH	unid pH	6	9
Plomo	mg/l	0	0.01
Selenio	mg/l	0	0.04

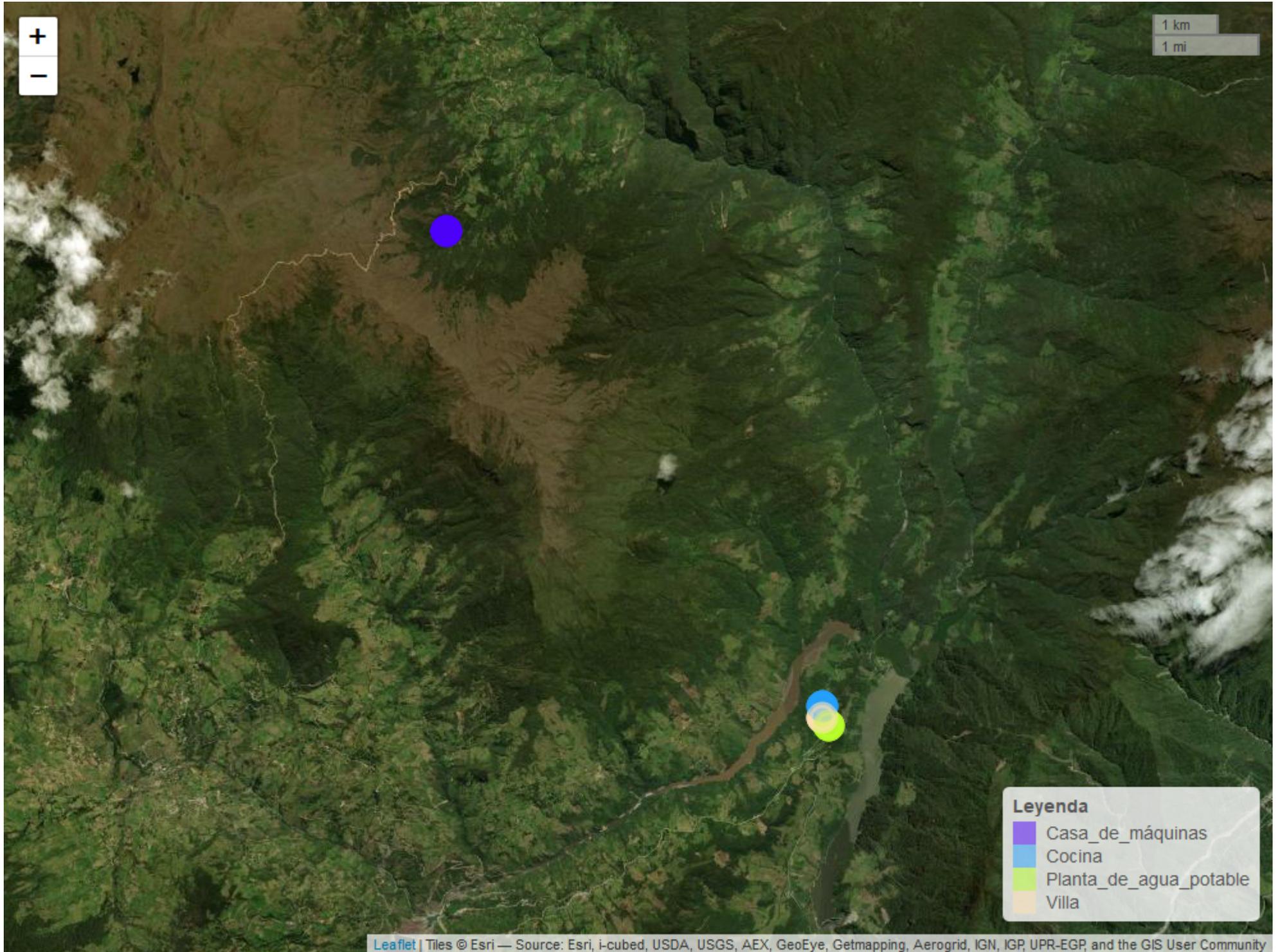
Table 1: Normativa Ambiental de Agua potable (*continued*)

Parámetro	Unidad	Límite mínimo	Límite máximo
Sulfatos	mg/l	0	500
Hidrocarburos totales de petróleo	mg/l	0	0.2
Turbiedad	unt	0	5
Cloro residual	mg/l	0.3	1.5
Conductividad	uS/cm	0	1500
Dureza total	mg/l	0	500

5. METODOLOGÍA DE MONITOREOS

El monitoreo se realizó a través de toma de muestras simple y el análisis de las muestras por el método analítico y de control de calidad de los ensayos, cumpliendo con los requisitos establecidos en la norma ISO 17025.

6. UBICACIÓN ESPACIAL DE LOS PUNTOS DE MONITOREO



7. EVALUACIÓN DE MONITOREOS (TABLA Y GRÁFICO)

7.1 Evaluación de cumplimiento de parámetros:

En base al cumplimiento de la legislación ambiental, los parámetros que deben ser evaluados del recurso agua y suelo, están sujetos a la Norma para la prevención y Control de la Contaminación Ambiental del Recurso agua en Centrales Hidroeléctricas y la Norma para la prevención y control de la contaminación ambiental del recurso suelo en centrales de generación de energía eléctrica del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Dentro de este orden se presenta los gráficos de los resultados de los parámetros medidos en cada punto de muestreo y su respectivo cumplimiento con el límite máximo permisible establecidos en la respectiva norma.

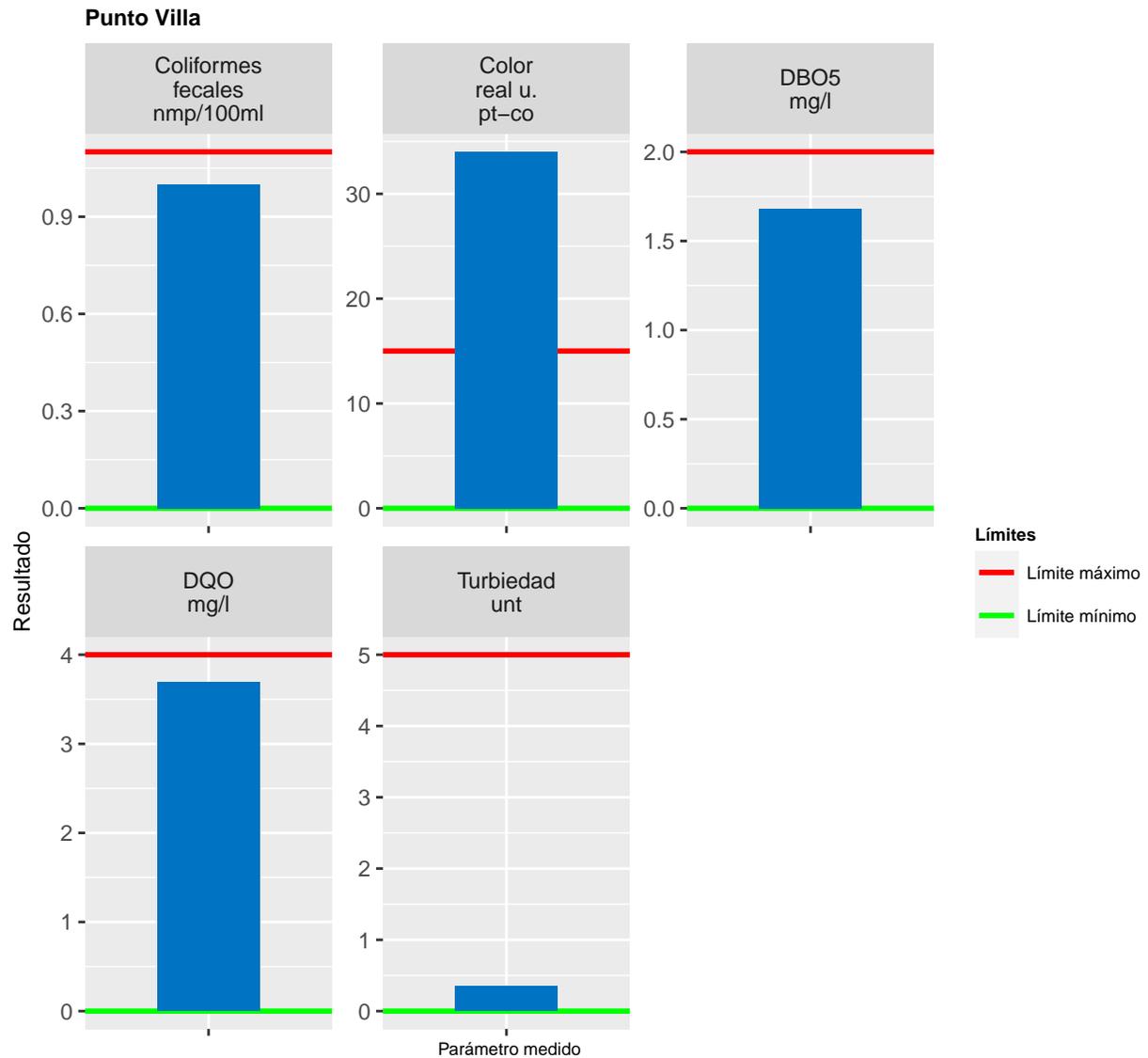
Table 2: Comparación de Parámetros Medidos vs Normativa Ambiental

Central	Recurso	Punto de medición	X coord	Y coord	Frecuencia	Norma tabla	Parámetro	Unidad	Límite mínimo	Límite máximo	Fecha	Medición	Observación	Cumplimiento
Mazar	Agua potable	Casa de máquinas	764904	9723286	Semestral	NTE INEN 1108	Coliformes fecales	nmp/100ml	0	1.1	19/3/2018 11:05	1	NA	C
Mazar	Agua potable	Casa de máquinas	764904	9723286	Semestral	NTE INEN 1108	Color real	u. pt-co	0	15	19/3/2018 11:05	36	NA	NC
Mazar	Agua potable	Casa de máquinas	764904	9723286	Semestral	NTE INEN 1108	DBO5	mg/l	0	2	19/3/2018 11:05	1.26	NA	C
Mazar	Agua potable	Casa de máquinas	764904	9723286	Semestral	NTE INEN 1108	DQO	mg/l	0	4	19/3/2018 11:05	2.82	NA	C
Mazar	Agua potable	Casa de máquinas	764904	9723286	Semestral	NTE INEN 1108	Turbiedad	unt	0	5	19/3/2018 11:05	0.71	NA	C
Mazar	Agua potable	Cocina	770500	9716243	Semestral	NTE INEN 1108	Coliformes fecales	nmp/100ml	0	1.1	19/3/2018 12:15	1	NA	C
Mazar	Agua potable	Cocina	770500	9716243	Semestral	NTE INEN 1108	Color real	u. pt-co	0	15	19/3/2018 12:15	35	NA	NC
Mazar	Agua potable	Cocina	770500	9716243	Semestral	NTE INEN 1108	DBO5	mg/l	0	2	19/3/2018 12:15	1.26	NA	C
Mazar	Agua potable	Cocina	770500	9716243	Semestral	NTE INEN 1108	DQO	mg/l	0	4	19/3/2018 12:15	3.77	NA	C
Mazar	Agua potable	Cocina	770500	9716243	Semestral	NTE INEN 1108	Turbiedad	unt	0	5	19/3/2018 12:15	0.38	NA	C
Mazar	Agua potable	Planta de agua potable	770601	9715951	Semestral	NTE INEN 1108	Coliformes fecales	nmp/100ml	0	1.1	19/3/2018 9:10	1	NA	C
Mazar	Agua potable	Planta de agua potable	770601	9715951	Semestral	NTE INEN 1108	Color real	u. pt-co	0	15	19/3/2018 9:10	25	NA	NC
Mazar	Agua potable	Planta de agua potable	770601	9715951	Semestral	NTE INEN 1108	DBO5	mg/l	0	2	19/3/2018 9:10	1.71	NA	C
Mazar	Agua potable	Planta de agua potable	770601	9715951	Semestral	NTE INEN 1108	DQO	mg/l	0	4	19/3/2018 9:10	3.8	NA	C
Mazar	Agua potable	Planta de agua potable	770601	9715951	Semestral	NTE INEN 1108	Turbiedad	unt	0	5	19/3/2018 9:10	0.53	NA	C
Mazar	Agua potable	Villa	770510	9716056	Semestral	NTE INEN 1108	Coliformes fecales	nmp/100ml	0	1.1	19/3/2018 12:00	1	NA	C

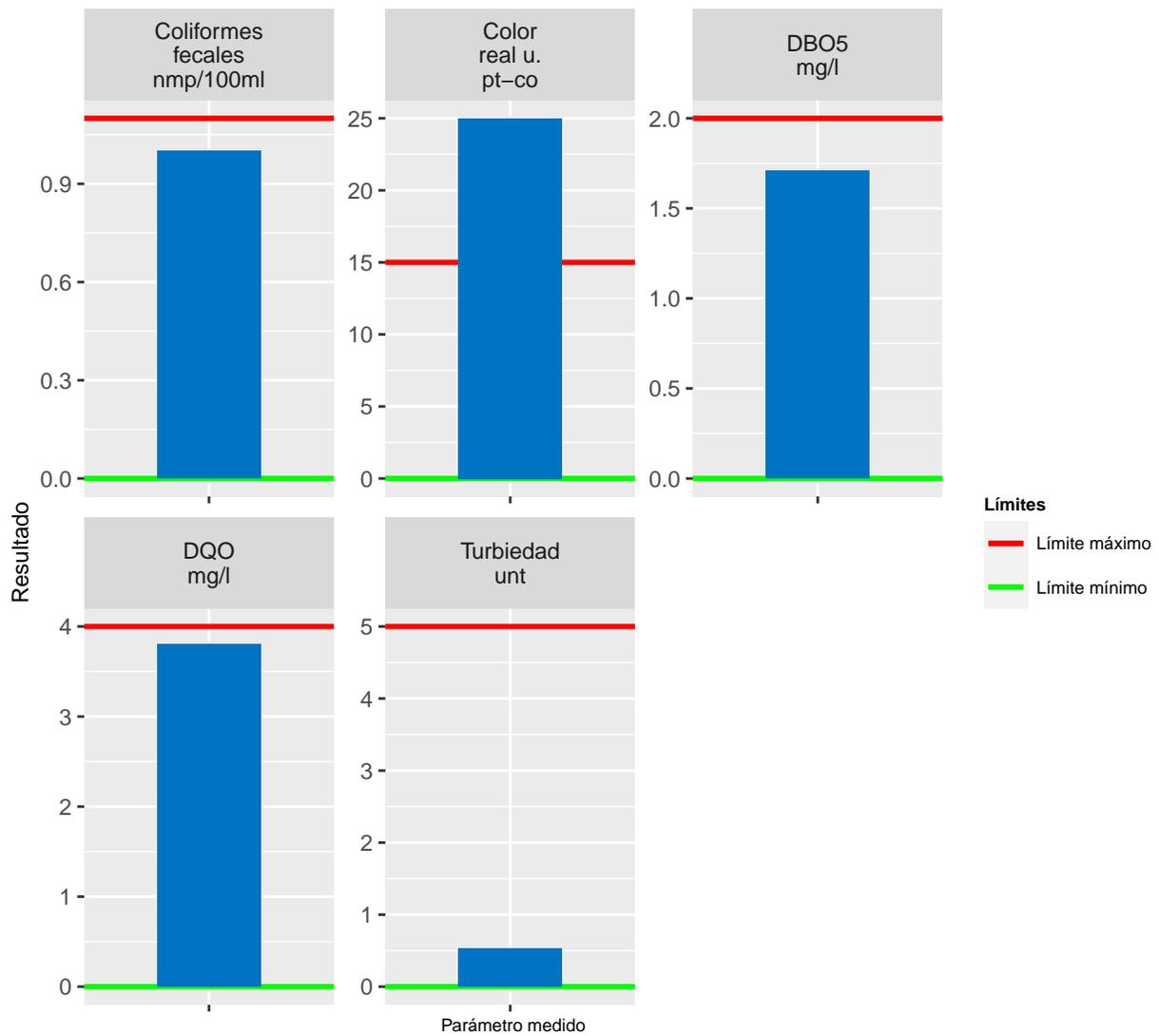
Table 2: Comparación de Parámetros Medidos vs Normativa Ambiental (*continued*)

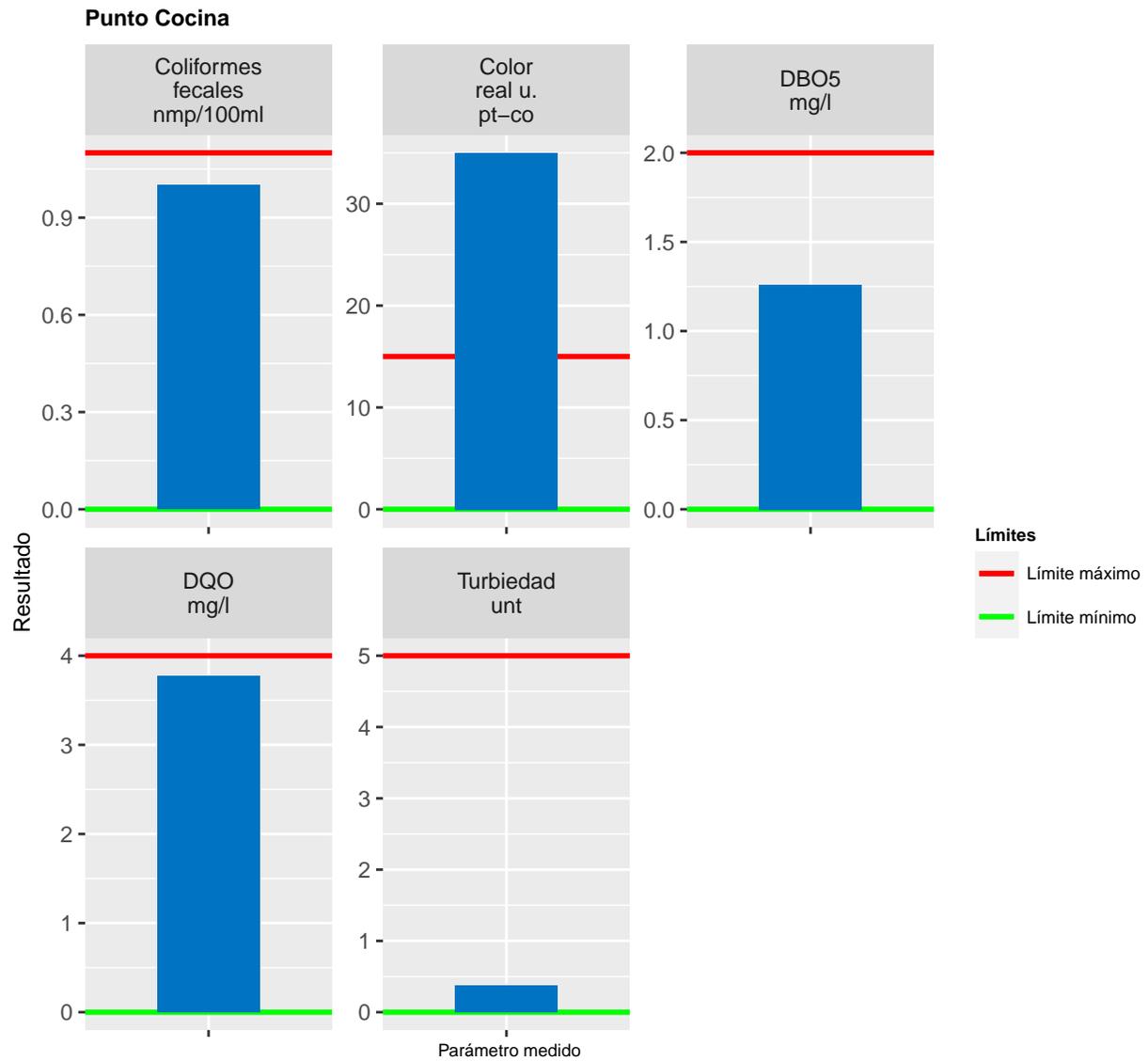
Central	Recurso	Punto de medición	X coord	Y coord	Frecuencia	Norma tabla	Parámetro	Unidad	Límite mínimo	Límite máximo	Fecha	Medición	Observación	Cumplimiento
Mazar	Agua potable	Villa	770510	9716056	Semestra	NTE INEN 1108	Color real	u. pt-co	0	15	19/3/2018 12:00	34	NA	NC
Mazar	Agua potable	Villa	770510	9716056	Semestral	NTE INEN 1108	DBO5	mg/l	0	2	19/3/2018 12:00	1.68	NA	C
Mazar	Agua potable	Villa	770510	9716056	Semestral	NTE INEN 1108	DQO	mg/l	0	4	19/3/2018 12:00	3.69	NA	C
Mazar	Agua potable	Villa	770510	9716056	Semestral	NTE INEN 1108	Turbiedad	unt	0	5	19/3/2018 12:00	0.35	NA	C

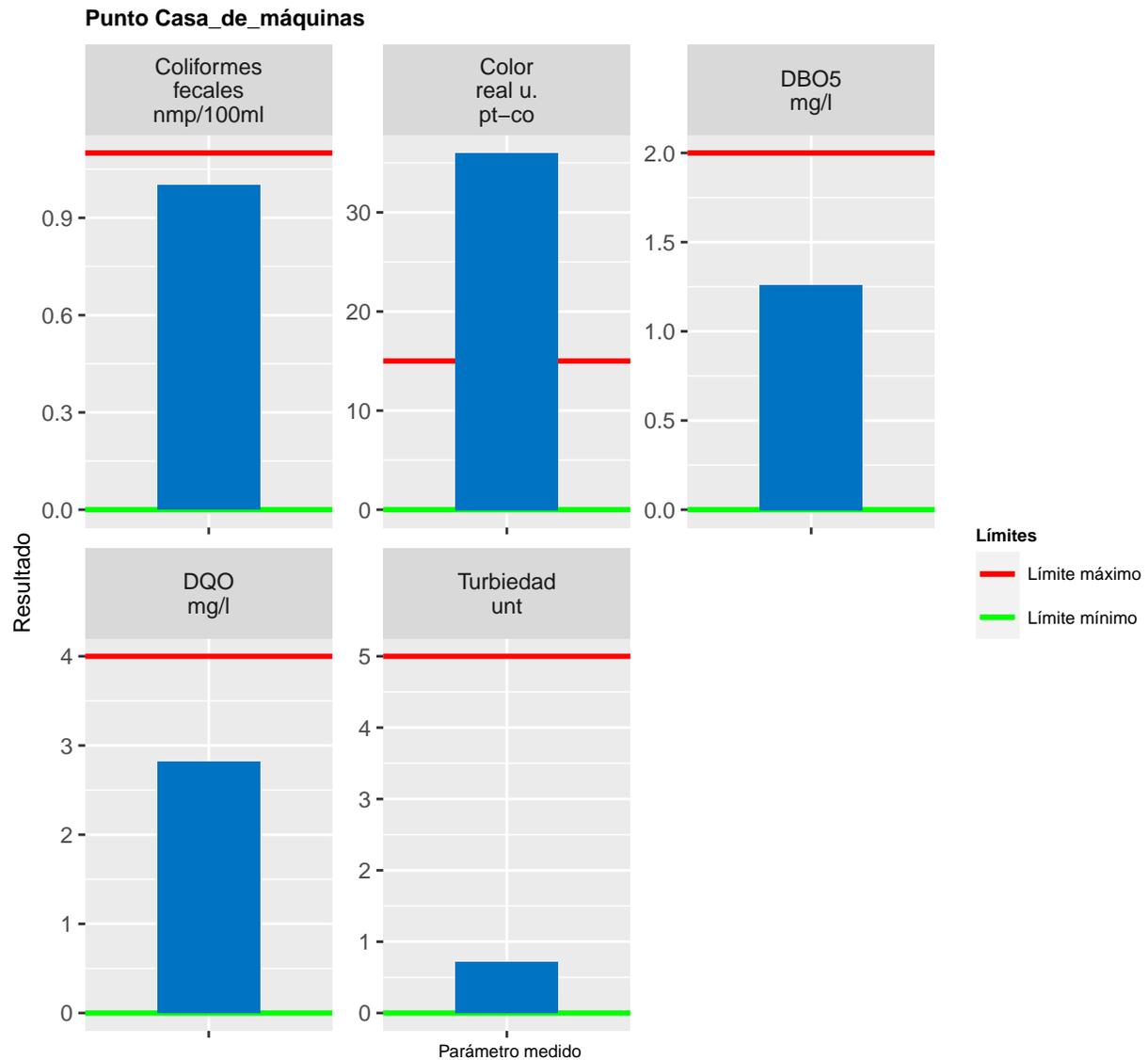
7.2 Gráficos de parámetros:



Punto Planta_de_agua_potable







8. ANÁLISIS DE DATOS

De la evaluación y comparación de los resultados de monitoreo, se presenta un cuadro resumen de los parámetros que sobre pasan el límite máximo permisible establecido en la normativa, razón por la que se recomienda ejecutar y tomar medidas correctivas para para su conformidad.

8.1 Parámetros que no cumplen con la normativa

De la evaluación y comparación de los resultados de monitoreo, se presenta un cuadro resumen de los parámetros que sobre pasan el límite máximo permisible establecido en la normativa, razón por la que se recomienda ejecutar y tomar medidas correctivas para para su conformidad.

Table 3: Parámetros fuera de norma

Central	Recurso	Punto de medición	X coord	Y coord	Frecuencia	Norma tabla	Parámetro	Unidad	Límite mínimo	Límite máximo	Fecha	Medición	Observación	Cumplimiento
Mazar	Agua potable	Casa de máquinas	764904	9723286	Semestral	NTE INEN 1108	Color real	u. pt-co	0	15	19/3/2018 11:05	36	NA	NC
Mazar	Agua potable	Cocina	770500	9716243	Semestral	NTE INEN 1108	Color real	u. pt-co	0	15	19/3/2018 12:15	35	NA	NC
Mazar	Agua potable	Planta de agua potable	770601	9715951	Semestral	NTE INEN 1108	Color real	u. pt-co	0	15	19/3/2018 9:10	25	NA	NC
Mazar	Agua potable	Villa	770510	9716056	Semestral	NTE INEN 1108	Color real	u. pt-co	0	15	19/3/2018 12:00	34	NA	NC

9. PLAN DE ACCIÓN
