

**TECNOLOGÍAS CON POTENCIAL APLICACIÓN DE REMEDIACIÓN DE LAGOS
ARTIFICIALES Y NATURALES PARA LA REMOCIÓN DE SALES, SULFATOS
MEJORA DE LA OXIGENACIÓN SEGÚN PRINCIPIOS DE ADAPTACIÓN
CLIMÁTICA**

DIEGO ALEJANDRO REYES CHAMORRO

Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO QUÍMICO

DIRECTOR

**JUAN CAMILO CELY GARZON
MSC INGENIERO QUIMICO**

CODIRECTOR

**IVAN MARIN RAMIREZ
MSC INGENIERO QUIMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C**

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director de proyecto. Juan Camilo Cely Garzón

Bogotá D.C. febrero de 2023

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de universidad y rector del claustro.

Dr. Mario Posada García-peña

Consejero institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-peña

Vicerrectora académica y de investigación

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector administrativo y financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario general.

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana encargada de la facultad de ingenierías.

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del programa de ingeniería química.

Ing. Nubia Liliana Becerra

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la vida y la convicción para realizar este trabajo. A mi madre y a mi padre, por brindarme amor y apoyarme en todo el proceso de formación profesional, a mis hermanos, que me han brindado su cariño y su incondicionalidad para creer en mí mismo y poder hacer este sueño realidad, Además, esta dedicación es para cada docente de la Fundación Universidad De América que con esmero han impartido las bases de formación de mi carrera y ser motivadores.

Walt Disney afirmaba: “Son muchas las manos y corazones que contribuyen al éxito de una persona “. A mis amigos, que han estado conmigo en la búsqueda del conocimiento, en cada trabajo realizado, compartiendo críticas constructivas para mejorar, y finalmente por compartir una de las mejores etapas de la vida...

Diego Alejandro Reyes Chamorro

AGRADECIMIENTOS

A mi director del proyecto Juan Camilo Cely Garzón por su activa participación en el proyecto. Pude realizar y orientar de una mejor forma mi trabajo obteniendo los resultados queridos propuestos desde el primer instante del proyecto. Al sub director del proyecto Iván Marín Ramírez por ser guía y brindar su opinión sobre el enfoque en ciertos aspectos que permitieron retroalimentar el documento

Especial agradecimiento a los programas de investigación y soporte bibliográfico de la fundación universidad de américa; han brindado todas las herramientas en tiempo y forma para poder realizar la investigación con mayor eficiencia, a los tutores de carreras interdisciplinarias, puesto que su opinión permitió pensar diferentes propuestas para el cumplimiento de los objetivos. Finalmente agradecer a la fundación universidad de américa por el acompañamiento en el camino de formación hacia la excelencia.

Bogotá D.C. Diciembre 2022

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN	17
2 OBJETIVOS	18
3 MARCO TEORICO	19
3.1 AGUAS TERMOMINERALES	19
3.2 OXÍGENO DISUELTO (OD)	19
3.2.1 Factores que afectan el OD	20
3.3 TEMPERATURA	20
3.4 PH	21
3.5 CONDUCTIVIDAD ELECTICA	21
3.6 ION SULFATO	21
3.7 DBO	21
3.8 DQO	21
3.9 TRATAMIENTO DE AGUAS TERMOMINERALES	22
3.9.1 Tratamiento Primario	22
3.9.2 Tratamiento Secundario	22
3.9.3 Tratamiento Terciario	22
3.10 TIPOS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS TERMOMINERALES.	22
3.10.1 Tratamientos Físicos	23
3.10.2 Tratamientos Químicos	23
3.10.3 Tratamientos Fisicoquímicos	23
3.10.4 Tratamientos Biológicos	23
3.10.5 Tratamientos Enzimáticos	23
4 MARCO LEGAL	24
4.1 DECRETO 1575 DE 2007	24
4.2 DECRETO 1594 DE 1984	24
4.3 RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	25
5 PROBLEMATICA LAGO SOCHAGOTA	28
6 ANTECEDENTES	32
6.1 DESCARGAS DE AGUAS TERMO MINERALES	32

6.2 SUELOS SULFATADOS ÁCIDOS (SSA)	34
6.3 MICRORGANISMOS	35
6.4 COMPUERTAS	37
7 CAMBIO CLIMATICO	40
7.1 DEFINICIÓN	40
7.2 EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CUERPOS DE AGUA ESTÁTICOS (OXIGENACIÓN)	41
7.2.1 Lago Tacámbaro (Michoacán, México)	42
7.2.2 Lago Wilcox (Ontario, Canadá)	44
8 ADAPTABILIDAD AL CAMBIO CLIMATICO	45
8.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN Y DISEÑO DE TECNOLOGÍAS ADAPTATIVAS AL CAMBIO CLIMÁTICO	46
8.1.1 Adaptación Efectiva	46
8.1.2 Identificación de medidas de adaptación potencial o existente	47
8.2 DISEÑO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	48
8.2.1 Definición del problema	48
8.2.2 Identificación de las causas del problema	48
8.2.3 Identificación y articulación de la respuesta normativa	48
8.2.4 Identificación de barreras.	49
8.2.5 Formular los resultados esperados	49
8.2.6 Revisar los primeros cinco pasos.	49
8.3 CRITERIOS A EVALUAR PARA LA SELECCIÓN DE UNA MEDIDA	50
8.3.1 Pertinencia o relevancia	50
8.3.2 Impacto	50
8.3.3 Monitoreo y evaluación	50
8.3.4 Factibilidad	51
8.3.5 Rentabilidad	51
8.3.6 Eficacia	51
8.3.7 Eficiencia	51
8.3.8 Sostenibilidad	51
8.3.9 Participación activa de la población objetivo	51
9 REMEDIACION DE LAGOS	52
10 DISEÑO METODOLOGICO	55

10.1 HIPÓTESIS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA	55
10.1.1 Tipo de muestreo	55
10.1.2 ANOVA usado en los ensayos	55
10.2 MUESTREO.	56
10.2.1 Normas para Análisis de aguas	56
10.2.2 Normas para la toma de muestras y almacenamiento	57
10.3 APLICACIÓN	58
10.4 MEDICIONES EN SITIO DE ESTUDIO (TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD)	61
10.5 RESULTADOS	64
10.5.1 Resultados Del ANOVA	65
 11 TECNOLOGÍAS CON POTENCIAL APLICACIÓN DE REMEDIACIÓN DEL LAGO SOCHAGOTA PARA LA REMOCIÓN DE SALES, SULFATOS Y MEJORA DE LA OXIGENACIÓN SEGÚN PRINCIPIOS DE ADAPTACIÓN CLIMÁTICA	 68
11.1 APLICACIÓN DE CRITERIOS DE ADAPTABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO 1 Y 2 PARA EL LAGO SOCHAGOTA	68
11.1.1 Adaptación Efectiva	68
11.1.2 Identificación de medidas adaptativas potenciales o existentes.	70
11.2 APLICACIÓN DE CRITERIO 3 DE ADAPTABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL LAGO SOCHAGOTA	84
11.3 APLICACIÓN DE CRITERIO 4 DE ADAPTABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL LAGO SOCHAGOTA	94
11.3.1 Pertinencia o relevancia	94
11.3.2 Impacto	96
11.3.3 Monitoreo y Evaluación	99
11.3.4 Factibilidad	103
11.3.5 Rentabilidad	104
11.3.6 Eficacia	105
11.3.7 Eficiencia	105
11.3.8 Sostenibilidad	106
11.3.9 Participación activa de la población objetivo	106
11.3.10 Matriz de selección	107
 12 CONCLUSIONES	 112

BIBLIOGRAFIA

114

ANEXOS

125

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Resolución 1594 art 45</i>	25
Figura 2 <i>Resolución 0631 articulo 15 niveles admisibles para metales y metaloides en agua</i>	26
Figura 3 <i>Resolución 0631 articulo 15 (Continuación)</i>	27
Figura 4 <i>Estimaciones de oxígeno disuelto en diferentes puntos</i>	29
Figura 5 <i>Análisis fisicoquímico del Rio Chicamocha</i>	33
Figura 6 <i>Composición de los suelos sulfatados</i>	35
Figura 7 <i>Medida de parámetros fisicoquímicos del Lago Sochagota en diferentes condiciones climáticas Época seca</i>	36
Figura 8 <i>Medida de parámetros fisicoquímicos del Lago Sochagota en diferentes condiciones climáticas Época lluvias</i>	37
Figura 9 <i>Valores medidos en la superficie y en la parte profunda del Lago Sochagota</i>	39
Figura 10 <i>Perfiles de temperatura y oxígeno disuelto del Lago Tacámbaro</i>	43
Figura 11 <i>Mediciones en la superficie y en la parte profunda del Lago Wilcox</i>	44
Figura 12 <i>Principios fundamentales para la adaptación de diferentes ecosistemas</i>	45
Figura 13 <i>Procedimiento para la identificación de tecnologías</i>	47
Figura 14 <i>Norma Colombiana para análisis fisicoquímico de aguas</i>	57
Figura 15 <i>Almacenamiento de aguas del Lago Sochagota</i>	59
Figura 16 <i>Punto 1 definido para el muestreo</i>	60
Figura 17 <i>Punto 2 definido para el muestreo</i>	61
Figura 18 <i>Perfiles de temperatura para el experimento</i>	62
Figura 19 <i>Multímetro empleado en la medición de conductividad</i>	63
Figura 20 <i>Valores promedio de algunos factores fisicoquímicos del Lago Sochagota</i>	65
Figura 21 <i>Costo estimado de diferentes proyectos nacionales en 2020</i>	71
Figura 22 <i>Esquema sistema de aireación</i>	76
Figura 23 <i>Esquema de estanques avanzados para la aireación y tratamiento de aguas</i>	77
Figura 24 <i>Resultados obtenidos antes y después del tratamiento con ozono</i>	79
Figura 25 <i>Partes del biofiltro</i>	80
Figura 26 <i>Valores iniciales medidos en el Humedal</i>	81
Figura 27 <i>Valores finales medidos en el Humedal</i>	81
Figura 28 <i>Partes que conforman el difusor, ensamble y funcionamiento</i>	83
Figura 29 <i>Esquema de diseño PROPUESTA 1</i>	87
Figura 30 <i>Esquema inicial PROPUESTA 1 Continuación</i>	88
Figura 31 <i>Esquema de diseño PROPUESTA 2</i>	89
Figura 32 <i>Esquema de diseño PROPUESTA 3</i>	90
Figura 33 <i>Esquema de diseño PROPUESTA 3 Continuación</i>	91
Figura 34 <i>Esquema de diseño PROPUESTA 4</i>	93
Figura 35 <i>Esquema de diseño PROPUESTA 4 continuación</i>	93
Figura 36 <i>Perfil de fracción másica másico para el ácido sulfúrico en el reactor</i>	100
Figura 37 <i>Perfil de flujo másico del gas</i>	101
Figura 38 <i>Perfil de conversión en el tanque para la cal hidratada</i>	102
Figura 39 <i>Perfil de la dextrosa en la celda</i>	103

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Registro de muestreo por duplicado Lago Sochagota</i>	59
Tabla 2 <i>Resultados obtenidos del experimento (Temperatura promedio)</i>	62
Tabla 3 <i>Resultados obtenidos del experimento (Conductividad promedio)</i>	63
Tabla 4 <i>Resultados Del ANOVA para temperatura media</i>	66
Tabla 5 <i>Condiciones iniciales y comparativa respecto a la resolución 0631</i>	66
Tabla 6 <i>Criterios Establecidos para adaptabilidad efectiva en el Lago Sochagota</i>	68
Tabla 7 <i>Criterios Establecidos para adaptabilidad efectiva en el Lago Sochagota</i> <i>Continuación</i>	69
Tabla 8 <i>Valores iniciales reportados en el estanque del parque Zhongshan</i>	83
Tabla 9 <i>Datos iniciales PROPUESTA 1</i>	86
Tabla 10 <i>Datos iniciales PROPUESTA 2</i>	88
Tabla 11 <i>Datos iniciales PROPUESTA 3</i>	90
Tabla 12 <i>Datos iniciales PROPUESTA 4</i>	92
Tabla 13 <i>Resultados Obtenidos de la propuesta 1</i>	95
Tabla 14 <i>Resultados Obtenidos de la propuesta 2</i>	95
Tabla 15 <i>Resultados Obtenidos de la propuesta 3</i>	96
Tabla 16 <i>Resultados Obtenidos de la propuesta 4</i>	96
Tabla 17 <i>Costos capitales para cada una de las propuestas</i>	105
Tabla 18 <i>Distribución porcentual de las variables multicriterio</i>	108
Tabla 19 <i>Metodología de priorización de medidas de adaptación al cambio climático</i>	109
Tabla 20 <i>Selección y priorización de medidas de adaptación</i>	110

INDICE DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Definición (unidad)
g/L	Gramos por litro
DMI	Distrito de manejo integrado
OD	Oxígeno Disuelto (mg/L)
mg/L	Miligramos por litro
DBO	Demanda biológica de oxígeno (mg/L)
DQO	Demanda química de oxígeno (mg/L)
CT	Carbono total (mg/L)
ΔT_c	Diferencia de tiempos (días)
%	Porcentaje
PT	Fosforo total (mg/L)
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
SSA	Suelos sulfatados ácidos
Ph	Potencial de hidrogeno (H ⁺)
NT	Nitrógeno total (mg/L)
M.S.N.M	Metros sobre el nivel del mar
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
lb/min	Libra/min
Q	Caudal (m ³ /s)
V	Volumen (m ³ ,ft ³)
T	Tiempo (día, min, s)
G	Gravedad
CO ₂	Dióxido de Carbono
DTP	Diseño de procesos térmicos
°	Grados (para indicar ubicación y ángulos)
Ft	Pie
Rpm	Revoluciones por minuto
Cm	Centímetro
M	Metro
m ²	Metro Cuadrado

m ³	Metro Cubico
Km	Kilometro
Km ²	Kilómetro cuadrado
Ha	Hectárea
GPM	Galones por minuto
SCFM	Pies cúbicos estándar por minuto
ASTM	Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
Psi	Libra por pulgada cuadrada
Pa	Pascal
In	Pulgadas
lb/gal	Libra por galón
HP	Caballos de fuerza
AIWPS	Advanced integrated wastewater pond system
AFP	Advanced facultative pond
MP	Maturation Pond
HRAP	High rate algal pond
MNBs	Micronanoburbujas
ATCC	American type culture collection
JCM	Japan collection of microorganisms
CBBFs	Biofiltros de base ceramic
LED	Diodo Emisor de luz
PVC	Policloruro de vinilo
Nm	Nanometros
μmol/m ² s	Unidades de intensidad de luz (micromol/metrocuadrado segundo)
μs/cm	Medidas de electricidad (microsegundo/centímetro)
V	Voltaje
A ^o	Amper
I	Corriente

RESUMEN

El Lago Sochagota fue construido en 1955 destinado a uso recreativo, construido a partir de un humedal natural anterior. Se ubica en un altiplano (altitud 2496 m) del departamento de Boyacá en la provincia de Paipa (Colombia) [1], y ocupa una superficie total de 1,8 km². El punto más profundo del Lago es de 3,20 m. El Lago es alimentado por un afluente del río Chicamocha, quebrada Honda-río Salitre [2].

El municipio de Paipa ha desarrollado su economía en torno al turismo, donde se caracteriza el uso de aguas termales para actividades recreativas. En la actualidad las decisiones de manejo del Lago Sochagota se realizan según la experiencia de las entidades encargadas y estudios particulares y no continuos, por otro lado, no se ha estudiado la capacidad de respuesta de la calidad ante diferentes escenarios climáticos u operación del sistema. Es decir, la calidad y la hidrodinámica del Lago no se han integrado. [3],

En resumen, tres fuentes principales de contaminación se han identificado en el Lago Sochagota: vertidos del sistema urbano (alivios del sistema de alcantarillado perimetral); aguas residuales de los sistemas de tratamiento del sector turístico (contaminación difusa); y) la quebrada Honda – Río Salitre (aguas residuales domésticas, del sector turístico, la actividad agrícola y de la minería del carbón). El humedal se regula con fines de aprovechamiento agrícola, por lo tanto, su efluente se conduce al Río Chicamocha, sumándose a vertidos y aportes de interés regional. [4]

El proyecto llegó a establecer niveles de oxígeno disuelto, sales, lodos, sulfatos, microorganismos entre otros agentes contaminantes para ello se revisó fuentes bibliográficas aplicadas a nuestro caso de estudio. Posterior a ello, se buscó soluciones con adaptación a la variabilidad climática. Ya que se identificó efectos negativos a causa de los gases de efecto invernadero en Lagos. Estudios recientes indicaron que el aumento de la temperatura global, podría causar efectos negativos produciendo un aumento en el nivel de eutrofización vulnerando la remediación del Lago Sochagota

Ahora se hizo un seguimiento paulatino al Lago, por lo que se propone realizar campañas, visitas, control de variables y estudios ambientales. Una vez que nuestra tecnología propuesta en este proyecto entre a una posible etapa de aplicación se debe seguir las recomendaciones gubernamentales para la descarga de aguas con alto contenido de sales.

Palabras clave: Agua, Oxígeno Disuelto, Tecnologías, Contaminación, Lago Sochagota, Microorganismos, cambio climático, adaptación

1 INTRODUCCIÓN

El Lago recibe aportes provenientes de aguas termales, termomineral, mineralizado, dulce y vertidos provenientes de su uso doméstico, recreativo, agrícola o minero en la cuenca de la Quebrada Honda. Además, existen afloramientos de origen subterráneo en el área cercana o en el interior del Lago, y se identifican vertidos no controlados que se vinculan con la actividad turística aledaña, la capacidad hidráulica y la localización del sistema de alcantarillado perimetral al cuerpo de agua.

La creciente demanda turística del municipio de Paipa, ha acentuado los procesos de vulnerabilidad ecosistémica, siendo evidente la contaminación del Lago Sochagota con un fuerte impacto regional, desde el punto de vista económico, social, ambiental y cultural.

Por otro lado, gran parte de la minería en el municipio de Paipa se desarrolla dentro del área del distrito de manejo integrado Sochagota, (DMI), distrito que en la actualidad no se reconoce bajo una política conservacionista con miras a cambiar la matriz de desarrollo y siendo importante en los procesos de adaptación a variabilidad del cambio climático los cuales deben ser derroteros e incluidos en los planes de ordenamiento territorial regional. [1],

“Es por ello que debemos generar instrumentos desde el análisis biológico que permiten tomar decisiones oportunas y que minimicen las externalidades ocasionadas por el desarrollo de proyectos como el turismo o la minería que de acuerdo a la legislación actual se debe establecer cambios ambientales para mejorar la calidad del agua y establecer condiciones óptimas para el desarrollo sostenible de dichas actividades” [3],

En conclusión, se puede decir que nuestro proyecto tratará de imponer una nueva alternativa a los métodos de aireación ya existentes, que permitan brindar unos niveles altos de oxígeno disuelto en el Lago Sochagota (objeto de estudio), y permitirá para el 2030 lograr el objetivo de desarrollo sostenible para adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

2 OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar una estrategia tecnológica de remediación de los niveles de oxígeno disuelto presente en Lagos para la potencial adaptación al cambio climático. Estudio de caso: Lago Sochagota - Boyacá, Colombia.

Objetivos Específicos.

1. Revisar el estado actual de contaminación del agua y de los niveles de oxigenación presentes en el Lago Sochagota.
2. Establecer las principales fuentes de contaminación del agua y los posibles riesgos ambientales relacionados con el Lago Sochagota.
3. Estructurar una estrategia tecnológica de remediación del oxígeno disuelto en el Lago Sochagota considerando la potencial adaptación al cambio climático

3 MARCO TEORICO

3.1 Aguas termominerales

Son aguas que emanan del fondo de la tierra con un aumento de temperatura de 5 °C en relación a la temperatura ambiente.

Son ricas en diferentes componentes minerales y permiten su utilización en la terapéutica como baños, inhalaciones, irrigaciones, y calefacción. Por lo general se encuentran a lo largo de líneas de fallas magmáticas, ya que las aguas subterráneas pueden introducirse y calentarse al llegar a cierta profundidad; de ahí, suben después en forma de vapor. [4]

Existen diferentes tipos de aguas termominerales según su temperatura los cuales son:

- *Frías*: menos de 20°C.
- *Hipotermiales*: 20 °C a 35 °C
- *Mesotermiales*: 30°C a 45 °C
- *Hipertermiales*: más de 45°C

Las aguas pueden clasificarse según su origen en magmáticas con temperaturas promedio de 50 °C o simplemente telúricas provenientes de geiseres o depósitos de actividad geotérmica.

Para caracterizar el agua termomineral se emplea un análisis fisicoquímico analizando los siguientes parámetros:

3.2 Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua. El oxígeno libre es fundamental para la vida de los peces, plantas, algas, y otros organismos [5].

Este parámetro depende de algunos factores tales como

3.2.1 Factores que afectan el OD

- **Altitud**

A mayor altura sobre el nivel del mar, menor será la concentración de oxígeno disuelto en el agua

- **Salinidad**

A mayor acumulación de sales, menor será la cantidad de oxígeno disuelto

- **Minerales**

Cuando los contenidos minerales aumentan, el oxígeno disuelto disminuye.

- **Nutrientes**

Fosforo total (PT): El agua puede llegar a eutrofizarse según la concentración de fosfato se dice que tan sólo 1 gramo de fosfato-fósforo ($\text{PO}_4\text{-P}$) provoca el crecimiento de hasta 100 g de algas.

Nitrógeno total (NT): Reduce el oxígeno disuelto de las aguas superficiales, es tóxico para el ecosistema acuático, entraña un riesgo para la salud pública y junto al fósforo (P). [6]

Son responsables del crecimiento desmesurado de organismos fotosintéticos (eutrofización). Todos estos factores hacen que la legislación sea cada vez más restrictiva en cuanto a los límites máximos permitidos para este parámetro. [6]

3.3 Temperatura

Al aumentar la temperatura, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Cuando el agua contiene todo el oxígeno disuelto a una temperatura dada, se dice que está 100 por cien saturada de oxígeno. [5]

El agua puede estar sobresaturada de oxígeno bajo ciertas condiciones ("rápidos de agua blanca", o cuando las algas crecen y producen oxígeno más rápidamente del que puede ser usado o liberado a la atmósfera). [6]

3.4 PH

Mide el grado de alcalinidad o acidez de una disolución, siendo de 14 el valor más alcalino, el 1 el valor más ácido y el 7 el valor neutro, se ha demostrado mediante estudios que las aguas tanto sulfatadas como bicarbonatadas con temperatura de 10 a 70°C tienen valor de pH entre 4.6 y 8.2 [7].

3.5 Conductividad Eléctrica

Se relaciona con la capacidad de que un agua puede transportar electrones

3.6 Ion sulfato

Este ion es el responsable de disociar el oxígeno este ion puede presentarse unido con metales produciendo agentes corrosivos y libera gases de sulfuro de hidrógeno a la atmósfera lo cual es perjudicial para el ser humano. Al unirse con otros iones tiene propiedades incrustantes afectando tuberías y al mismo tiempo en altas concentraciones se considera tóxico para el ser humano. [8]

3.7 DBO

A mayor DBO menor concentración de OD en el agua ya que dicho parámetro está asociado a la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en el agua. [9]

3.8 DQO

"Indica la cantidad de materias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica". [9].

3.9 Tratamiento de aguas termominerales

En el tratamiento de aguas se emplean plantas de tratamiento donde existen múltiples tratamientos, cuyo fin es purificar y remover los diferentes agentes contaminantes que puede contener las aguas.

Dentro de los diferentes tratamientos se encuentran

3.9.1 *Tratamiento Primario*

“Los tratamientos preliminares habitualmente son físicos e implican la reducción de sólidos en suspensión y el acondicionamiento de las aguas residuales para los posteriores procesos de trazabilidad”. [10]

3.9.2 *Tratamiento Secundario*

Busca la tratar las aguas por actividad biológica, el tratamiento secundario se aplica cuando se desea eliminar las sustancias orgánicas biodegradables disueltas o en suspensión. El tratamiento secundario también es efectivo en la remoción de nitrógeno. [10]

3.9.3 *Tratamiento Terciario*

También conocido como tratamiento avanzado, son procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario convencional, suele emplearse para eliminar fosfatos, sólidos en suspensión, reducir DBO y sólidos disueltos. [11]

3.10 . Tipos de tratamiento para aguas termominerales

Generalmente se clasifican en tratamientos Físicos, Químicos, Fisicoquímicos, biológicos y recientemente tratamiento de aguas via enzimática. Dicho esto daremos una breve explicación de cada tipo de tratamientos una breve explicación de cada uno.

3.10.1 Tratamientos Físicos

Busca remover partículas o sólidos suspendidos, dentro de los cuales se emplean operaciones unitarias, como filtración, sedimentación, centrifugación, aireación, evaporación, decantación entre otros. [12]

3.10.2 Tratamientos Químicos

Emplea cualquier agente químico que permita remover sales, minerales y nutrientes, los procesos más comunes son la precipitación química, remoción mediante bases fuertes y ácidos fuertes, tratamiento con ozono. [13]

3.10.3 Tratamientos Fisicoquímicos

Altera las propiedades físicas y químicas, mediante operaciones unitarias combinadas donde se busca remoción química y separación física

3.10.4 Tratamientos Biológicos

Busca reducir los agentes contaminantes como sales, lodos, y materia inorgánica mediante las reacciones donde se busca generar sustancias inocuas como CO₂, CH₄, N₂ y agua respectivamente. [14]

3.10.5 Tratamientos Enzimáticos

Busca reducir la carga de sales, minerales y nutrientes mediante enzimas obtenidas en procesos de transformación de materia orgánica son sistemas que requieren más de un equipo para poder realizar el tratamiento de aguas. [12]

4 MARCO LEGAL

Dentro de la normatividad para la gestión de la calidad de aguas colombiana básicamente resalta principalmente 3 estatutos legales dentro del marco jurídico colombiano dicho esto describiremos cada uno de los tres:

4.1 Decreto 1575 de 2007

“El objeto del presente decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada”. [15]

4.2 Decreto 1594 de 1984

El cual establece los valores de oxígeno disuelto permitidos en diferentes tipos de agua (Figura 1). Por ende, es sumamente importante comprender a que niveles de dicho parámetro debemos llegar una vez que se encuentre las tecnologías para la remediación. [16]

Figura 1

Resolución 1594 art 45

Referencia	Expresado como	Agua Fria Dulce	Valor Agua Calida Dulce	Agua Mariana Y Esturiana
Clorofenoles	Clorofenol	0,50	0,5	0,5
Difenil	Concentracion de agente activo	0,0001	0,0001	0,0001
Oxigeno Disuelto		5,00	4,00	4,00
pH	Unidades de pH	5,5-9,0	4,5-9,0	6,5 -8,5
Sulfuro de hidrogeno hidrolizado	H ₂ S	0,0002	0,0002	0,0002
Amoniaco	NH ₄	0,1 CL	0,1 CL	0,1 CL
Arsenico	As	0,1 CL	0,1 CL	0,1 CL
Bario	Ba	0,1 CL	0,1 CL	0,1 CL
Berilio	Be	0,1 CL	0,1 CL	0,1 CL
Cadmio	Cd	0,01 CL	0,01 CL	0,01 CL
Cianuro Libre	CN-	0,05 CL	0,05 CL	0,05 CL
Zinc	Zn	0,1 CL	0,1 CL	0,1 CL
Cloro Total Residual	Cl ₂	1,0 CL	1,0 CL	1,0 CL
Grasas y Aceites	Cu	0,01 CL	0,01 CL	0,01 CL
Hierro	Fe	0,1 CL	0,1 CL	0,1 CL
Manganeso	Mn	0,1 CL	0,1 CL	0,1 CL
Mercurio	Hg	0,01 CL	0,01 CL	0,01 CL
Niquel	Ni	0,01 CL	0,01 CL	0,01 CL
Plaguicidas Organoclorados	Concentracion de agente activo	0,001 CL	0,001 CL	0,001 CL
Plaguicidas Organofosforados	Concentracion de agente activo	0,05 CL	0,05 CL	0,05 CL
Plata	Ag	0,01 CL	0,01 CL	0,01 CL
Plomo	Pb	0,01 CL	0,01 CL	0,01 CL
Selenio	Se	0,01 CL	0,01 CL	0,01 CL
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	0,143 CL	0,143 CL	0,143 CL

Nota. La norma Colombiana Decreto 1594 de 1984 establece los valores de oxígeno disuelto para preservación de flora y fauna: 5.0 mg/L en aguas dulces frías y 4.0 mg/L en aguas dulces cálidas. Tomado de: "Ministerio de ambiente".[En línea]. Disponible: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=18617 [Acceso: febrero 1,2023]

4.3 Resolución 2115 de 2007

Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias de sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano la figura 1 se muestra los valores admisibles permitidos de algunos compuestos [17]

Figura 2

Resolución 0631 artículo 15 niveles admisibles para metales y metaloides en agua

Parametro	Unidades	Valores Limites mximos Admisibles
Metales y Metaloides		
Aluminio	mg/L	Analisis y Reporte
Antimonio (Sb)	mg/L	0,30
Arsenico (As)	mg/L	0,10
Bario (Ba)	mg/L	1,00
Berilio (Be)	mg/L	Analisis y Reporte
Boro (Bo)	mg/L	Analisis y Reporte
Cadmio (Cd)	mg/L	0,01
Zinc (Zn)	mg/L	3,00
Cobalto (Co)	mg/L	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,10
Estaño (Sn)	mg/L	2,00
Hierro (Fe)	mg/L	1,00
Litio (Li)	mg/L	Analisis y Reporte
Manganeso (Mn)	mg/L	Analisis y Reporte
Mercurio (Hg)	mg/L	0,002
Molibdeno (Mo)	mg/L	Analisis y Reporte
Niquel (Ni)	mg/L	0,10
Plata (Ag)	mg/L	0,20
Plomo (Pb)	mg/L	0,10
Selenio (Se)	mg/L	0,20
Titanio (Ti)	mg/L	Analisis y Reporte
Vanadio (V)	mg/L	1,00
Otros Parametros Para Analisis y Reporte		
Acidez	mg/L CaCO ₃	Analisis y Reporte
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	Analisis y Reporte
Dureza	mg/L CaCO ₃	Analisis y Reporte
Dureza	mg/L CaCO ₃	Analisis y Reporte
Color Real	m -1	Analisis y Reporte
Longitudes de Onda: 436nm,525nm,620nm		

Nota. Establece el contenido de minerales permitido en aguas dulces. Tomado de: "Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible". [En línea]. Disponible: https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n_2115_de_2007.pdf [Acceso: agosto 21,2022].

Dentro de la norma esta los valores admisibles para demanda biológica de Oxigeno (DBO), Demanda química de oxigeno (DQO), y otros aspectos a tener en cuenta

como se ve en la figura 3

Figura 3

Resolución 0631 artículo 15 (Continuación)

Parametro	Undades	Valores Limites Maximos Permitibles
Generales		
pH	Unidades de PH	6,0-9,0
Demanda Quimica de Oxigeno (DQO)	mg/L O ₂	150,00
Demanda Bioquimica de Oxigeno (DBO5)	mg/L O ₂	50,00
Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00
Grasas y Aceites	mg/L	1,00
Compuestos Semivolatiles Fenolicos	mg/L	10,00
Fenoles Totales	mg/L	Analisis y Reporte
Formaldehido	mg/L	0,20
Hidrocarburos		
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,00
Hidrocarburos Aromaticos Policiclinicos (HAP)	mg/L	Analisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	Analisis y Reporte
Compuestos Organicos Halogenados Absorbibles (AOX)	mg/L	Analisis y Reporte
Compuestos de Fosfato		
Ortofosfatos (P-PO43-)	mg/L	Analisis y Reporte
Fosforo total	mg/L	Analisis y Reporte
Comuestos de Nitrogeno		
Nitratos (N-NO3-)	mg/L	Analisis y Reporte
Nitritos (N-NO2-)	mg/L	Analisis y Reporte
Nitrogeno Amoniacal (N-NH3)	mg/L	Analisis y Reporte
Iones		
Cianuro Total (CN)	mg/L	0,10
Cloruros (CL-)	mg/L	350,00
Fluoruros (F-)	mg/L	1
Sulfatos (SO ₄)	mg/L	

Nota. Valores admisibles de otros parámetros fisicoquímicos. Tomado de: "Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible". [En línea]. Disponible: https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n_2115_de_2007.pdf [Acceso: agosto 21, 2022].

5 PROBLEMATICA LAGO SOCHAGOTA

El Lago Sochagota es un Lago artificial creado en el año 1957 a raíz de proyectos políticos, fue creado por Emiro Fonseca Franky y la epistemología proviene de un término anglosajón que significa una gran extensión de agua.

Surge como medio prometedor de turismo, para realizar actividades acuáticas, y mejorar la imagen del municipio de Paipa; cuenta con desemboques gracias al Canal Salitre que está también en dicha región, sin embargo la calidad del agua ha ido empeorando por los años debido a diversos factores tales como el alcantarillado favoreciendo el desbordamiento de aguas que llegan al Lago y posiblemente los niveles de sal y de material orgánico favorecen el crecimiento de microorganismos desoxigenando el agua y disminuyendo la calidad de la misma.

Por lo tanto, la calidad del agua y la capacidad de oxigenar disminuye por el paso del tiempo, también por factores producto de las actividades de extracción minera en el departamento de Boyacá que de momento no cuentan con conocimientos para hacer vertimientos de aguas. Entonces se puede decir que el problema es uno que debe ser tratado en diferentes áreas y debe ser un trabajo conjunto para poder recuperar el Lago

Tal como se ve expresado en la figura 4 donde se reporta los valores de oxígeno disuelto medido en diferentes puntos del Lago Sochagota

Figura 4

Estimaciones de oxígeno disuelto en diferentes puntos

Lugar De Muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Quebrada Salitre	Descarga Del Lago
Coordenadas Planas	E 1106583	E 1105888	E 1106996	E 1106221	E 1106741
	N 1128863	N 1129011	N 1129241	N 1128014	N 1129788
T (°C)	22	21	20	19	20
pH	9,9	10,30	10,10	9,9	9,9
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	55	63,50	84,00	55	75
Alcalinidad (mmol CaCO ₃ /L)	50	30,00	40,00	NM	70
Acidez (mmol Acidos/L)	NM	NM	NM	0,9	NM
Oxígeno (mg O ₂ /L)	4	7,7	NM	6,2	5
Caudal (revoluciones /min)	NM	NM	NM	810	417

Nota. Se midieron los valores de oxígeno disuelto en el lago sochagota y sus vertederos Tomado de: “Caracterización del estado actual de la minería en el municipio de Paipa (Boyacá) y su relación con el distrito de manejo integrado (DMI) Sochagota”. [En línea]. Disponible: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36852/ramanriquea.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. [Acceso: agosto 21,2022]

Los valores reportados están dentro de los límites admisibles de OD según normativa

Por ende, las autoridades ambientales y mineras deben identificar posibles áreas susceptibles a la minería, conocer las políticas que le permiten incluir elementos esenciales, toma de decisiones en planificación regional, ambiental y resultados en seguridad e Inversión local o extranjera en este tipo de proyectos.

Por otro lado, el departamento de Boyacá se caracteriza por su agua mineral caliente producto de la actividad geotermal y la ubicación estratégica favorece la generación de energía geotermal sin contar con el turismo y venta de servicios relacionados, pero existen otras áreas de la economía en manos de empresas mineras, manufactureras cuya actividad industrial ha contaminado el ecosistema andino y no ha contribuido en la remediación del impacto ambiental con base al cambio climático

Además, la ciudad cuenta con reservas de recursos naturales generación de ecosistemas como las reservas naturales de montaña de Sochagota, que es una de las principales fuentes del desarrollo actual de la ciudad de Paipa.

Es importante identificar alternativas para la preservación del medio natural, como puede ser la declaración de áreas protegidas y ejecución de proyectos, obras a nivel local y regional Ya sea a través de actividades de infraestructura, minería, hidrocarburos o producción de energía es un reto cuando se considera la constante separación y descoordinación

“Una síntesis de componentes biofísicos y sociales nos permite proceder de esta manera. una propuesta de decreto ejecutivo sobre extracción ambiental con evaluación de cuotas mejorar la calidad de vida de la población, crecimiento económico, evaluación externalidades negativas provocadas por la protección ambiental, la convivencia y la gestión territorial proyectos mineros”. [18]

Gran parte de la industria minera ha evolucionado entre formas actividades ilegales en el campo de la gestión integrada sin generar alternativas. La coexistencia territorial entre diferentes actividades frustra un propósito zona de protección ambiental.

La mayor parte de las operaciones mineras se realizan dentro del área de gestión Integrada (DMI) de Sochagota, que actualmente no reconocido bajo políticas proteccionistas dirigidas a cambiar la matriz de desarrollo. Desempeña un papel importante en la adaptación a la variabilidad y el cambio climático

En Paipa, la actividad minera y energética a través del aprovechamiento de los recursos geotérmicos son entre ellas las principales causas por las que el Lago Sochagota presenta niveles bajos de oxígeno disuelto, sin contar con las descargas indebidas de aguas salinas a través de los Canales del Rio Salitre y del Chicamocha. [19]

Generando espacios propicios para que microorganismos desarrollen sus ciclos biológicos en el Lago, una acumulación de sedimentos por el descuido de la ciudadanía, y otros factores asociados al cambio climático han dificultado la

remediación.

Finalmente los principales factores que afectan la concentración de OD en el lago Sochagota son los siguientes según el estudio “*Desarrollo de una metodología para la gestión ambiental de humedales costeros y continentales sometidos a presiones agrícolas*”

“Los niveles máximos de oxígeno disuelto, fósforo total, y clorofila aumentan hasta las condiciones de sobresaturación con valores aproximados a 106%. Observando que el comportamiento de estos factores se da en el mes de abril donde los niveles de evaporación del Lago son mayores, y alcanza un máximo de precipitaciones”. [18]

Durante el mes de agosto se ha reportado niveles de oxígeno disuelto, fósforo total (PT), y clorofila menor puesto que durante estas fechas los valores de temperatura media y las precipitaciones son menores. [18]

Los valores promedio de oxígeno en agosto se corresponden con un 72% de su concentración de saturación; las concentraciones mínimas se registran a la profundidad del disco de secchi con valores de 57% de la concentración de saturación. [19]

Por último, es importante comprender que el Lago debe contar con soluciones que se adapten a los cambios climáticos y a factores hidrológicos, porque la solución deberá ser a largo plazo para conservar la biota del municipio, y a su vez garantizar una mejora en el turismo, actividad que hoy en día representa un alto porcentaje de su economía local.

6 ANTECEDENTES

6.1 Descargas de aguas termo minerales

“El Lago Sochagota forma parte de la cuenca alta del Río Chicamocha, principal fuente de abastecimiento y aprovechamiento agrícola del sistema regional. De esta cuenca, forma parte la Quebrada Honda parte del Río Salitre superficial; esta microcuenca está influenciada por actividades agrícolas, pecuarias, recreativas, entre otras y recibe aportes de naturaleza salina provenientes de aguas termales, termo minerales, de origen natural y antropogénico” [18].

La política pública y la ordenación del territorio deben ser de esta manera, adaptarse a la escala de crecimiento de la población y su actividad. Estos incluirán recomendaciones y planes para el fortalecimiento institucional, planificación de eventos, sea inclusivo, competitivo y responsable. La razón crece la demanda de recursos minerales para asegurar su proceso productivo producción, destacando de energía termoeléctrica y materiales de construcción. [19]

Sin embargo, estudios realizados por implica que la contaminación está relacionada implícitamente con la actividad turística del complejo Paipa, a su vez los estudios proponen alternativas al uso de dicho recurso, e implica estrategias que permitan remediar las posibles contaminaciones provenientes de diversos efluentes [28]

Por otro lado, gran parte de la minería en el municipio de Paipa se desarrolla dentro del área del distrito de manejo integrado Sochagota, (DMI), distrito que en la actualidad no se reconoce bajo una política de adaptación a variabilidad y cambio climático los cuales deben ser derroteros e incluidos en los planes de ordenamiento territorial regional. [20]

Los impactos más relevantes que se analizaron en la investigación fueron la contaminación del Lago Sochagota, el vertimiento de las aguas salinas al Río Chicamocha, indica una contaminación de materia orgánica muy peligrosa en los afluentes que aguas abajo las poblaciones rivereñas utilizan como alimento y riego de cultivos. [21],

Recientemente los estudios realizados a las piscinas termales del Paipa han permitido evaluar el nivel de oxígeno disuelto, como la actividad de descarga presente en el Canal de Vargas, cuya solución permite aprovechar los residuos de actividades agrícolas como se ve en la figura 5

Figura 5

Análisis fisicoquímico del Rio Chicamocha

Parametro	Promedio Ponderado Caracterizacion	Promedio Ponderado Caracterizacion	Composicion Promedio
Caudal Medio (L/s)	318,82	294,64	307
Temperatura (°C)	18,21	18,21	18,21
pH	7,25	7,25	7,25
DQO (mg/L)	336,46	332,57	335,00
DBO (mg/L)	174,25	171,95	173,00
Grasas y Aceites	44,24	44,08	44,00
Fosforo Total	4,72	4,75	5,00
Nitrogeno Total	37,07	36,91	37
SST (mg/L)	140,32	133,78	137,00
SSV (mg/L)	113,11	106,87	110,00
S sedimentables (ml/L)			384,00
Caudal promedio (L/s)			123868
Pobalcion Actual (hab)			170718
Pobacion Futura (hab)	45,59+	41,59+	44+
Aporte DBO g/(hab dia)	88,03+	80,41+	84+
Aporte DQO g/(hab dia)	36,71+	32,35+	35+
Aporte SS g/(hab dia)	36,71+	32,35+	35+
Carga DBO Kg/dia	4666	4258	7441
Carga DQO Kg/dia	9011	8231	14379
Carga SS Kg/dia	3758	3311	5895

Nota. Los niveles de pH y de temperatura están estables sin embargo el aporte diario estimado de carga microbiana oscila en valores superiores a los 4000 kilos promedio provenientes del Chicamocha Fuente: "Implementación de un sistema integrado de tratamiento de aguas residuales como aporte para la descontaminación de la cuenca del Rio Chicamocha". [En línea]. Disponible: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/4742>

Es por ello que debemos generar instrumentos desde el análisis biológico que permiten tomar decisiones oportunas y que minimicen las externalidades ocasionadas por el desarrollo de proyectos como el turismo o la minería que de acuerdo a la legislación actual se debe establecer cambios ambientales para mejorar la calidad del agua y establecer condiciones óptimas para el desarrollo sostenible de dichas actividades [22].

Con base en el anterior este estudio concluyó que la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (P.T.A.R) es la solución óptima, ya que le permitirá a la comunidad solucionar parcialmente el problema de recolección y disposición final de las aguas residuales que descargan sobre el Río Chicamocha.

6.2 Suelos Sulfatados Ácidos (SSA)

Algunas características en la reproducción de SSA en el valle alto del Río Chicamocha En particular, su formación surge, por ejemplo, de la mayoría de los Lagos. Sus componentes, la influencia directa del flujo continuo de abundantes aguas en sulfatos de formaciones geológicas circundantes, durante los últimos 60 años. [23]

Esta condición a veces se encuentra en el suelo Por ende, algunos factores orgánicos o antropogénico, sugiere que el Lago Sochagota es un Lago con suelos ácidos sulfatados dado que se reconocen tres condiciones, que permite la identificación de dichas áreas.

Dentro de estos factores están:

- Fisiología de llanuras mal drenadas e infectadas (Daños en sistemas de alcantarillado de municipio de Paipa).
- Acumulación de materia orgánica y deposición de sedimentos y minerales ricos en hierro y aluminio. El agua rica en sulfato fluye constantemente en el interior del Canal Salitre causando la erosión del suelo y del terreno afectando el complejo turístico de Paipa
- Presencia de bacterias que reducen y oxidan azufre y hierro

En el caso del alto valle del Chicamocha, las características geomorfológicas típicas que contribuyen a la formación de suelos sulfatados ácidos, De esta forma contribuyen a la acumulación de especies que contienen azufre a lo largo del tiempo. También se da en la planicie sobre la que se asienta la cuenca asociados a Procesos de llenado fluvial y lacustre desarrollados. [23]

El azufre como elemento básico en la formación de SSA se obtiene a partir de Océanos, sedimentos antiguos y material biológico en zonas costeras. Las fuentes de sulfato se originan en fuentes internas de azufre de agua caliente salina y fuentes de agua geológica salina que fluyen hacia el valle. [23].

Además, la propagación de sales en depresiones de tierra y áreas mal drenadas contribuye al fenómeno de sulfatación ampliamente descrito como el primer paso en la formación de SSA. De hecho, el agua subterránea del valle tiene altos niveles de sulfato, como lo demuestran los datos de pozos sumergibles. [23]

Tal como se ve en la figura 6.

Figura 6

Composición de los suelos sulfatados

pH	CE(dS/m)	² RS	RAS	Clase	Ca ⁺²	Mg ⁺	K ⁺	Na ⁺	Fe ⁺²	Al ⁺³	SO ₄ ⁻³	CL-	Si ⁺⁴
					meq/L				meq/L			meq/L	
3,4	5,74	0,06	4,0	C451	24,3	11,3	0,37	17	195,3	74,6	3686	5	5
3,3	3,11	0,00	0,6	C451	6,5	1,5	0,2	1,2	172,9	242	2822	0,1	7,5
3,4	7,76	0,09	8,8	C451	22,3	19	1,1	39,8	182,2	61,2	5664	11,3	7,5
4,8	14,02	0,37	22,1	C453	24	29,1	4,8	114	10,62	11,7	5808	45,7	1
5,1	4,71	0,23	19,20	C453	4,8	2,6	1,1	37	61,32	1,17	2073	10,1	1,8

Nota. La composición de los materiales que se presenta en estos suelos comprueba la fuente de Al³⁺ y Fe²⁺ y necesarios para su condición sulfatada ácida. Tomado de: "Suelos sulfatados ácidos: el caso del valle alto del río Chicamocha Boyacá– Colombia". | Editorial UPTC". Editorial UPTC [En línea]. Disponible: <https://librosaccesoabierto.uptc.edu.co/index.php/editorial-uptc/catalog/book/75> [Acceso: 2 de agosto del 2022].

6.3 Microorganismos

Estudios realizados en el Lago Sochagota han reportados cerca de 8 especies microbianas asociadas a un alto grado de eutrofización (contaminación de agua por carga biológica), por lo tanto, se realizaron experimentos que permiten identificar las especies presentes en el Lago, y como es su tasa de crecimiento en temporadas de lluvia y temporadas secas.

Las variables que se tuvieron en cuenta para el estudio fue la medición del pH, conductividad eléctrica, temperatura, y oxígeno disuelto. Tomando muestras del Lago con redes afines al fitoplancton que permitió cuantificar los resultados, usando la correlación de spearman para evaluar el efecto de las variables en las diferentes especies de zooplancton del Sochagota [24].

Los resultados arrojados los podemos ver en las figuras 7 y 8, en el cual se identificó las variables fisicoquímicas, y la cantidad de saturación que existe en el Lago Sochagota

Figura 7

Medida de parámetros fisicoquímicos del Lago Sochagota en diferentes condiciones climáticas Época seca

Variable	Epoca Seca					
	E1	DES.EST	E2	DES.EST	E3	DES.EST
Oxigeno Disuelto (mg/L)	4,4	1,14	3,34	0,084	5,2	1,27
%Saturacion	49	0,13	38	0,028	56	0,12
Temperatura (°C)	19,7	0,7	19,4	0,98	20,5	0,91
PH	8,65	0,7	8,65	0,07	8,75	0,07
Conductividad (µs/cm)	5135	7,07	5205	7,07	5050	183,8

Nota. La variación de oxígeno disuelto cuyos valores reportan concentraciones entre 4,4 mg/L y 5,2 mg/L en el Lago Sochagota. Tomado de: "ESTRUCTURA DEL ZOOPLANCTON EN EL LAGO SOCHAGOTA", [En línea]. Disponible: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/276

Figura 8

Medida de parámetros fisicoquímicos del Lago Sochagota en diferentes condiciones climáticas Época Lluvias

Variable	Epoca Lluvias					
	E1	DES.EST	E2	DES.EST	E3	DES.EST
Oxígeno Disuelto (mg/L)	1,25	0,94	1,5	0,17	1,04	0,69
%Saturacion	11	0,09	15	0,05	92	1,12
Temperatura (°C)	22,05	1,48	21,9	0,14	22,5	1,21
PH	8,9	0	7,1	0	7,3	0,35
Conductividad (µs/cm)	4645	431,3	5010	113,1	5210	0,14

Nota. La variación de oxígeno disuelto cuyos valores reportan concentraciones entre 1,25 mg/L y 1,04 mg/L en el Lago Sochagota. Tomado de: "ESTRUCTURA DEL ZOOPLANCTON EN EL LAGO SOCHAGOTA", [En línea]. Disponible: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/276

Los cambios espacio-temporales de la estructura del zooplancton se relacionaron significativamente con la variación en la temperatura, la transparencia de Secchi y la concentración del oxígeno. En conclusión:

- La composición del zooplancton corresponde a lo esperado para un ambiente eutrófico. [22].
- Se detectaron cambios espaciales y temporales importantes en la estructura del zooplancton relacionados con variación en la temperatura, transparencia y concentración de oxígeno disuelto. [24].
- Respecto a los antecedentes de información taxonómica, se presentan 6 nuevos registros de rotíferos para el Lago Sochagota. [24].
- Dentro de los estudios realizados en el Lago Sochagota se destaca estudios donde se evaluaron aspectos rinológicos del Lago y reportaron 8 especies adicionales de zooplancton, es decir, el nivel de eutrofización del Lago es muy alto. Resultado de la acumulación de materia orgánica y lodos sedimentados [24].

6.4 Compuertas

El sistema de compuertas fue instalado en el año 2015 por entidades gubernamentales cuyo fin es mitigar los efectos de contaminación por sales La

alcaldía municipal de Paipa actualmente cuenta con un horario de apertura y cierre de las compuertas, así como de las bombas que realizan el transporte de agua hacia una especie de tanques para ser almacenadas y posteriormente tratadas

Los valores de oxígeno disuelto en el Lago Sochagota indican que hay una sobresaturación en tanto en la parte profunda del Lago como en su superficie, es por ello que el nivel de OD promedio dependerá de cantidad de veces que se abre la compuerta.

Sin embargo, se ve también el comportamiento del Lago Sochagota tanto en su superficie, como en su parte profunda, se puede decir que las condiciones supersalinas han favorecido sobresaturación de oxígeno, generando factores como la anoxia en el ambiente y causando la muerte de los peces que habitan en el Lago

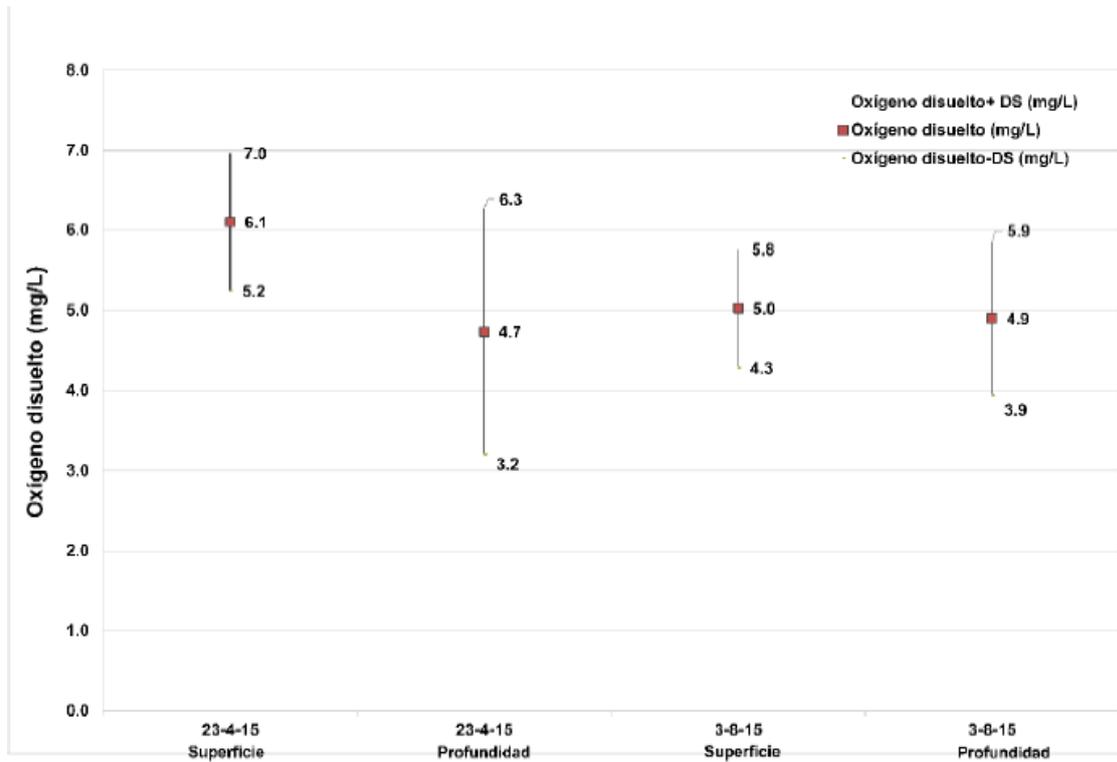
Es por ello que la adaptabilidad climática en función del cambio climático, es fundamental para la conservación de los cuerpos de agua creados artificialmente como lo es el Lago Sochagota, no obstante se debe monitorear los indicadores socio ecológicos de base hidrodinámica para medir el comportamientos como la mortandad de especies acuáticas en el Lago, actividad turística indebida ejercida sin permisos de la alcaldía, el potencial salino, y la contaminación generada por habitantes que no tienen un sentido de conciencia ambiental para cuidar dicho recurso

Pese a que en el año 2020 las actividades económicas de Paipa se pararon debido al coronavirus; la contaminación se redujo y el Lago Sochagota pudo mantener ciertas condiciones fisicoquímicas del Lago.

La figura 9 muestra los valores promedio de OD en diferentes puntos, dicho dato se reporta en (mg/L), nótese que dichos factores se han medido en temporadas donde la concentración tiende a variar por efecto de las lluvias.

Figura 9

Valores medidos en la superficie y en la parte profunda del Lago Sochagota



Nota. Representación del valor medio y la desviación estándar (DS) de la concentración de oxígeno disuelto en 8 estaciones de calidad en el Lago Sochagota, campañas realizadas el 23 de abril y el 3 de agosto de 2015 – Año seco. Tomado de: DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DE HUMEDALES COSTEROS Y CONTINENTALES SOMETIDOS A PRESIONES AGRÍCOLAS", tesis doctoral, Cantabria, santander, 2017. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.unican.es>

Dicho esto, se evidencia algunos factores predominantes en la contaminación del Lago y la posible causa de su no oxigenación a causa de factores como el cambio climático que se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados.

Además, los nuevos contaminantes emergentes evidencian que esta investigación es vital para comprender su naturaleza y las consecuencias que éstos tienen en los recursos hídricos y el medio ambiente, así como para conseguir su absoluta eliminación, permitiendo un uso seguro de las mismas. [25].

7 CAMBIO CLIMATICO

7.1 Definición

El mundo ya está experimentando cambios en la temperatura promedio, cambios de estaciones y otros impactos del clima extremo y el cambio climático, así como una frecuencia cada vez mayor de cuerpos de agua evaporados. Cuanto más rápido sea el cambio climático, cuanto más se retrasen los esfuerzos de adaptación, más difícil y costoso será.

La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. [25].

La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos (variabilidad externa). [25].

“Las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Acuerdo de París reconocen que la adaptación es un desafío global para todos a nivel local, regional, nacional e internacional. La protección de las personas, los medios de subsistencia y los ecosistemas es un componente clave de la respuesta mundial a largo plazo al cambio climático”. [25]

El bajo nivel de soluciones avanzadas en el campo de las aguas residuales indica que existe una necesidad urgente de investigación y nuevas tecnologías que mejoren el tratamiento de las aguas residuales. Además, los nuevos contaminantes emergentes evidencian que esta investigación es vital para comprender su naturaleza y las consecuencias que éstos tienen en los recursos hídricos y el medio ambiente, así como para conseguir su absoluta eliminación, permitiendo un uso seguro de las mismas. [26]

Para enfrentar estos desafíos, el Departamento Nacional de Planeación (DNP), junto con el apoyo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD),

Se formuló el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), cuyo objetivo es reducir el riesgo en las poblaciones y ecosistemas colombianos a los impactos del cambio climático. Este Plan hace parte de una de las estrategias que actualmente adelanta el país frente al cambio climático, en línea con lo propuesto en el Plan Nacional de Desarrollo 2010 - 2014 "Prosperidad para todos". [26].

7.2 Efecto del cambio climático en cuerpos de agua estáticos (Oxigenación)

Los principales efectos del calentamiento global en los Lagos son aumento de temperatura superficial, cambio en los sistemas de estratificación y mezcla (lo que afecta la distribución de organismos y oxigenación). [27]

Los lagos son los ecosistemas que más presenta sensibilidad al cambio climático. Termodinámicamente dependerá de su control en la columna de agua que se gradúa anualmente por efecto de temperatura para alcanzar equilibrio térmico. Y así mantener el estado inicial. [28]

Aquellos lagos con profundidades mayores a 10 metros presentan un patrón de mezcla conocido como cálido monolítico. Porque durante el invierno la columna de agua tiene una temperatura homogénea que permite la mezcla vertical, pero durante la primavera y el verano la capa superficial del agua se calienta. [28]

Diferenciándose del agua profunda formando dos estratos con temperaturas diferentes. El estrato cálido superficial (o epilimnion), se separa del estrato más frío y profundo (o hipolimnion) por una capa que presenta un intenso gradiente de temperatura a la que se denomina termoclina (o metalimnion), que efectivamente limita la mezcla vertical de la columna de agua. [28]

Dichos cambios en los patrones de mezcla de columna de agua son difíciles de monitorear y más en países como Colombia donde no se monitorea gradualmente lagos como el sochagota, lo cual afecta gradualmente en la estrategia de soluciones a emplear para la selección de técnicas con base a adaptabilidad al cambio climático.

7.2.1 Lago Tacámbaro (Michoacán, México)

Un claro ejemplo de como la oxigenación se ve afectada en lagos eutróficos (Lagos Hipersalinos), como el sochagota es el lago Tacámbaro, un lago cuyas coordenadas son (19°13'30" N, 101°27'30") situado en Michoacán a 1460 m.s.n.m. [28]

Es un lago ligeramente alcalino, eutrófico, de agua dulce, con un patrón de mezcla cálido monomíctico caracterizado por un breve periodo de mezcla en invierno (enero). Estos estudios han documentado que las algas clorofilas y las diatomeas son los grupos más abundantes y diversos dentro del fitoplancton de este lago. [28]

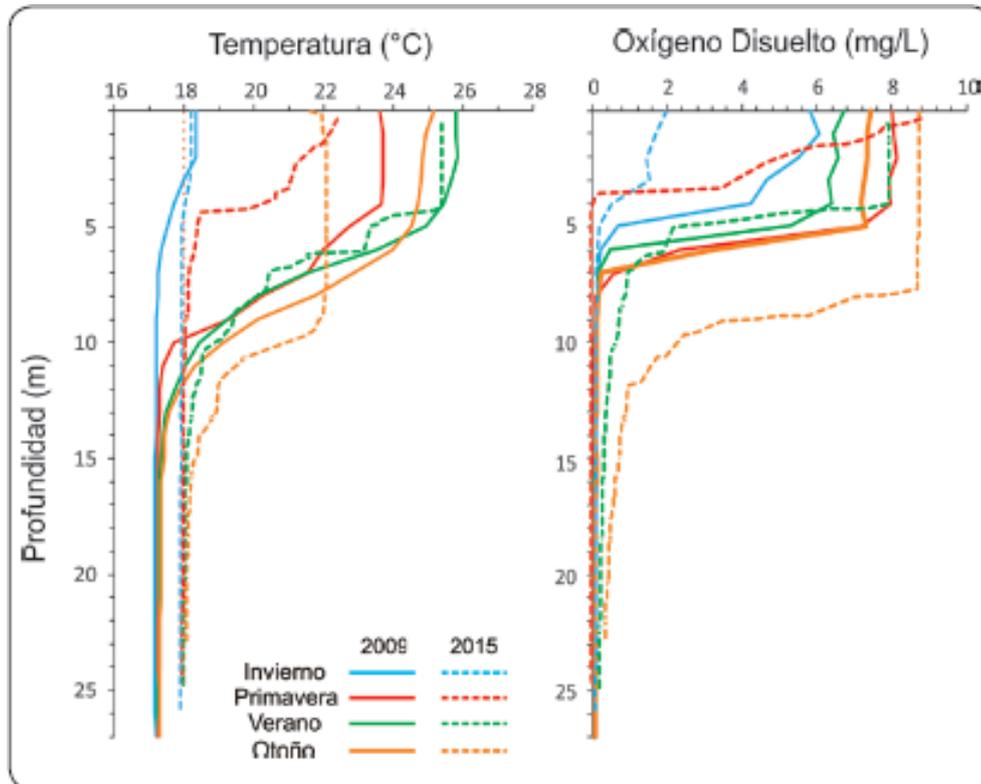
El cambio climático juega un papel importante en el estudio, puesto que se ha comprobado en múltiples charlas internaciones sobre el cambio climático, como el gradiente de temperatura ha incrementado casi un grado en el último siglo; lo cual ha preocupado a las entidades gubernamentales mexicanas.

Puesto que dicha variación en el gradiente se ha evidenciado en el crecimiento de cianobacterias y especies como algas que se benefician de los procesos biológicos para la absorción de oxígeno.

En la figura 10 podemos ver los perfiles de temperatura en los últimos 10 años como las variaciones de oxígeno disuelto a lo largo de los años, dichos factores estrechamente relacionados por el gradiente de temperatura presentes tanto en el epilimion como en el hipoliminion. [28]

Figura 10

Perfiles de temperatura y oxígeno disuelto del Lago Tacámbaro



Nota. Perfiles monitoreados en los años 2005 hasta 2015 para temperatura y oxígeno disuelto en el lago Tacámbaro Tomado de: “Lagos como sensores de cambio climático”. [En línea]. Disponible: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2019000100124 [Acceso: 27 de enero del 2023].

Los perfiles de oxígeno disuelto indican que las aguas profundas del lago (>11 m) permanecen anóxicas todo el año. Estos perfiles también muestran una oxiclina evidente en todos los muestreos, si bien menos desarrollada en enero de 2015, cuando las concentraciones de oxígeno en el epilimnion son las menores. [28]

“La presencia de una oxiclina aún en invierno sugiere que la mezcla vertical en estos años (2009 y 2015), no fue lo suficientemente intensa para homogenizar químicamente la columna de agua. La oxiclina también muestra variaciones en su profundidad a lo largo del año, siendo más somera en invierno y primavera”. [28]

7.2.2 Lago Wilcox (Ontario, Canadá)

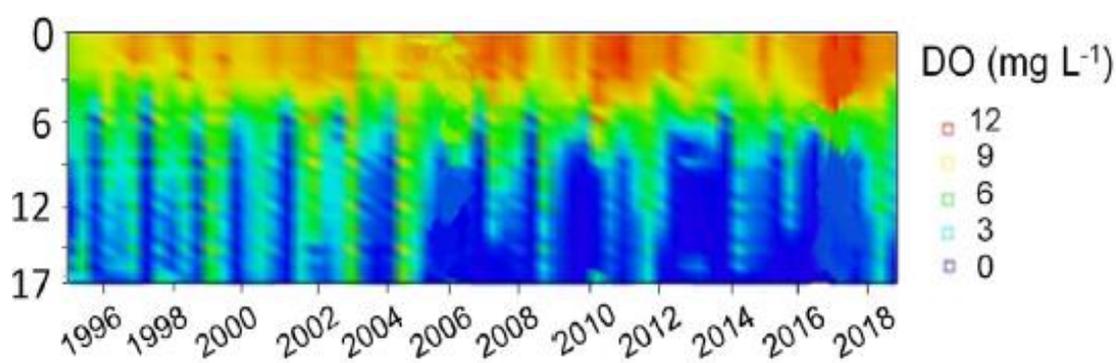
Otro ejemplo donde se ve las afectaciones es el Lago Wilcox (Ontario, Canadá), donde las condiciones de hipoxia se registraron por primera vez en la década de 1980, donde se evidencia cambios drásticos en las concentraciones medias de oxígeno disuelto reportando valores de 10,2 y 1,1 mg/L en el epilimnion (Parte de descarga) y el hipolimnion (profundidad del Lago Wilcox). [29]

Las concentraciones máximas y mínimas de oxígeno disuelto fueron de 17,8 y 2,4 mg/L en el epilimnion, y de 12,0 y 0 mg/L en el hipolimnion. Dado perfiles de profundidad de los cuales se ve evidenciado la disminución de OD y como el cambio climático favoreció las condiciones de sobresaturación

Las concentraciones máximas y mínimas de oxígeno disuelto fueron de 17,8 y 2,4 mg/L en el epilimnion, y de 12,0 y 0 mg/L en el hipolimnion. Dado perfiles de profundidad de los cuales se ve evidenciado la disminución de OD y como el cambio climático favoreció las condiciones de sobresaturación tal como se ve en la figura 11

Figura 11

Mediciones en la superficie y en la parte profunda del Lago Wilcox



Nota. Se ha identificado que las zonas más profundas de los cuerpos de agua naturales son los que sufren mayores niveles de eutrofización, y permanentes estados de anoxia efecto del cambio climático tomado de: "Salinization as a driver of eutrophication symptoms in an urban lake (Lake Wilcox, Ontario, Canada). [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j> [Accedido el 13 de octubre de 2022].

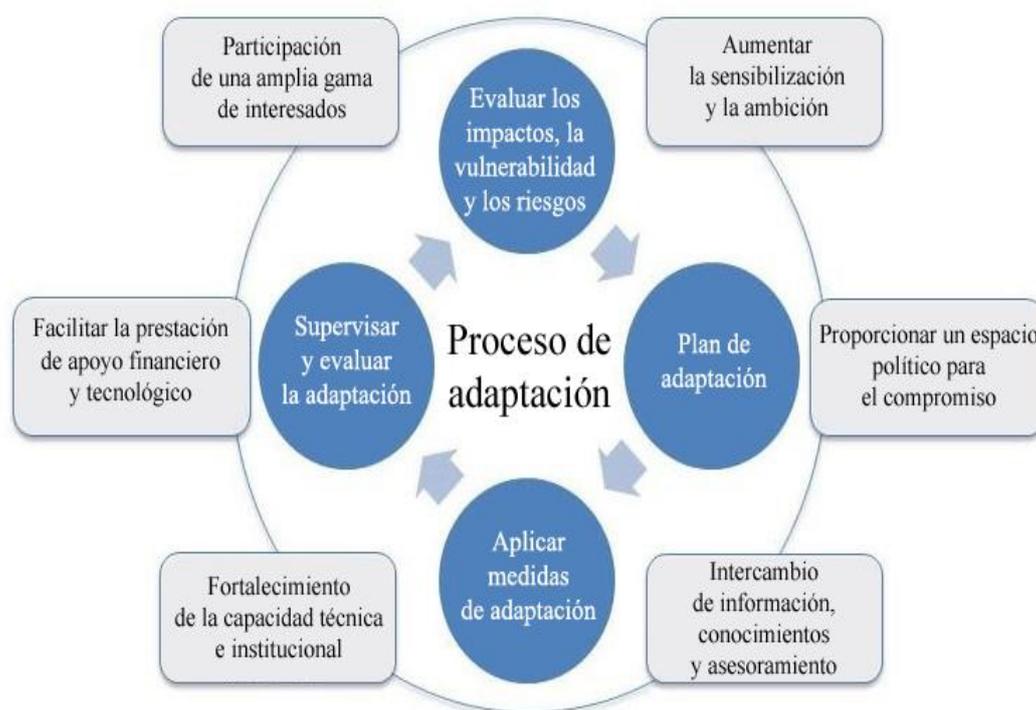
8 ADAPTABILIDAD AL CAMBIO CLIMATICO

“El IPCC define la adaptación como aquellas iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático. Existen diferentes tipos de adaptación; por ejemplo: preventiva y reactiva, privada y pública, y autónoma y planificada. Algunos ejemplos de adaptación son la construcción de diques fluviales o costeros, la sustitución de plantas sensibles al choque térmico por otras más resistentes, etc.” [30]

En la figura 12 podemos ver los principios básicos para la adaptabilidad

Figura 12

Principios fundamentales para la adaptación de diferentes ecosistemas



Nota. Estrategias circulares para los procesos que conllevan a la adaptación y preservación de ecosistemas. Tomado de: “¿Qué significa adaptación al cambio climático y resiliencia al clima?” United Nations Climate Changes. [En línea]. Disponible: <https://unfccc.int/es/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/que-significa-adaptación-al-cambio-climático-y-resiliencia-al-clima> [Acceso: 19 de septiembre del 2022].

Se considera que las medidas de adaptación proporcionan beneficios inmediatos a

diferencia de las de mitigación, las cuales ofrecen resultados en el largo plazo. La mitigación del cambio climático ha recibido tradicionalmente mayor atención que la adaptación, tanto desde el punto de vista científico como desde el normativo. [30]

8.1 Criterios de selección y diseño de tecnologías adaptativas al cambio climático

Internacionalmente se ha realizado un secuenciamiento que permite realizar cualquier estrategia de adaptación. A continuación, explicaremos cada paso a realizar durante la investigación y el desarrollo de diseños empezando con:

8.1.1 Adaptación Efectiva

Dicho criterio debe estar comprendido dentro de objetivos y normativas definidas. Debe contar con la suficiente investigación, recursos económicos, y formación de la comunidad relacionada al campo de estudio.

Comprender tantos factores en un criterio es muy complicado, sin embargo, la experiencia ha demostrado que teniendo en cuenta algunos principios básicos, es posible obtener una adaptación efectiva (UK Climate Impacts Programme). Algunos principios que deben considerarse se mencionan a continuación: [31]

- Definir y comunicar objetivos precisos y/o resultados antes de comenzar. Los objetivos deben ser específicos, mensurables, alcanzables y orientados a resultados además estar establecidos en un plazo determinado.
- Evitar las acciones que descarten o limiten adaptaciones futuras o las acciones de adaptación de los demás.
- Trabajar en colaboración con los tomadores de decisión (Stakeholders).
- Identificar y comprometer a la comunidad, asegurándose de que está bien informada.
- Entender los riesgos y conocer los umbrales, incluyendo las incertidumbres asociadas.
- Identificar los principales riesgos climáticos y las oportunidades para enfrentarlos, centrándose en las acciones necesarias para gestionarlos.

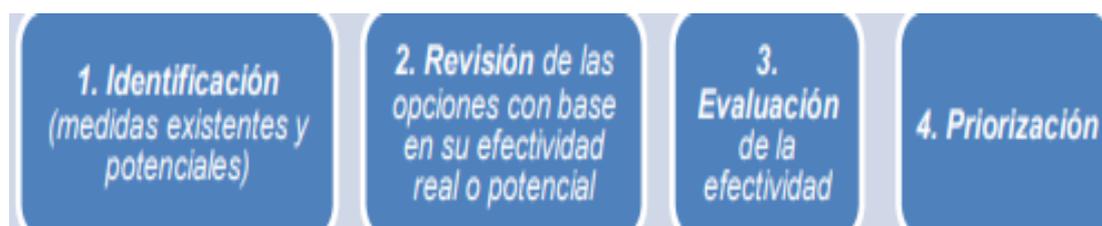
- Reconocer el valor de las opciones de adaptación en las que “no hay o hay poco que lamentar” y aquellas “ganar-ganar” en términos del costo-efectividad y de los múltiples beneficios.
- Revisar la eficacia de los proyectos de adaptación implementados adoptando una perspectiva de mejora continua, re-evaluando los riesgos.

8.1.2 Identificación de medidas de adaptación potencial o existente

En esta etapa identificación de medidas de adaptación están relacionadas a etapas de investigación y desarrollo de propuestas que permitan solucionar problemas en relación al cambio climático. el esquema propuesto en este criterio esta dado como se ve en la figura 13. [31]

Figura 13

Procedimiento para la identificación de tecnologías



Nota. Metodología de investigación para encontrar las posibles tecnologías Tomado de: “Criterios para la selección y el diseño de medidas de adaptación al cambio climático en México”. [En línea]. Disponible:https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405888X2019000100124 [Acceso: 28 de enero del 2023].

Las experiencias de las medidas implementadas en otros países, podrían servir para realizar ajustes y generar nuevas ideas. Igualmente, responder las siguientes preguntas facilitaría identificar y/o definir medidas potenciales de adaptación:

¿Qué sucedería en caso de no hacer nada frente al problema del cambio climático (carencia de política pública en la materia)?

- ¿Cuáles son los costos de la adaptación?
- ¿Qué beneficios se pueden prever con la acción?

- ¿Cómo se repartirán los beneficios y costos de la adaptación?

8.2 Diseño de medidas de adaptación al cambio climático

En Esta etapa se emplea la estrategia. Ya sea a través de herramientas producto de investigación científica, o a través de herramientas que permita la participación colectiva de la población y comprende una serie de pasos a realizar en esta etapa para la implementación

Explicaremos detalladamente en que consiste cada etapa del diseño

8.2.1 Definición del problema

La descripción del problema ocasionado por el cambio climático debe incluir un diagnóstico de la situación actual, del entorno económico, social, medioambiental y de las preocupaciones humanas.

Propone los siguientes enfoques para analizarlo:

- a. Con base en riesgos
- b. Con base en la vulnerabilidad
- c. con base en la capacidad de adaptación

8.2.2 Identificación de las causas del problema

Para identificar las causas de un problema. Básicamente se deben contestar dos preguntas: ¿Cuál es la causa? Y ¿Por qué es la causa? Estas preguntas se deben responder de forma iterativa hasta agotar todas las respuestas.

8.2.3 Identificación y articulación de la respuesta normativa

Este paso consiste en identificar y gestionar el resultado deseado a largo plazo derivado de la iniciativa de adaptación propuesta. Aquí se proyecta la solución que haya sido considerada como mejor opción para tratar la causa profunda del problema.

8.2.4 Identificación de barreras

Definen las barreras como condiciones o factores que hacen difícil la adaptación ante el cambio climático. Se tratan de obstáculos que pueden superarse con un esfuerzo concertado, estableciendo prioridades, entre otros.

Las barreras sirven para identificar, evaluar y gestionar los riesgos de una manera tal que se logre maximizar el bienestar. Las clasifica como:

- a. Naturales
- b. Tecnológicas
- c. Políticas (Institucionales y regulatorias)
- d. Mercado
- e. Económicas
- f. Sociales.

8.2.5 Formular los resultados esperados

Una vez completados los primeros cuatro pasos, se podrá contar con suficiente información para precisar la medida o iniciativa de adaptación. Se debe considerar:

- a. Los resultados previstos
- b. Los servicios/productos tangibles que proveerá la iniciativa
- c. Las actividades y aportaciones necesarias para obtener los productos y resultados claves.

En esta fase, la propuesta de proyecto de medida también debe considerar aspectos del financiamiento, así como también de la supervisión de la implementación.

8.2.6 Revisar los primeros cinco pasos

Es pertinente que el diseñador revise las etapas y que se asegure de cumplir con los requisitos que solicitan los fondos de financiamiento.

Además del requisito de una propuesta con la descripción detallada del proyecto de

adaptación el proponente debe tener en cuenta la participación social (el tema de equidad de género, empoderamiento de la mujer y los beneficios sociales), la alineación con la filosofía del fondo y principalmente que el proyecto propuesto apoya, pero no financia la política nacional. [31]

8.3 Criterios a evaluar para la selección de una medida

Según la agencia internación de cooperación alemana, las técnicas o herramientas de adaptación al cambio climático debe ser evaluado en los siguientes aspectos teniendo en cuenta que la cantidad de recursos en ocasiones puede ser limitada y que debe preservar el propósito de los tres pasos anteriores. [31]

En resumen, para la selección de tecnologías con potencial aplicación y adaptación al cambio climático se tiene en cuenta lo siguiente

8.3.1 *Pertinencia o relevancia*

“En este aspecto se considera si la medida presenta congruencia entre los objetivos de la estrategia de adaptación, las necesidades identificadas y los intereses de la población e instituciones (consenso social)”. [31]

8.3.2 *Impacto*

Deberá tener efectos de largo plazo positivos. Desafortunadamente también habrá efectos negativos, primarios y secundarios, producidos directa o indirectamente por dicha medida, intencionalmente o no. [31]

8.3.3 *Monitoreo y evaluación*

El proyecto de adaptación debe considerar una propuesta para su monitoreo y evaluación, que incluya indicadores estratégicos de impacto enfocados en su cumplimiento y efectividad. [31]

Sólo a través de ellos se puede verificar que se cumple parcial o completamente el objetivo para el que fue diseñada y se pueda recomendar su aplicación en otros

lugares con características similares.

8.3.4 Factibilidad

La medida debe considerar la capacidad institucional, financiera, política, normativa, técnica y, sobre todo, social, que permitan su implementación y sostenibilidad. [31]

8.3.5 Rentabilidad

El costo de la medida debe ser bajo en comparación con su efectividad o beneficios para reducir la vulnerabilidad. Su cálculo representa un reto. [31]

8.3.6 Eficacia

Tiene que ver con la medida en que se logran o se esperan lograr los objetivos de la intervención, tomando en cuenta su importancia relativa. [31]

8.3.7 Eficiencia

Es la medida en que los recursos (insumos: fondos, tiempo, entre otros) se han convertido en resultados. Esta característica deberá plantearse claramente desde el diseño de la medida de adaptación, correspondiendo a la solución de alguna vulnerabilidad detectadas. [31]

8.3.8 Sostenibilidad

Los cambios alcanzados mediante la implementación del proyecto de adaptación deberían continuar una vez que la intervención ha finalizado. Desde la etapa de selección o diseño se debe plantear el mecanismo mediante el cual la medida pueda mantenerse en el tiempo. [31]

8.3.9 Participación activa de la población objetivo

La población se involucra activamente incorporando su conocimiento y experiencia en todas las fases del proceso y se apropia de la medida, cuidando las inversiones y asegurando su efectividad por un tiempo mayor al proyectado. [31]

9 REMEDIACION DE LAGOS

Como sistemas abiertos, los lagos responden así al medio ambiente con el cual han evolucionado. De esta manera, los ecosistemas de lago en su estado natural se encuentran integrados al funcionamiento del paisaje como su sistema integrador

El Lago Sochagota al ser un lago artificial emula un sistema de lagos similares a los creados en sitios urbanos; Usualmente hay factores relacionados a la actividad humana en donde el perilago y la cuenca de drenaje necesariamente se ven reflejadas en la calidad ambiental del lago y en particular su calidad de agua. [32]

Se ha evidenciado que un aumento en las cantidades de fósforo y nitrógeno favorece la eutrofización de lagos. Por ende, el oxígeno disuelto disminuye si la cantidad de dichos nutrientes primordiales aumentan en el agua ya sean lagos naturales o artificiales. [32]

Estas generalizaciones son las que nos permiten concluir que la calidad ambiental de un lago depende del tipo e intensidad de uso de la tierra en su cuenca de drenaje. En otras palabras, todo lago para el cual su drenaje esté siendo intensamente utilizado, necesariamente tenderá a presentar un estado de baja calidad ambiental (agua, sedimento y biota). [32]

De este estado de alto deterioro el lago puede ser recuperado a través de la aplicación de una serie de tecnologías que son tanto de carácter externo como interno al lago en cuestión. Sobre los tipos de tecnologías actualmente disponibles abundaremos más adelante.

Sin embargo, previamente a la aplicación de una o de varias tecnologías de remediación de lago, debemos conocer cuál es el estado ambiental (agua, sedimento, biota). Una vez en conocimiento del estado del lago, se deben considerar los tipos de tecnologías de recuperación disponibles y de aplicación al lago en cuestión. [32]

Se ha demostrado mundialmente que la remediación de lagos pasa por una serie de tecnologías que trabajen el cuerpo de agua tanto en sus cuencas de drenaje y

descarga (Externas) como en el lago como tal (Internas). Esto permitirá que aumente la probabilidad de éxito en la recuperación de la calidad de agua con niveles de hipersalinidad.

Dentro de las técnicas para el manejo y remediación externas más comunes se encuentran las siguientes:

1. La atenuación de la entrada de nutrientes a través del rediseño de la topografía, el uso de la tierra del parque y/o la construcción de zonas vegetadas, de acceso palustre en las zonas costeras del lago.
2. el desvío de entradas con altas concentraciones de nutrientes y/o sustancias tóxicas mediante tratamiento de aguas.
3. Impedir la entrada de nutrientes y/o sustancias tóxicas a través de la instalación de cámaras de retención de barros previo a las entradas al lago
4. Aplicación de regulaciones específicas para el uso y manipulación del cuerpo de agua

El objetivo es tratar de mejorar la calidad de agua que se descarga en el lago y es por ello que todo efluente que se conecta con el Lago sochagota debe contar con este tipo de técnicas

Diferente de las técnicas internas que son específicas tanto para cada lago como para cada tipo de problema. Por lo tanto, para cada lago y sus problemas se deberían analizar cuáles son las técnicas de aplicabilidad específica, sus ventajas y desventajas. [32]

De forma muy general se las puede considerar como técnicas de “mantenimiento” del estado ambiental del lago, dentro del marco del mejor externo posible de ser aplicado. Entre las técnicas internas más comunes y efectivas se encuentran:

1. Aireación u oxigenación de la columna de agua
2. Inactivación de nutrientes en la columna de agua
3. Control del nivel del agua
4. Dilución y/o lavado (manipulación del tiempo de permanencia del agua)

5. Secado periódico
6. Limpieza de la superficie del lago
7. Dragado (en húmedo o en seco)
8. Sellado de fondos
9. Tratamiento químico de sedimentos
10. Tratamiento con biocidas (especialmente herbicidas o alguicidas)
11. Cosecha mecánica periódica de la vegetación acuática
12. Aplicación de técnicas de biomanipulación (usualmente peces y aves)
13. aplicación de regulaciones específicas para el uso del lago/estanque

10 DISEÑO METODOLOGICO

Comprendido el concepto de remediación nos disponemos a determinar la calidad del agua que está presente en el Lago Sochagota, para ello se procede a realizar la correspondiente caracterización con el propósito de determinar las condiciones iniciales y parámetros que servirán como referencia para la selección de tecnologías aplicadas de manera externa e interna al sistema hídrico del municipio de Paipa

Para ello se realizó lo siguiente:

10.1 Hipótesis y Análisis Estadístico ANOVA

10.1.1 Tipo de muestreo

Se realiza **Muestreo Aleatorio Simple**. Desde el punto de vista matemático se puede decir que el muestreo aleatorio simple parte de la suposición que la población tiene infinitos elementos. Al ser infinitos elementos el experimento puede tener infinitas mediciones, todas con la misma probabilidad de ser elegidas.

Al tener un tamaño de muestra (n) igual a seis, cada muestra tendrá $1/6$ de probabilidad de ser el dato que más se aproxime a nuestro valor real, mejorando la precisión del dato

10.1.2 ANOVA usado en los ensayos

Se emplea el análisis estadístico de un factor, usualmente este tipo de análisis se emplea cuando únicamente una variable y el objetivo es investigar si dichas variaciones tienen un efecto medible sobre una variable dependiente

Este análisis presenta limitaciones; entre ellas es que solo mide medias de tres grupos diferentes reduciendo la precisión de los datos, otra es que solo se puede investigar una variable dependiente.

La notación formal de las hipótesis para los análisis de un factor se expresa de la

siguiente forma

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2$$

Comprendido esto se plantea las hipótesis nula y alternativa para la temperatura

H₀: La temperatura media del agua en el Lago Sochagota es mayor a 15 °C en época seca

H_A: La temperatura media del agua en el Lago Sochagota es menor a 15 °C

No se realizara ANOVA para la conductividad ya que esta variable no está implícita en la variación de OD, Además se sabe que cuando la temperatura aumenta, la conductividad eléctrica También lo hará no cual no requiere un análisis estadístico Para analizar la variable dependiente que este caso sería la conductividad eléctrica

10.2 Muestreo

10.2.1 Normas para Análisis de aguas

Las normas relacionadas a los análisis de aguas de algunas variables los podemos presenciar en la figura 14. [33]

Figura 14*Norma Colombiana para análisis fisicoquímico de aguas*

Característica a estudiar	Tipo de recipiente	Técnica de preservación	Volumen de la muestra ml	Tiempo Máximo de preservación	Comentarios	Normas
DBO	Plástico o vidrio	Refrigerar entre 2 °C y 5 °C	1000	6 horas	Muestra simple o compuesta	ISO 5815
DQO	Plástico o vidrio	Acidificar a Ph < 2 con H ₂ SO ₄	100	7 días	Muestra simple o compuesta	ISO 5815
Oxígeno Disuelto (Electrodo)	Vidrio	Ninguna	300	15 minutos	Muestra simple	ISO 5813 ISO 5814
Oxígeno Disuelto (Wrinkler)	Vidrio de wrinker	Fijar en sitio el oxígeno y almacenar en oscuridad	300	8 horas	Muestra simple	ISO 5813 ISO 5814
Conductividad	Plástico o vidrio	Refrigerar entre 2 °C y 5 °C	500	28 días	Muestra simple o compuesta	SM-Edición 21, 2005
pH	Plástico o vidrio		50	15 minutos	Muestra simple	SM-Edición 21, 2005
Temperatura	Plástico o vidrio	Ninguna	100	15 minutos	Muestra simple	SM-Edición 21, 2005
Nitrogeno total por Kjeldahl	Plástico o vidrio	Acidificar a Ph < 2 con H ₂ SO ₄ Refrigerar 2-5 °C	500	7 días	Muestra simple o compuesta	SM-Edición 21, 2005
Cloruros	Plástico o vidrio		100	24 horas a 48 horas si la conductividad > 70 mS/m	Muestra simple o compuesta	ISO 9297 SM-Edición 21, 2005
Sulfatos	Plástico o vidrio	Refrigerar entre 2 °C y 5 °C	100	1 mes	Muestra simple o compuesta, para evitar la formación de H ₂ S adicionar H ₂ O ₂ a las muestras con DBO altas > 200 mg/L adicionar HCL	ISO 9280 SM-Edición 21, 2005

Nota. Se evidencia las recomendaciones para realizar el correcto de análisis de aguas de cualquier tipo según normas colombianas e internacionales. Tomado de “Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis humano”, [En línea] disponible en: <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacion%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf> [Acceso: febrero 11,2023]

10.2.2 Normas para la toma de muestras y almacenamiento

Según el “Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis humano” bajo el artículo 27 del

decreto 1575 del 2007; Establece las recomendaciones para seleccionar los puntos de recolección de muestras, almacenamiento y análisis fisicoquímico estableciendo las siguientes recomendaciones. [33]

- Registrar la fecha, hora y el sitio donde realiza el muestreo
- Establecer 2 al menos dos puntos para la recolección de muestras
- Hacer el muestreo con la ayuda de un balde sumergiéndolo a una profundidad de 30 cm
- Emplear botellas de vidrio o plástico de un volumen mínimo de 1L
- Los envases deben ser limpiados con detergentes
- La cantidad mínima para análisis fisicoquímicos es 1000 ml o un litro
- Recoger en el menor tiempo posible las muestras en los diferentes puntos
- Identificar las botellas con el número de la muestra, fecha, hora, cantidad de agua
- Refrigerar las muestras a 4 °C

“Para el almacenamiento se deberá emplear sistemas de refrigeración. Usualmente, deberán mantenerse a la sombra para permitir una mayor conservación de la temperatura. El enfriamiento simple (en hielo o en un refrigerador a 4° C) y el almacenamiento de la muestra en la oscuridad es, en la mayoría de los casos, suficiente para preservar la muestra durante el transporte al laboratorio y durante un período de tiempo relativamente corto antes del análisis”. [33]

10.3 Aplicación

Se realizó una visita a Paipa donde se evalúa el estado actual del Lago Sochagota e identificamos el punto de descargar de agua termo mineral proveniente del Canal Salitre, con el fin de validar el estado actual de dicho punto y realizar un análisis minucioso de la zona

Se toma por duplicado muestras a diferentes horas teniendo un total de seis muestras de agua cuyo volumen se envasa en botellas de 150 ml. Se registra el día y las horas donde se tomaron las muestras para su posterior caracterización tal como lo vemos en la tabla 1

Tabla 1

Registro de muestreo por duplicado Lago Sochagota

Fecha de muestreo	Lugar de muestreo	Hora de muestreo	# Muestra
13/04/2022	Punto 1	13:50	1
13/04/2022	Punto 2	17:40	2
14/04/2022	Punto 1	8:30	3
14/04/2022	Punto 2	8:45	4
14/04/2022	Punto 1	13:30	5
14/04/2022	Punto 2	13:45	6

Nota. Se toma muestras cada cinco horas en los puntos 1 y 2.

En la figura 15 podemos ver como se emplea botellas de plástico para su almacenamiento en una hielera que contiene celdas de refrigeración con el fin de preservar en un buen estado las muestras tomadas

Figura 15

Almacenamiento de aguas del Lago Sochagota



Nota. Las muestras de las botellas verdes contenían un volumen menor a 350 ml.

Ahora se define los puntos donde se hará la recolección aleatoria por duplicado dichos puntos seleccionados fueron:

- *Lugar de muestreo 1*

El primer punto queda ubicado en la parte superior a un kilómetro del complejo hotelero panorama. Tal como lo vemos en la figura 16

Figura 16

Punto 1 definido para el muestreo



Nota. El punto está situado sobre la vía Duitama y a 5 minutos del instituto turístico de Paipa.

- *Lugar de muestreo 2*

En este punto también se evidencia la sulfatación del suelo donde los humedales que rodean al Sochagota, indican que los sulfitos y la concentración de metales pesados procedentes de aguas termominerales del Canal Salitre sean un gran problema de afectación al Lago

El segundo punto está ubicado en la parte inferior del lago, a un kilómetro de la quebrada salitre, tal como se evidencia en la figura 17

Figura 17

Punto 2 definido para el muestreo



Nota. Las actividades de pesca entre otras se realizaban en el punto inferior del lago

Una vez tomada las muestras se procede a determinar los parámetros de temperatura, conductividad, para posteriormente analizar las otras variables en laboratorio

10.4 Mediciones en sitio de estudio (Temperatura y Conductividad)

Con la ayuda de un termómetro digital con sonda se procede a medir la temperatura de las seis muestras, para ello se empleó un termómetro digital con sonda que fue solicitado por préstamo al instituto de turismo de paipa (ITP).

Una vez tenido el termómetro se registra la hora del muestreo, y se procede con la medición según la *norma técnica colombiana ISO 5667-1* Se toma las muestras a 30 de profundidad con la ayuda de un balde, seguido de ello se toma la medición de temperatura antes de envasar Arrojando los siguientes resultados reportados en la tabla 2 con la ayuda de Excel

Tabla 2

*Resultados obtenidos del experimento
(Temperatura promedio)*

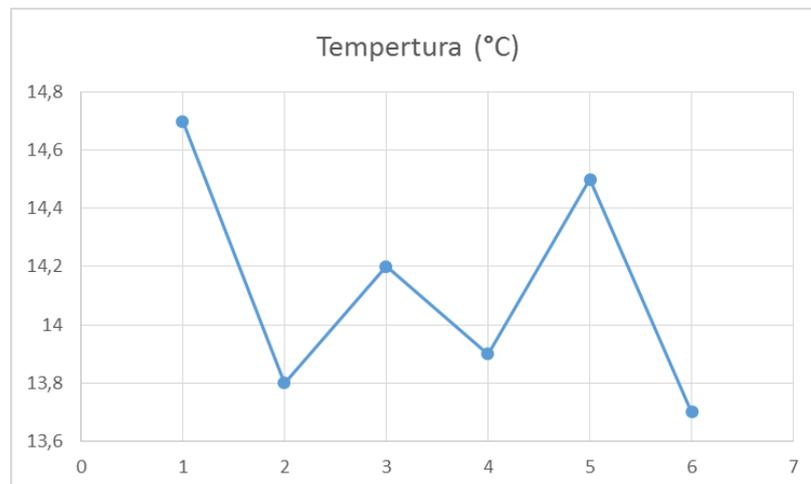
Muestra	Tempertura (°C)
1	14,7
2	13,8
3	14,2
4	13,9
5	14,5
6	13,7
Temperatura Promedio (°C)	14,13
Desviacion Estandar	0,40
Coeficiente de variacion	2,85

Nota. El dato de temperatura promedio no presenta diferencias estadísticamente significativas

El comportamiento de los datos también lo podemos ver de manera gráfica dada por la figura 18; Se ve como el cambio climático son factores que sesgan la medición variando su gradiente en la columna de agua

Figura 18

Perfiles de temperatura para el experimento



Nota. El comportamiento de la gráfica puede predecir el gradiente de aumento o disminución de temperatura en este caso es aproximadamente 0,13 °C para la columna de agua en los dos puntos de muestreo.

Para la medición de conductividad se usa un multímetro y cables se procede a medir

en sitio la conductividad eléctrica en sitio tal como se puede apreciar en la figura 19

Figura 19

Multímetro empleado en la medición de conductividad



Nota. Permite medir conductividades eléctricas del agua en función de la transmisión de iones a través de los cables receptores.

En la tabla 3 se reportan los datos medidos para conductividad eléctrica y mediante Excel medimos nuevamente las medidas de tendencia central asociadas al ensayo de temperatura

Tabla 3

Resultados obtenidos del experimento (Conductividad promedio)

Muestra	Conductividd Electrica (ds/m)
1	7,84
2	9,61
3	10,72
4	10,76
5	8,43
6	9,78
Conductividad Electrica Promedio (ds/m)	9,52
Desviacion Estandar	1,19
Coefficiente de variacion	12,48

Nota. El dato de conductividad promedio presenta diferencias estadísticamente significativas

10.5 Resultados

Las mediciones correspondientes a Oxígeno Disuelto, Fosforo Total, Nitrógeno Total, y sulfatos, los tomaremos directamente del estudio de “*Desarrollo de una metodología para la gestión ambiental de humedales costeros y continentales sometidos a presiones agrícolas*”

A razón que algunas pruebas no pudieron ser medidas en laboratorio y la condición de la muestra de agua se vio afectada por factores humanos en la manipulación y almacenamiento

Es por ello que nos guiaremos del experimento realizado en el estudio donde se evalúa 16 muestras tomadas en puntos aleatorios del Lago Sochagota. Lo cual mejora la precisión de los datos y nos permite dar un grado mayor de confiabilidad de las variables tomadas.

En la figura 20 podemos ver algunos de los resultados obtenidos para cada una de las variables que nos interesan; en el encontraremos los valores promedio de cada indicador, su desviación estándar y su coeficiente de variación.

Figura 20

Valores promedio de algunos factores fisicoquímicos del Lago Sochagota

	M	N	Media	Minimo	Maximo	Desv.	C.V
Acidez (mg/L CaCO ₃)	2	16	1,35	1,00	9,60	1,57	116,59
Alcalinidad Total (mg/L CaCO ₃)	2	16	440,56	106,00	879,00	154,26	35,01
Carbono Organico (mg/L)	2	16	31,84	1,50	299,00	51,18	160,75
Clorofila (µg/L)	2	16	107,22	21,00	187,00	58,77	54,81
Cloruros (mg/L)	2	16	1183,4	535,00	3060,00	495,08	41,63
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2	16	439,62	27,00	1600,00	496,24	112,88
Coliformes Totales (NMP/100 M)	2	16	73944,7	6120,00	251000,00	70739,40	95,67
Color Real (UPC)	2	16	35,67	18,00	88,00	12,16	34,10
Conductividad (ds/m)	2	16	11,00	5,56	24,20	3,68	33,48
DBO5 (mg O ₂ /L)	2	16	105,5	2,50	1120,00	195,05	184,88
Disco De Secchi (m)	2	16	0,17	0,06	0,30	0,07	44,36
DQO (mg/L)	2	16	189,06	10,00	1710,00	291,18	154,01
Dureza Calcica (mg/L CaCO ₃)	2	16	101,64	62,40	124,00	13,19	12,97
Dureza Magnesica (mg/L CaCO ₃)	2	16	38,99	12,00	73,00	17,38	44,58
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	2	16	140,65	78,70	175,00	26,52	18,85
Fosforo Soluble (mg P/L)	2	16	0,22	0,06	2,30	0,43	190,86
Fosforo Total (mg P/L)	2	16	0,27	0,06	3,00	0,54	201,04
Grasas y/o Aceites (mg/L)	2	16	0,34	0,34	0,30	0,00	0,00
Hierro Total (mg/L)	2	16	11,59	0,04	327,00	57,60	497,00
Nitratos (mg N-NO ₃ /L)	2	16	0,28	0,01	1,30	0,33	119,21
Nitrogeno Amoniacal (MG N-NH ₂)	2	16	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00
Nitrogeno Total (mg N/L)	2	16	1,50	1,50	1,50	0,00	0,00
Nitritos (mg-N-NO ₂ /L)	2	16	0,02	0,00	0,30	0,05	264,97
Oxigeno Disuelto (mg/L)	2	16	5,19	1,8	7,8	1,15	22,19
pH	2	16	8,89	5,56	9,7	0,78	8,77
Silicio (mg/L)	2	16	3,36	1,5	27,9	4,7	130,83
Sodio (mg/L)	2	16	2395,41	598	7030	1180,4	48,44
Solidos Disueltos (mg/L)	2	16	6304,88	3129	15020	2381,4	37,77
Solidos Suspendidos (mg/L)	2	16	1056,37	20	31900	5628,4	532,81
Solidos Totales (mg/L)	2	16	7361,25	3220	36100	5755,7	78,19
Sulfatos (mg/L)	2	16	3480,88	1830	7810	955,25	27,4
Temperatura Ambiente (°C)	2	16	17,59	10	25	4,1	23,32
Temperatura del Agua (°C)	2	16	19,28	14	24	1,95	10,14
Tensoactivos (mg/L LAS)	2	16	0,07	0,08	0,1	0	0
Turbiedad (NTU)	2	16	59,85	17,9	1000	172,71	288,55

Nota. Caracterización del agua en dos puntos superiores del Lago Sochagota Tomado de: "desarrollo de una metodología para la gestión ambiental de humedales costeros y continentales sometidos a presiones agrícolas", [En línea]. Disponible: <https://repositoRio.unican.es> [Acceso: octubre 10,2022]

10.5.1 Resultados Del ANOVA

Se estima un intervalo de confianza de **95%** de los datos de la media, mediante la herramienta de Excel para análisis de datos Arrojando los siguientes resultados

Tabla 4*Resultados Del ANOVA para temperatura media*

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	339,2033333	1	339,2033333	185,22	8,8703E-08	4,964602744
Dentro de los grupo:	18,31333333	10	1,831333333			
Total	357,5166667	11				

Nota. Se evidencia los parámetros que se tienen en cuenta para realizar el análisis ANOVA por un factor

Ahora como se puede ver el estadístico (F) calculado por la división entre el promedio de los cuadrados toma un valor de 185,22 mientras que el estadístico de tabla (Valor Crítico para F) para un intervalo de confianza del 95 % toma un valor de 4,96

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si

$$F_0 > F_{Tabla}$$

Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa para la temperatura media del agua del Lago Sochagota con un valor de 14 °C. Una vez realizado el experimento se procede a determinar las condiciones iniciales, teniendo en cuenta que algunos datos serán tomados de teoría. Y se compara con la normativa, donde reportaremos los valores máximos admisibles para cada uno de las variables seleccionadas tal como se ve en la tabla 5

Tabla 5*Condiciones iniciales y comparativa respecto a la resolución 0631*

Variable	Valores Iniciales	Valores Maximos Admisibles	Comparacion con la norma
Temperatura (°c)	14,0	-	
Presion (bar)	1,02	-	
Sulfatos (mg/L)	3486,88	<250 mg SO ₄ /L	Por Arriba de la norma
Sales de sodio (mg/L)	2395,41	<250 mg sal/L	Por Arriba de la norma
Oxigeno (mg/L)	5,19	>4,0 mg O ₂ /L	Dentro de la norma

Nota. Se compara el estado actual del Lago Sochagota con la normativa con el fin de analizar las posibles estrategias de solución al problema

Finalmente, con estos datos, nos disponemos a realizar la aplicación de todas las bases de adaptabilidad al cambio climático, para encontrar tecnologías que permitan reducir la cantidad de sales y sulfatos presentes en el agua, como un incremento en los niveles de OD, para preservar una temperatura media de 14 °C.

11 TECNOLOGÍAS CON POTENCIAL APLICACIÓN DE REMEDIACIÓN DEL LAGO SOCHAGOTA PARA LA REMOCIÓN DE SALES, SULFATOS Y MEJORA DE LA OXIGENACIÓN SEGÚN PRINCIPIOS DE ADAPTACIÓN CLIMÁTICA

En este capítulo aplicaremos todos los principios aprendidos para la adaptabilidad al cambio climático para encontrar tecnologías que permitan remediar las condiciones actuales presentes en el Lago Sochagota empezando por:

11.1 Aplicación de criterios de adaptabilidad al cambio climático 1 y 2 para el Lago Sochagota.

11.1.1 Adaptación Efectiva

En la tabla 6 se ve como se aplicara cada uno de los criterios para la adaptación efectiva para el caso de estudio

Tabla 6

Criterios Establecidos para adaptabilidad efectiva en el Lago Sochagota

Criterio	Aplicación
Definir y comunicar objetivos precisos y/o resultados antes de comenzar.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Encontrar tecnologías que no altere el equilibrio del ecosistema para el Lago Sochagota y así lograr la concentración de OD deseada en rangos mayores a 4,0 mg O₂/L. 2. Disminuir la carga de sales y sulfatos.
Evitar las acciones que descarten o limiten adaptaciones futuras o las acciones de adaptación de los demás.	Se debe encontrar sistemas de aireación móviles con probabilidad de 90% de aplicación, además se debe dejar oportunidad para tratamientos de aguas por métodos convencionales y modificaciones de terreno

Trabajar en colaboración con los tomadores de decisión (Stakeholders).	GENSA, responsables del monitoreo de las compuertas del Sochagota y el Rio Chicamocha en cuestión. Decidirá si las tecnologías son aplicables a la red hídrica
Identificar y comprometer a la comunidad, asegurándose de que está bien informada.	Se deberá imponer sanciones económicas a los hoteles que no modifiquen las redes para que vertimiento no se de en el Lago Sochagota, también se usara los medios de comunicación pertinentes para comunicar campañas de cuidado del Sochagota

Nota. Los criterios permiten dar direccionalidad para encontrar sistemas tecnológicos avanzados para la remediación.

Tabla 7

Criterios Establecidos para adaptabilidad efectiva en el Lago Sochagota
Continuación

Criterio	Aplicación
Entender los riesgos y conocer los umbrales, incluyendo las incertidumbres asociadas.	El lago sochagota al ser cuerpo de agua artificial puede presentar dificultades para adaptarse al cambio climático puesto que estos sistemas no puede aprovechar óptimamente el entorno para la descontaminación natural, también existe una enorme incertidumbre ya que los datos tomados en su mayor parte pueden estar lejos de la realidad lo cual dificulta la remediación
Reconocer el valor de las opciones de adaptación en las que “no hay o hay poco que lamentar” y aquellas “ganar-ganar” en términos del costo-efectividad y de los múltiples beneficios.	Al ser sistemas móviles, con tecnología de última punta, el Lago Sochagota pasaría a ser uno de los principales sitios para actividades turísticas, al contar con aguas más limpias se puede aprovechar mejor en la agroindustria y las compañías extranjeras se interesaran en proyectos como este, dando beneficios económicos en la región y el desarrollo

	sostenible
Revisar la eficacia de los proyectos de adaptación implementados adoptando una perspectiva de mejora continua, re-evaluando los riesgos	Las tecnologías pueden mejorar si se emplea IA para la aireación por zonas permitiendo monitorear las tasas de OD y de temperatura en diferentes puntos, teniendo en cuenta que estos sistemas aún son muy costosos y son sistemas no empleados en materia de tratamiento de aguas, en cuanto a la eficacia las deben haberse ya probado en cuerpos de agua estáticos dulces

Nota. Los criterios permiten dar direccionalidad para encontrar sistemas tecnológicos avanzados para la remediación.

11.1.2 Identificación de medidas adaptativas potenciales o existentes.

En este criterio responderemos preguntas en base a ciertos problemas que pueden afectar la selección de métodos internos y externos; si alguna de estas técnicas no puede ser aplicada, no se podrá lograr la remediación.

Es por ello que seguiremos el programa tomando las mismas preguntas que muchos cuerpos ambientales gubernamentales plantean para seleccionar estrategias o tecnologías para un problema en específico.

Seguido de responder las preguntas para así encontrar tecnologías que pueden ser aplicadas tanto en el Rio Chicamocha como en el Lago Sochagota

Las preguntas son:

¿Qué sucedería en caso de no hacer nada frente al problema del cambio climático (carencia de política pública en la materia)?

Se deberá reformular las técnicas o tecnologías para la adaptación al cambio climático ya que la última conferencia para el cambio climático (COP27) celebrada en Egipto establece que todo país deberá financiar nuevos proyectos para alcanzar el objetivo

propuesto mundialmente en el mejoramiento del efecto invernadero, emisiones, y mitigar el aumento considerable de temperatura

¿Cuáles son los costos de la adaptación?

En Colombia el departamento nacional de planeación estimo en 2020 los costos para diferentes proyectos según el enfoque o la meta que se desee emplear, se ha destinado 53 millones de dólares para proyectos enfocados en la mejora de las cuencas hidrográficas tal como se mira en la figura 21

Figura 21

Costo estimado de diferentes proyectos nacionales en 2020

Codigo	Nombre Corto De La Meta	Millones \$USD			VPN millones de pesos constantes 2020		
		Promedio	Limite Superior	Limite Inferior	Promedio	Limite Superior	Limite Inferior
1	Ambiente:Red de Monitoreo	8,00	9,00	7,00	28.363	28.999	23.726
2	Ambiente: Cuencas Hidrograficas	53,00	58,00	47,00	173.241	191.618	154.865
3.2.1	Transporte:Sistemas de Informacion	1,00	1,00	1,00	2.089	2.298	1.880
3.3	Industria:1	24,00	27,00	22,00	80.142	88.156	72.127
3.4.3	Energia (Proyecto AbE)Sector Electrico 3	65,00	65,00	54,00	212.249	213.789	175.659
3.5.2	Salud (Adaptacion en IPS):2	56,00	61,00	51,00	184.702	201.082	168.322
3.6.3	Vivienda (Tratamiento de Aguas Residuales	792,00	1324,00	514,00	2.598.699	4.344.787	1.686.381
4	Ambiente: Paramos	45,00	55,00	30,00	148.312	180.672	98.110
5.2	Ambiente: Restauracion PNN	47,00	56,00	38,00	153.178	184.343	124.580
7	Agropecuario (Capacidades 10 subsectores)	84,00	70,00	58,00	200.994	230.993	188.995
	TOTAL	1.155	1.727	821	3.788.969	5.666.734	2.694.656

Nota. Comprende todas las implicaciones y dificultades que puede presentar un proyecto de mejoramiento. Tomado de: " Consultoría para desarrollar una metodología para costear las metas de adaptación y evaluar los impactos fiscales del logro de los objetivos actualizados del NDC de Colombia", [En línea]. Disponible: <https://colaboracion.dnp.gov.co> [Accedido el 3 de febrero de 2023].

Dinero repartido en los 32 departamentos dando un promedio de 1,65 millones de dólares por departamento, este es el valor que deberá tener nuestro proyecto ya que un proyecto más costoso será rechazado por cuestiones de presupuesto

¿Qué beneficios se pueden prever con la acción?

El municipio de Paipa recuperara el atractivo turístico del Lago Sochagota, en la comunidad llegara nuevas oportunidades de negocio, llamara la atención de comunidades internacionales que buscan ideas para remediar lagos altamente hipersalinos, lo cual la implementación traerá nuevos contratos ambientales.

Si se recupera este Lago, el turismo incrementará, y el flujo de dinero que tendrá el departamento será mayor, lo que permitirá realizar nuevos proyectos en materia de infraestructura y agronomía, actividades que en 2023 están olvidadas en el municipio.

Si un promedio de 2000 turistas/año llega a visitar Paipa y gastan 1000 dólares en actividades relacionadas al turismo, recreación, hotelería, gastronomía, y otras actividades, ingresarían 2 millones de dólares a las arcas del municipio, amortizando el proyecto y generando ganancias a partir del segundo año una vez que se ponga en marcha

Al ser una solución de largo plazo, el Lago permanecerá en buenas condiciones, lo que reduce el costo de mantenimiento, también regulara termodinámicamente el cuerpo de agua, por lo que no se presentará acumulación de lodos y microalgas

La fauna y las actividades de pesca permanecerán vivos, lo cual representa un beneficio para la comunidad y para las especies no comunes de peces que habitan el Sochagota

¿Cómo se repartirán los beneficios y costos de la adaptación?

Inicialmente los costos serán repartidos entre el gobierno y las empresas que deseen financiar el proyecto. Sin embargo, las campañas de sensibilización, cuidado, reciclaje, y otras campañas donde involucre a la comunidad del municipio. Deberá ser costeadado por el ministerio de ambiente

Las empresas deberán costear los equipos de trabajo necesarios para poner en marcha el proyecto, ya que son actividades que implicaran contratar personal capacitado en administración de recursos, talento humano, gestión ambiental con enfoque en el cambio climático, analistas químicos que permitan caracterizar las variables fisicoquímicas, y equipos de investigación y desarrollo que encuentre las fortalezas y debilidades del proyecto en cuestión

Los beneficios serán recibidos en su totalidad por entidades públicas, ya que ellos son los responsables de mantener en buen estado los ecosistemas, el estado deberá costear uno o más contratos para la ejecución del proyecto beneficiando a las empresas que prestaran servicios.

En este criterio se pone en marcha la investigación de las tecnologías que posiblemente nos permita diseñar procesos; Anteriormente se ha dicho que la remediación de lagos pasa por una serie de múltiples tecnologías tanto en sus cuencas como en el cuerpo de agua que es objeto de estudio.

Para el Lago Sochagota se propone aireadores o sistemas que permitan capturar sales, sulfatos, nutrientes, y minerales, factores que están relacionados con la concentración de oxígeno

Dicho esto, se encontraron 5 tecnologías que cumplen con los principios 1,y 2 Con resultados obtenidos en múltiples escenarios, identificando las principales causas, apeándose a las normativas internacionales, con monitoreo constante y resultados ya obtenidos producto de su aplicación en Diferentes

Dicho esto, procedemos a explicar una a una las técnicas internas que se consideran aptas para su aplicación al Lago Sochagota.

11.1.2.a. Tecnologías potencialmente aplicables al caso de estudio. En esta sección vamos a hablar acerca de nuevas tecnologías para la aireación y tratamiento de aguas residuales, dichas técnicas representan una alternativa al diseño de plantas de aguas residuales convencionales donde los costos son elevados e implican una serie de estudios de la zona donde se va a instalar.

Seguido de esto, vamos a explicar en qué consiste cada uno de estas técnicas y más adelante estudiaremos las posibles aplicaciones al Lago Sochagota

11.1.2.b. Sistema de aireación más agitación. El propósito de la unidad es combinar la agitación y la aireación en una sola unidad portátil. El equipo se instala en una barcaza de 20ft X 8ft X 4ft como para el tratamiento de Lagos y embalses. La acción de agitación se logra conduciendo el agua de la superficie hacia abajo a través de una boquilla Kart a un ritmo de 25.000 galones por minuto. [34]

El oxígeno se introduce en el agua mediante el uso de un soplador de 15 HP que puede proporcionar 500 SCFM (Pies cúbicos estándar por minuto) de aire. El aire se impulsa a través del soplador y se inyecta en la boquilla a través de cuatro 4 paletas de inyección de aire de acero inoxidable. Las paletas están adaptadas al flujo del lavado de la hélice para aumentar la eficiencia del bombeo y mejorar la mezcla del aire y el agua. [34]

En el extremo de descarga de la tobera Kort (hélice + tobera) se encuentran las paletas de aire que se instalan para introducir el aire en el lavado de la hélice a una velocidad de 500 SCFM. La eficacia de la bomba axial y la inyección de aire proporcionan un medio eficaz para mezclar y airear. [34]

Las paletas de la turbina son de acero inoxidable fundido, ASTM A743, grado CF-3. En secciones de treinta pulgadas de largo y son huecas. El grosor de la pared es 0,375 pulgadas. La sección se corta a medida y se rectifica por fuera. El diámetro de los agujeros es de 0,125 pulgadas y hay 42 agujeros en cada una de las cuatro paletas, lo que hace un total de 168 agujeros. [34]

“El aire se suministra a las paletas de chorro a través de cuatro líneas que corren a lo largo de los soportes de la boquilla. La aireación es proporcionada por un soplador de lóbulos de 15 caballos de fuerza que puede producir hasta 500 SCFM a 5 psi. La contrapresión de diseño para un funcionamiento óptimo es de 5 psi. La cantidad de aire inyectado en el agua se basa en la solubilidad del agua y en el caudal”. [34]

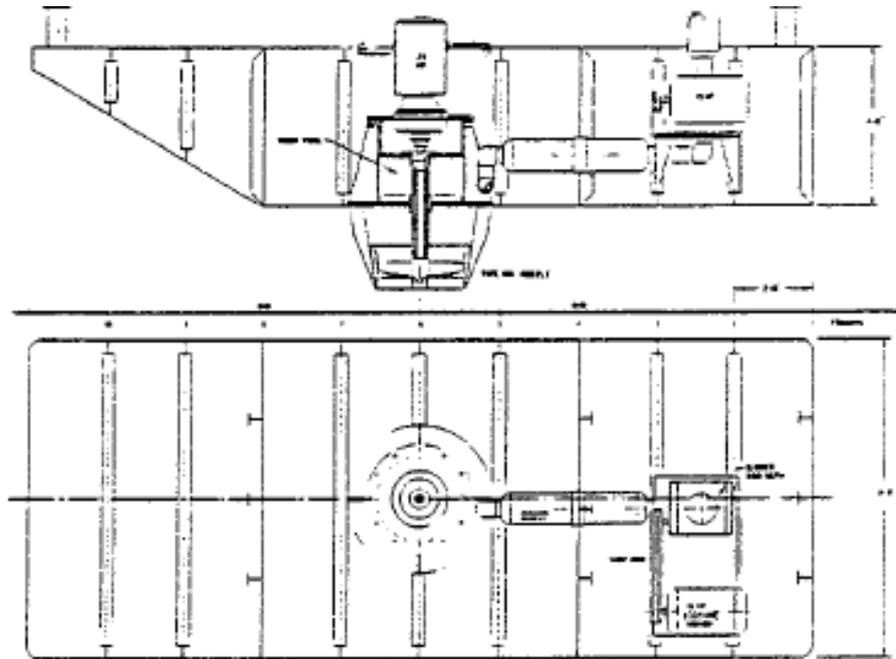
La solubilidad del agua dulce a 60 grados 16 °C es de $8,355 \times 10^{-5}$ lb/gal, y teniendo un caudal de 25000 gal/min podemos concluir que se inyecta 2089 lb/min de aire, el flujo volumétrico recomendado por diseño para el aireador debe estar por encima de 120 SCFM. [34]

“Con respecto al sistema de bombeo. La unidad de consiste en un motor de veinticinco 25 caballos de fuerza y un engranaje planetario que impulsa una hélice en una boquilla. El diámetro de la hélice es de 26 pulgadas. La disposición vertical permite al operador una mayor eficiencia y flexibilidad para agitar y airear masas de agua”. [34]

La unidad de suministro es una unidad de veinticinco caballos de fuerza que se basa en la exitosa tecnología marina. La unidad está diseñada para un periodo de cinco (5) años entre revisiones, basado en un funcionamiento continuo (30.000 horas). La unidad consta de los siguientes equipos:

Figura 22

Esquema sistema de aireación



Nota. Se mira los planos frontales y de perfil creado en el sistema de aireación más agitación donde la tobera kort trabaja en la parte inferior Tomado de: Oxygenation And Agitation Of Lakes Using Proven Marine Technology, Lake and Reservoir Management, 9:1, 102-105, [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/07438149409354736> [Acceso septiembre 13 de 2022]

Actualmente esta tecnología esta aplicada en 15 Lagos de Minnesota y ha permitido durante la temporada de invierno conservar las especies acuáticas, reducir la carga biológica en el Lago y airear sistemas donde la concentración de sales es muy alta (Eutrofización).

11.1.2.c. Tecnología De Estanques Avanzados. Consiste en la modificación del terreno para crear estanques artificiales, cuyo propósito es atrapar aguas residuales, para ser tratadas biológicamente por microorganismos y sistemas de remoción de contaminantes. Los estanques avanzados tienen ventaja sobre los convencionales ya que no se genera molestias por olores, acumulación de lodos, y mala calidad de los vertidos en cuanto a nutrientes y patógenos. [35]

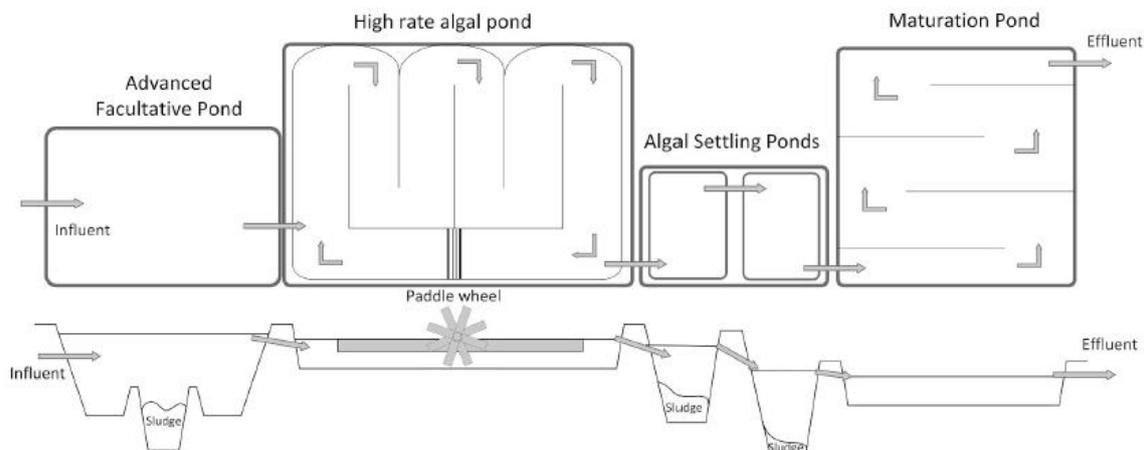
“Los estanques avanzados (AIWPS) se compone de un estanque facultativo avanzado (AFP), un estanque de algas de alta tasa (HRAP), dos estanques de sedimentación de algas (ASP) y un pozo de maduración (MP) Diseñados como un sistema modular, estos estanques pueden instalarse para mejorar los sistemas convencionales existentes en diferentes combinaciones” [35].

«También mejora los niveles de OD y de pH en el agua residual, y facilita la descomposición de sustancias nocivas. El tercer estanque (ASP) tiene como objetivo eliminar la biomasa suspendida de algas y bacterias en el efluente del HRAP mediante la sedimentación. Los ASP se diseñan normalmente con una relación de longitud a anchura de 5:1, con una tubería de entrada situada cerca del fondo del estanque y una salida del vertedero en la superficie». [35]

En la figura 23 podemos ver el esquema de la construcción de este tipo de estanques

Figura 23

Esquema de estanques avanzados para la aireación y tratamiento de aguas



Nota. El sistema dura aproximadamente de 15 a 25 días tomado de: "Municipal wastewater treatment with pond technology: Historical review and future outlook", [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105791> [Acceso: diciembre 4 ,2022].

Este sistema se adapta al cambio climático ya que no se genera emisiones externas de CO₂ u agentes contaminantes que eleve el efecto invernadero, los residuos pueden aprovecharse para múltiples procesos mediante la transformación de biomasa. Finalmente estas tecnologías aprovechan el ecosistema y permite

suministrar agua limpia sin necesidad de emplear equipos.

11.1.2.d. Nanotecnología con ozono. La nanotecnología con Ozono es usada en el tratamiento de aguas contaminadas. Mediante esta tecnología se elimina compuestos inorgánicos y orgánicos, reduce el color, olor, sabor y turbidez de las aguas. Puede también eliminar compuestos farmacéuticos y sustancias tóxicas. [36]

Sus principales ventajas son:

- Es muy eficaz en eliminación de la turbidez.
- Elimina el color y olor en el tratamiento de agua
- Desinfecta el agua potable
- Se utiliza para el tratamiento de aguas residuales y naturales

Elimina una gran cantidad de microorganismos presentes en las aguas contaminadas.

Así como tiene ventajas la nanotecnología con ozono, también tiene sus desventajas

- Se debe tener mucho cuidado al usar ozono porque es corrosivo y tóxico
- Se requiere energía eléctrica.
- La generación de ozono debe de ser generado in situ, ya que es complicado su transporte y almacenamiento.
- En el caso de tratamiento de agua potable, el ozono tiene una vida media de aproximadamente 25 minutos a temperatura ambiente, es por eso que para agua potable se debe de usar cloro.

Las nanoburbujas que se generan con la tecnología tienen una flotabilidad más lenta a la de las burbujas convencionales, llegando a los 0.0001 pies por segundo en comparación a las burbujas estándares que flotan a 0.361 pies por segundo. [36]

Al estar flotando capturan diferentes contaminantes (sólidos) que están suspendidos en la superficie, al ser más lenta su flotabilidad su captura es más efectiva. [36]

En la Figura 24 podemos ver las propiedades fisicoquímicas de unas muestras de agua recolectadas en tres puntos diferentes de la laguna “La Pamba”

Figura 24

Resultados obtenidos antes y después del tratamiento con ozono

Oxígeno Disuelto				
Codigo	OD sin trat	Muestra	Tiempo	OD trat
Muestra 1	1,41 ppm	Muestra 1	5 min	4,77 ppm
			10 min	5,63 ppm
			15 min	6,04 ppm
Muestra 2	1,5 ppm	Muestra 2	5 min	4,67 ppm
			10 min	5,42 ppm
			15 min	6,10 ppm
Muestra 3	1,33	Muestra 3	5 min	4,90 ppm
			10 min	5,70 ppm
			15 min	6,01 ppm

Nota. Muestra los resultados para el oxígeno disuelto iniciales y finales, las muestras cuadruplican su valor de OD en un periodo de tiempo de 15 min con exposición constante de ozono. Tomado de: M. Rodríguez, "Nanotecnología con Ozono para la reducción de Cianobacterias en las aguas de los Humedales de Villa, Chorrillos, Lima 2017", trabajo de grado, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú, 2017. [En línea]. Tomado de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/21259> [Acceso noviembre 11,2022]

Dicha técnica presenta adaptabilidad al cambio climático si se realiza la técnica en ambientes controlados in situ, no obstante, se ha visto que la DBO y la DQO se reducen en 85% y es directamente proporcional a la disminución del crecimiento de cianobacterias de la laguna la pamba, y por ser ozono se genera efecto invernadero en la atmosfera.

11.1.2.e. Proyecto Morikawa. Un proyecto que busca recuperar cualquier tipo de cuerpo de agua dulce, ya sea estático como Lagos y lagunas, o dinámicos como ríos, quebradas, fuentes entre otros. Sin importar su tamaño, o que tan contaminado esta un cuerpo de agua. El sistema de MNBs costa de un generador eléctrico, una aspiradora, una bomba y un compresor para inyectar aire desde una plataforma empleando un sistema de varillas de acero inoxidable situadas a un metro de altura en relación al Humedal

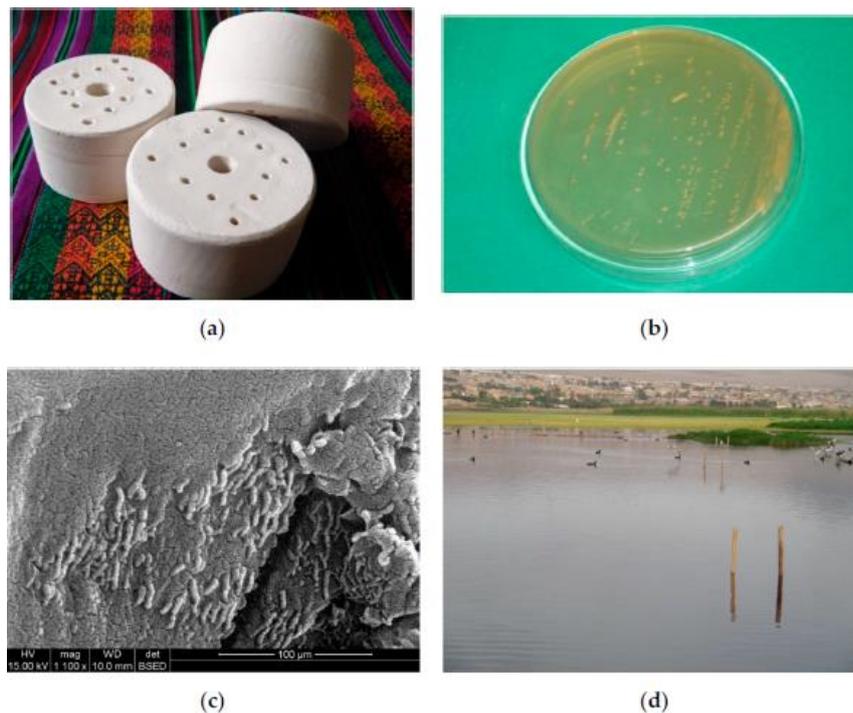
Se utilizó la bacteria *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014, adquirida en la JCM (Japan

Collection of Microorganisms), el material de los biofiltros empleados fue la arcilla moldeada a 600 °C. [36] Una vez que prospera el microorganismo se instala el bicho dentro del filtro de arcilla y se empleó el biofiltro en el humedal. [37]

La figura 24 muestra las partes que componen los biofiltros.

Figura 25

Partes del biofiltro



Nota. a) Biofiltro fabricado con forma cilíndrica de cerámica; b) *Lactobacillus plantarum* ATCC8014 en medio MRS; (c) imagen del microscopio electrónico de barrido (SEM) del *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014 inmovilizado en un soporte cerámico; (d) imagen del biofiltro de los Humedales del Cascajo, colocado con el eucalipto adherido. Tomado de: "Innovative Feasibility Study for the Reclamation of the Cascajo Wetlands in Peru Utilizing Sustainable Technologies", [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/w12041097> [Acceso diciembre 4, 2022].

El científico Marino Morikawa cuenta con una compañía que se dedica a brindarle soluciones adaptativas al cambio climático para cualquier agua residual. A través de su compañía llamada "TTT Grupo Morikawa" cualquier persona puede adquirir sus servicios para la oxigenación entre otros métodos de punta con base a la investigación. La figura 26 muestra los niveles iniciales de algunos parámetros analizados en el humedal

Figura 26

Valores iniciales medidos en el Humedal

pH	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Nitrogeno total (mg/L)	Fosforo total (mg/L)
8,9	1295,30	547,80	161,60	10,30
8,7	1131,00	535,30	154,40	9,70
7,6	428,4	168,20	89,50	5,10
7,6	304,60	103,10	75,60	4,80
7,5	70,80	31,70	18,60	2,10
7,4	66,10	29,30	16,20	1,90

Nota. El nivel de eutrofización ALTOTomado de: "Innovative Feasibility Study for the Reclamation of the Cascajo Wetlands in Peru Utilizing Sustainable Technologies", Water, [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/w12041097> [Acceso: diciembre 4,2022.]

Con el tratamiento de CBBFs y MNBs durante 13 meses, se observó la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda biológica de oxígeno (DBO), el nitrógeno total (TN) y el fosfato total (TP) en la masa de agua, mostrando porcentajes de eliminación del 98,5%, 97,5%, 98,1%, 98,5% y 94,6%, respectivamente como se ve en la figura 27

Figura 27

Valores finales medidos en el Humedal

pH	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Nitrogeno total (mg/L)	Fosforo total (mg/L)
8,0	72,60	34,60	31,70	2,30
7,6	68,70	30,30	26,20	2,00
7,7	64,30	27,20	21,90	1,70
7,6	58,40	24,20	18,60	1,50
7,6	49,70	19,70	15,70	1,30
7,6	36,80	16,70	12,40	1,00
7,5	30,00	15,00	9,70	0,80
7,6	23,40	13,90	7,60	0,70

Nota: Los niveles del humedal han alcanzado casi el 100% de recuperación en agosto del 2012, nótese que inclusive los valores medios de fosforo total presente llega a ser una décima parte de la medición inicial, Tomado de: "Innovative Feasibility Study for the Reclamation of the Cascajo Wetlands in Peru Utilizing Sustainable Technologies", Water, [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/w12041097> [Acceso: diciembre 4,2022].

En relación a las oportunidades con adaptación al cambio climático, este proyecto

reúne todas las estrategias vistas anteriormente para ser una solución implementada a nuestro caso de estudio que es el Lago Sochagota.

Por ultimo las especificaciones de los equipos del sistema micronanoburbujeo empleados en el humedal lo encontraremos en el **ANEXO 1**.

11.1.2.f. Difusores de circulación con LEDs. Consiste de uno o más varios tubos de PVC verticales y horizontales, bomba de aire, portadores de oxidación y LEDs. El flujo se genera mediante burbujas de aire que suben verticalmente por la columna de agua. Con tasas de aireación de 40 y 135 L/min. [38]

“El tubo cuenta con un diámetro nominal de 1,5 cm de ahí se fija una roca oxidante En la salida de aire de la bomba sumergida a 30 cm del estanque, con respecto al largo de los tubos se usaron longitudes de 2 m para conectar los tubos horizontales y verticales ajustándolo a la profundidad requerida”. [38]

La entrada de agua se realizó desde el extremo opuesto de la tubería horizontal. La longitud de los tubos horizontales utilizados fue aproximadamente de 1,5 m. Como roca de oxidación se usaron partículas de vidrio de baja densidad compuestas por sílice para evitar la formación de radicales de nitrógeno y fosforo en el fondo del tanque. [38]

La porosidad ($> 0,6$) de las partículas aumenta la superficie, que a su vez favorece el desarrollo de la biopelícula. Las partículas también fueron seleccionadas para su buena transmisión de la luz. [38]

Cuenta con luces LED en colores rojo y azul de 10mm de ancho resistentes al agua y se encuentran distanciadas 17 mm entre cada unidad, poseen longitudes de onda entre 460 nm y 500 nm para la luz azul, y para la luz roja longitudes de onda entre 610 nm y 640 nm con una intensidad de luz en rangos entre $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ y $120 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. [38] la tabla 8 reporta las condiciones del agua en el estudio

Tabla 8

Valores iniciales reportados en el estanque del parque Zhongshan

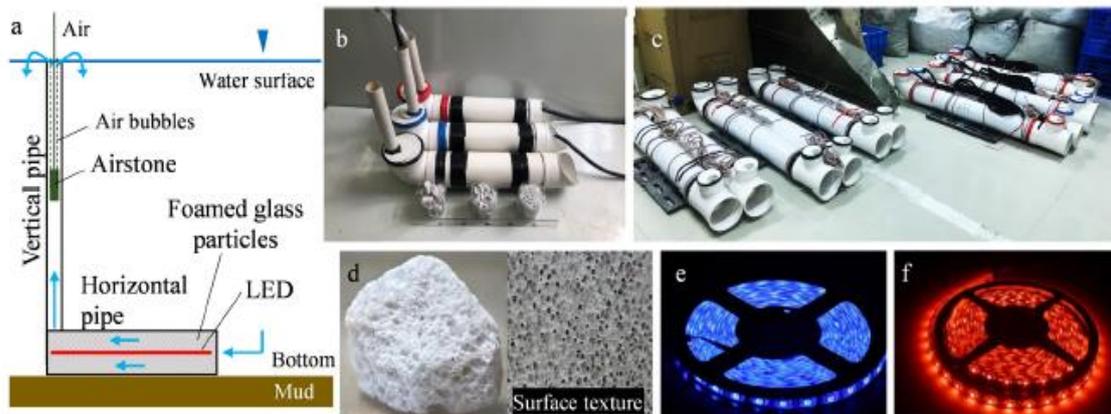
Parámetro Físicoquímico	Valor Aproximado Reportado
Conductividad Eléctrica	430 $\mu\text{s/cm}$ - 465 $\mu\text{s/cm}$
Nitrógeno Total	6,59 mg/L - 8,59 mg/L
Fosforo Total	0,41mg/L – 0,50 mg/L
Oxígeno Disuelto	6,0 mg/L – 10,0 mg/L
pH	7,80 – 8,30

Nota. Análisis físicoquímico del lago chino. Tomado de: Improvement of water quality using a circulation device equipped with oxidation carriers and light emitting diodes in eutrophic pond mesocosms", Journal of Environmental Chemical Engineering, vol. 9, n.º 2, p. 105075, abril de 2021.. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105075> [Accedido el 4 de noviembre de 2022]

Las partes que conforman el esquema lo podemos visualizar en la figura 28

Figura 28

Partes que conforman el difusor, ensamble y funcionamiento



Nota. Vista completa y elementos del dispositivo de circulación de agua. Esquema de la circulación del agua (a), tubos horizontales utilizados en el laboratorio (b) y en el campo (c), una partícula de vidrio espumado de vidrio espumado (d), y los LEDs azul y rojo (e y f, respectivamente). Tomado de: Improvement of water quality using a circulation device equipped with oxidation carriers and light emitting diodes in eutrophic pond mesocosms", [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105075> [Accedido el 4 de noviembre de 2022]

Los resultados en el estudio demostraron un aumento considerable en del oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH, donde inicialmente se recogieron muestras de agua del estanque y se puso el dispositivo por intervalos intermitentes de tiempo

El experimento en el día 28 se evidencio grandes incrementos usando luz azul como fuente el nivel de OD incremento a un valor de 7mg/L el nivel de nitrógeno total quedo en valores cercanos a 5,68 mg/L, no presenta variaciones significativamente estadísticas para el nivel de fosforo total.

11.2 Aplicación de criterio 3 de adaptabilidad al cambio climático para el Lago Sochagota

➤ Definición del problema.

El Lago Sochagota genera estados de hipoxia en sus profundidades, el estado actual indica una liberación de gases tóxicos, lo cual emana olores no deseados en el municipio afectando la salud humana y los peces que habitan en el

➤ Identificación de las causas del problema.

Altos contenidos de minerales como sodio, sulfatos provenientes de actividad geotérmica, una sobresaturación del oxígeno disuelto por aumento de temperatura y el crecimiento de especies microbianas.

➤ Identificación y articulación de la respuesta normativa.

Se realiza el modelamiento y simulación de las propuestas de diseño con el fin de emplear los equipos necesarios para llevar a cabo los diferentes procesos asociados a la oxigenación, reducción de sales y eliminación de sulfatos.

➤ Identificación de barreras.

Dificulta una solución a largo plazo la actividad geotérmica ya que la red hídrica de Paipa contiene aguas termominerales, lo cual incrementa la cantidad de minerales y

compuestos que favorecen el desarrollo microbiano

- Formular los resultados esperados.

Concentraciones de Oxígeno Disuelto en rangos entre 4,5 y 10 mg/L, Temperatura promedio de 15 °C, reducir el contenido de sulfatos totales en el sistema a 400 mg/L, y remover sodio según estatutos legales colombianos

- Revisar los primeros cinco pasos.

Una vez implementada las tecnologías se realizará el monitoreo y seguimiento cada trimestre, ya que este periodo permitirá medir las variables en función de las épocas que se dan en Paipa

Realizado los cinco pasos procederemos a explicar las propuestas, empleando el ASPEN PLUS V.10 para el modelamiento de los diseños propuestos.

Los modelos termodinámicos seleccionados se justifican en el algoritmo de carlson (**ANEXO 2**). Para sistemas electrolíticos cuya disociación está presente en líquidos no ideales. Finalmente, para realizar nuestros diseños partiremos de algunas suposiciones dadas a continuación

Suposiciones

- Los equipos operaran a condiciones estándar de temperatura y presión (1 bar, 20 °C)
- Las sales predominantes en las aguas del Lago Sochagota y del Rio Chicamocha son sulfatos, sulfato de sodio, y sulfato de magnesio.
- La dextrosa será el sustrato en la propuesta 4
- La corriente de alimentación "F" tendrá NaOH al 10% p/p en la propuesta 2
- Las válvulas utilizadas serán tomadas de fabricantes
- El caudal de diseño para las propuestas será de 24L/S
- La densidad del agua será 1000 kg/m³
- Se desprecia la formación de solidos suspendidos y lodos.

- La temperatura de diseño será de 14 °C
- La cantidad de magnesio es la misma que la cantidad de sodio

Dicho esto, se procede a definir las propuestas de diseño

PROPUESTA 1

La propuesta consiste en emplear una serie de Reactores que permiten captar la mayor cantidad oxígeno contenido en las muestras de agua. En la tabla 9 podemos las condiciones de la corriente de alimentación (Que en este caso será agua termomineral)

El primer reactor es de tipo RSTOIC que nos permite ambientar únicamente las reacciones que lleven a cabo un proceso despreciando la cinética. Se puede decir que estos sistemas son ideales ya que necesita pocas variables para ser recreado de la manera correcta,

Se emplea la recuperación de los iones sulfato empleando ácido sulfúrico para obtener la disociación de sus iones en el agua a tratar y así escenificar un tratamiento secundario que permita atrapar de una mejor forma los sulfatos que están presentes en el agua termomineral del Lago Sochagota

Tabla 9

Datos iniciales PROPUESTA 1

Variable	Datos Iniciales
Temperatura (°C)	14,00
Presión (bar)	1,00
Oxígeno (Kg/h)	0,45
Sulfatos (Kg/h)	301,26
Sodio (Kg/h)	206,96
Agua (Kg/h)	85891,33

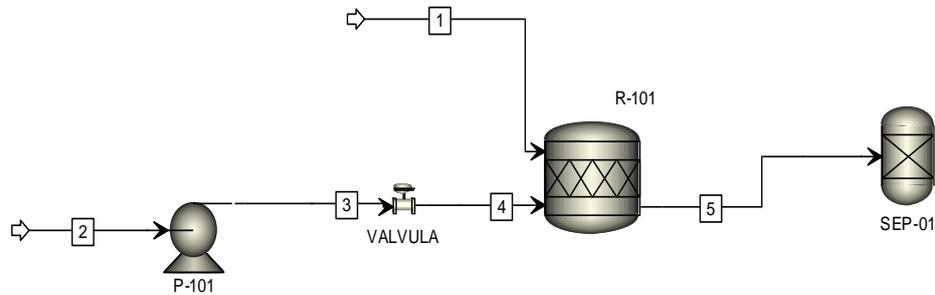
Nota. Condiciones iniciales para la propuesta 1 en la simulación

Las reacciones puestas en el reactor R-101 estarán junto a los cálculos y ecuaciones

complementarias en el **(ANEXO 3)** el esquema del diseño lo podemos apreciar en la figura 29

Figura 29

Esquema de diseño PROPUESTA 1



Nota. Comprende el sistema de eliminación de sales mediante la adición de ácido sulfúrico

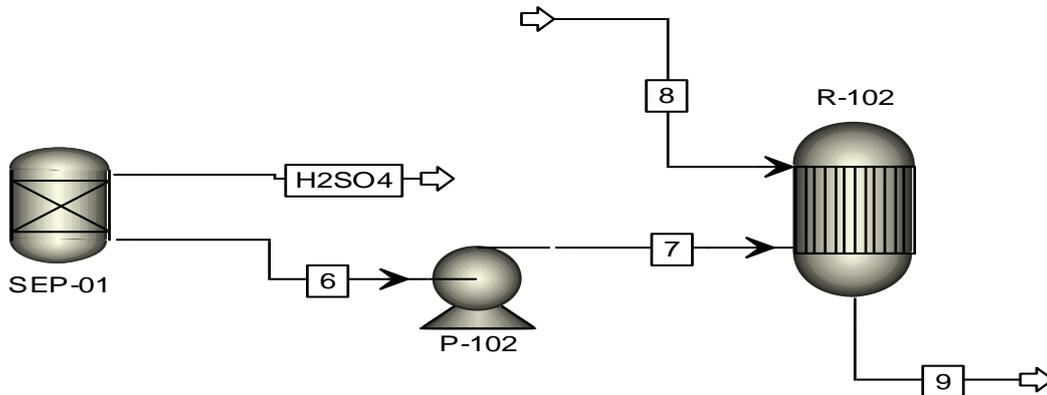
Obtenido el ácido sulfúrico, se dispone a emplear un separador SEP.01 que permite separar por densidades las fases líquidas presentes en la corriente de salida del reactor R-101

Una vez empleada la separación, se procede a la oxigenación del agua residual mediante el bombeo de peróxido de hidrogeno, ya que este compuesto se desintegra con facilidad en agua y oxígeno aprovechado por la corriente agua libre de ácido

Al igual que el reactor anterior se emplea un reactor ideal RSTOIC para simular la oxigenación, la reacción que ocurre en el reactor R-102 es la siguiente

Figura 30

Esquema inicial PROPUESTA 1 Continuación



Nota. Comprende el sistema de eliminación de sales mediante la adición de ácido sulfúrico

PROPUESTA 2

Se propone emplear las corrientes de vapor provenientes del Rio Chicamocha para empleando un intercambiador de calor E-101 para aprovechar el calor latente de proceso y alimentar nuestra corriente de agua del Sochagota denominada con la letra F; Dicha corriente tendrá una décima parte de hidróxido de sodio en su mezcla.

Las condiciones iniciales para la corriente de alimentación en base a las suposiciones realizadas están reportadas en la tabla 10

Tabla 10

Datos iniciales PROPUESTA 2

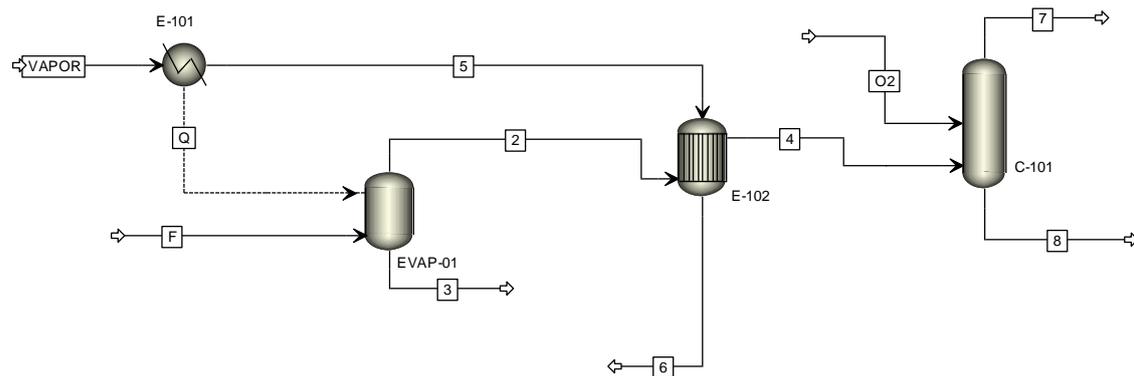
Variable	Datos Iniciales
Temperatura (°C)	14,00
Presion (bar)	1,00
Oxigeno (Kg/h)	0,45
Sulfatos (Kg/h)	301,26
Sodio (Kg/h)	206,96
Agua (Kg/h)	77302,20
NaOH	8519,13

Nota. Condiciones iniciales para la propuesta 2 en la simulación

Esto con el fin de generar sulfato de sodio una sal sólida que será recuperada en un flash que para nuestro caso representara un evaporador EVAP.01; El agua del Lago y el condensado proveniente del intercambiador E-101 será aprovechado en un intercambiador de tubos y coraza E-102.cómo en se aprecia en la figura 31

Figura 31

Esquema de diseño PROPUESTA 2



Nota. Se evidencia toda la etapa de diseño tanto en la línea de separación como en la línea de absorción

El propósito es enfriar nuevamente la corriente de agua proveniente del evaporador para finalmente oxigenar usando oxígeno como solvente en una columna de absorción C-101 para concentrar el oxígeno que está presente en el agua

La columna cuenta con 10 etapas sin rehervidor ni condensador, para aprovechar la transferencia de masa únicamente entre el sistema agua-oxígeno, finalmente el producto obtenido es un líquido rico en oxígeno y el gas empleado puede ser recirculado y enfriado las veces que sean necesario.

PROPUESTA 3

Se propone simular un tanque de intercambio iónico empleando un reactor que actuará como un tratamiento secundario donde la aireación removerá, bacterias, sulfatos, y reducir el contenido de minerales que afectan la concentración de oxígeno disuelto como lo es el magnesio en la tabla 11 podemos apreciar las condiciones iniciales para la simulación

Tabla 11

Datos iniciales PROPUESTA 3

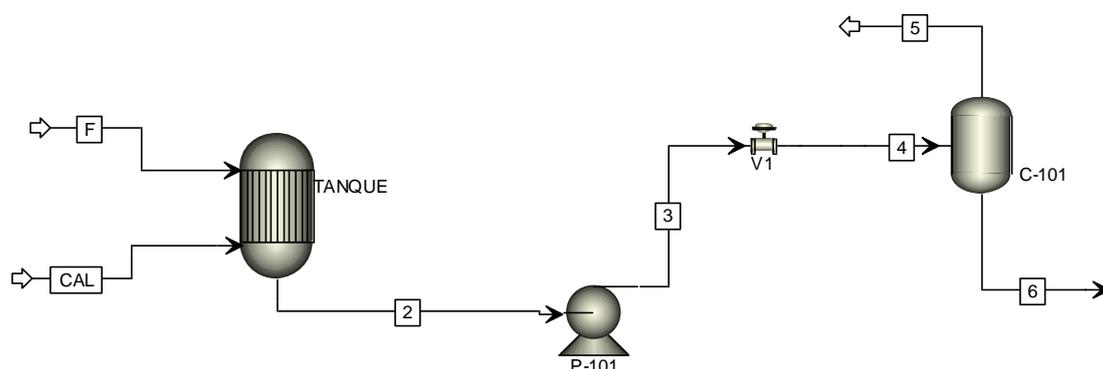
Variable	Datos Iniciales
Temperatura (°C)	14,00
Presion (bar)	1,00
Oxigeno (Kg/h)	0,45
Sulfatos (Kg/h)	301,26
Magnesio (Kg/h)	206,96
Agua (Kg/h)	85891,33

Nota. Condiciones iniciales para la propuesta 3 en la simulación

En la figura 32 podemos ver la fase de remoción de sales usando cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

Figura 32

Esquema de diseño PROPUESTA 3



Nota. Se evidencia la etapa de remoción de sales y metales mediante cal hidratada, bombeo y separación del yeso realizado en el flash

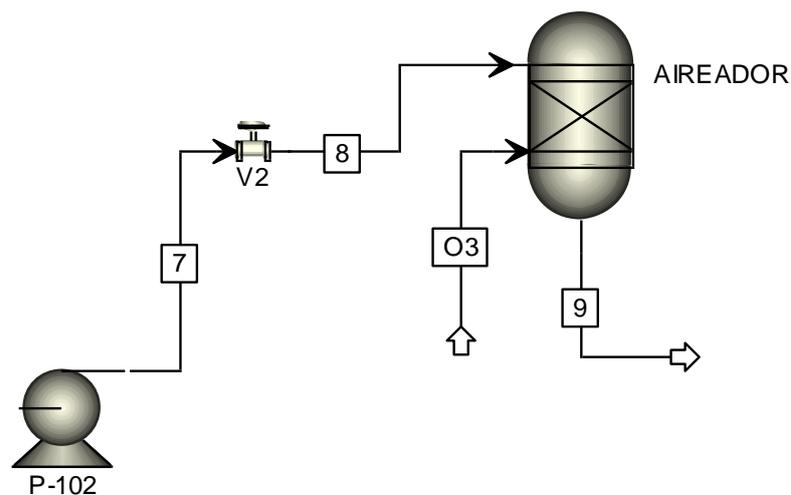
Se producirá sal en forma de yeso por lo que se deberá emplear una separación de dos líquidos, para ello el método más recomendado es emplear una separación flash representado como C-101. Gracias a la bomba se puede transportar la mezcla, y el control de la válvula evita problemas hidráulicos en el flash por posible acumulación de sal.

En este caso se emplea cal hidratada para el tratamiento en el tanque usando las siguientes reacciones para la remoción de sales, minerales y sulfatos

Se emplea la separación junto con la remoción de sales y minerales, por último, se emplea ozono para la aireación del agua, ya hemos visto anteriormente que la tecnología con nanoburbujas de ozono representa una oportunidad de innovación como se ve en la figura 33.

Figura 33

Esquema de diseño PROPUESTA 3 Continuación



Nota. Se realiza la aireación y oxigenación mediante Ozono

El resultado obtenido es bueno en función de la relación costo/producto, a pesar de ser un gran contaminante, podemos ver este diseño como una oportunidad para capturar ozono y tratar aguas con bajos niveles de OD

PROPUESTA 4

Consiste en emplear intercambio iónico mediante una celda de combustible microbiana tipo PEM, para remover la carga de sales aprovechando una gran cantidad de microorganismos acumulados en los efluentes del Sochagota y del Chicamocho

Una celda de combustible PEM consiste en dos cámaras (ánodo y cátodo) donde un inóculo aprovecha distintos sustratos para generar dióxido de carbono y agua.

La dextrosa produce más energía que algunos carbohidratos comunes, y es por ello que es recomendable emplear azúcares donde el microorganismo empleado tenga un mejor rendimiento de biomasa/sustrato.

En Aspen se representará la celda mediante un reactor donde podamos modelar dicha celda de combustible. Algunos parámetros de diseño de la celda estarán en el **(ANEXO 3)**. Los datos iniciales de la corriente de alimentación los podemos ver reportados en la tabla 12

Tabla 12

Datos iniciales PROPUESTA 4

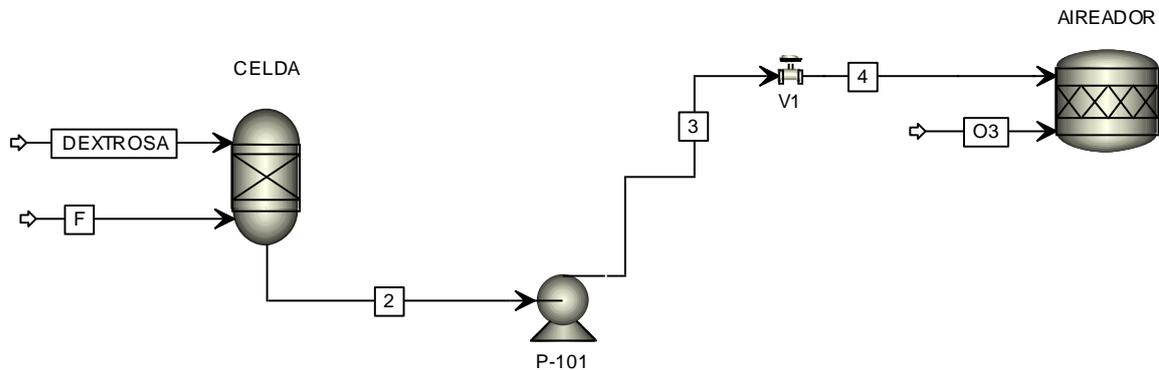
Variable	Datos Iniciales
Temperatura (°C)	14,00
Presión (bar)	1,00
Oxígeno (Kg/h)	0,45
Sulfatos (Kg/h)	301,26
Sodio (Kg/h)	206,96
Agua (Kg/h)	85891,33

Nota. Condiciones iniciales para la propuesta 4 en la simulación

El agua con las sales removidas se bombea nuevamente a un aireador de ozono tal como se realizó en la propuesta 3 el ozono se degradará en moléculas de oxígeno para oxigenar aguas ya sean provenientes del Lago Sochagota o del Río Chicamocha en su defecto

Figura 34

Esquema de diseño PROPUESTA 4

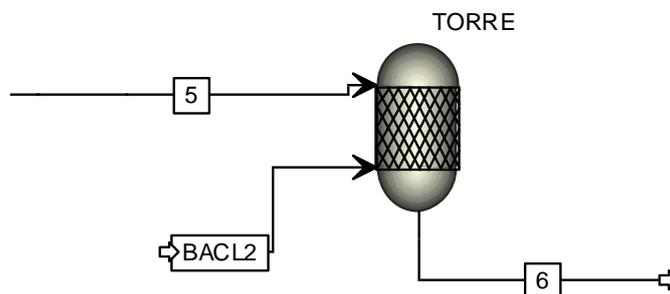


Nota. Se evidencia la primera etapa de diseño que es la oxigenación de agua mediante tratamiento biológico más aireación

Finalmente se propone un intercambio iónico mediante electrodesionización en una torre de intercambio iónico que es representada por un reactor RGIBBS, en el una corriente de cloruro de bario ($BaCl_2$) alimentará a nuestra agua ya oxigenada para remover por afinidad con los iones cloruro el sodio y lo mismo hará los iones de bario. Tal como se aprecia en la figura 35

Figura 35

*Esquema de diseño PROPUESTA 4
continuación*



Nota. Se propone realizar intercambio iónico por adición de cloruro de bario para la oxigenación liberando el ion de la sal de sodio

En esta etapa podemos decidir si empleamos una operación unitaria para la remoción

de la sal de sulfato, pero en nuestro caso nosotros no haremos por cuestiones de ahorro, además de que el sulfato de sodio hidratado se puede comercializar por lo que se considerara mejor un almacenamiento

Ya planteado nuestra serie de propuestas se aplicará en su totalidad el cuarto criterio que es el que nos permite evaluar las ventajas y desventajas de cada tecnología. No obstante, cabe decir que para la remediación se escogerá más de una propuesta dada en este criterio.

Los balances de masa y energía de cada proceso estarán en el **ANEXO 4**. como también los criterios de diseño realizados para equipos que no son idealizados, por ejemplo, las columnas de absorción, intercambiadores de calor de tubos y coraza, y bombas

11.3 Aplicación de criterio 4 de adaptabilidad al cambio climático para el Lago Sochagota

Dicho esto, se procede aplicar todos los ítems del último principio para las cuatro propuestas de diseño, y concluir con una tabla comparativa donde se relaciona la cantidad de ítems cumplidos del criterio

Los ítems a analizar según nuestra investigación son:

11.3.1 *Pertinencia o relevancia.*

Comprende un análisis de resultados minucioso en calidad de cumplir los dos objetivos propuestos en el criterio 1 aplicado a las estrategias para la adaptabilidad al cambio climático dichos objetivos fueron los siguientes:

- ✓ “Encontrar sistemas de aireación que no perturbe el ecosistema del municipio para el Lago Sochagota y así lograr la concentración de OD deseada en rangos mayores a 4,0 mg O₂/L.”
- ✓ “Disminuir la carga de sales y sulfatos”.

Ahora construiremos los análisis de resultados a través de tablas comparando los valores arrojados por el estudio, valores máximos dados por la norma y los resultados obtenidos en el simulador para el oxígeno disuelto, sulfatos y sodio total

Para la PROPUESTA 1 de diseño se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 13

Resultados Obtenidos de la propuesta 1

PROPUESTA 1				Comparacion con la norma
Parametro	Valor Inicial	Valor Final	Valor Norma	
Oxigeno Disuelto (mg O ₂ /L)	5,19	4,78	4,0	Por arriba de la norma
Sulfatos (mg SO ₄ ⁻² /L)	3486,68	853,70	250	Por arriba de la norma
Sodio Total (mg/L)	2395,41	2032,10	250	Por arriba de la norma

Nota. Para pasar los datos de la simulación a mg/L se debe expresar el flujo masico en mg/s y dividir entre el caudal de diseño que es de 24 L/s, no cumple con los resultados deseado ya que esta muy por arriba de los valores máximos admisibles para el agua

Ahora para la PROPUESTA 2 de diseño se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 14

Resultados Obtenidos de la propuesta 2

PROPUESTA 2				Comparacion con la norma
Parametro	Valor Inicial	Valor Final	Valor Norma	
Oxigeno Disuelto (mg O ₂ /L)	5,19	8,68	4,0	Por arriba de la norma
Sulfatos (mg SO ₄ ⁻² /L)	3486,68	90,62	250	Por debajo de la norma
Sodio Total (mg/L)	2395,41	164,37	250	Por debajo de la norma

Nota. Para pasar los datos de la simulación a mg/L se debe expresar el flujo másico en mg/s y dividir entre el caudal de diseño que es de 24 L/s, Los niveles de sodio reportados no cumplen con la normativa mientras se ve una mejoría en la reducción de sulfatos por evaporación

Para la PROPUESTA 3 de diseño se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 15*Resultados Obtenidos de la propuesta 3*

PROPUESTA 3				Comparacion con la norma
Parametro	Valor Inicial	Valor Final	Valor Norma	
Oxigeno Disuelto (mg O ₂ /L)	5,19	9,26	4,0	Por arriba de la norma
Sulfatos (mg SO ₄ ⁻² /L)	3486,68	38,90	250	Por debajo de la norma
Magnesio total	2395,41	26,24	250	Por debajo de la norma

Nota. Para pasar los datos de la simulación a mg/L se debe expresar el flujo másico en mg/s y dividir entre el caudal de diseño que es de 24 L/s, La estrategia cumple con la remoción y oxigenación efectivas ya que los valores están dentro de la norma

Para la PROPUESTA 4 de diseño se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 16*Resultados Obtenidos de la propuesta 4*

PROPUESTA 3				Comparacion con la norma
Parametro	Valor Inicial	Valor Final	Valor Norma	
Oxigeno Disuelto (mg O ₂ /L)	5,19	9,26	4,6	Por arriba de la norma
Sulfatos (mg SO ₄ ⁻² /L)	3486,68	38,90	17,0	Por debajo de la norma
Magnesio total	2395,41	26,24	20,34	Por debajo de la norma

Nota. Para pasar los datos de la simulación a mg/L se debe expresar el flujo másico en mg/s y dividir entre el caudal de diseño que es de 24 L/s, La propuesta presenta la mejor remoción de sulfatos y sales sin usar reactivos químicos, no obstante, esta propuesta sigue siendo alta económicamente

En este caso todas las propuestas menos la propuesta 1 cumplen con la remoción efectiva de sulfatos propuestos y la oxigenación

11.3.2 Impacto

“Deberá tener efectos de largo plazo positivos. Desafortunadamente también habrá efectos negativos, primarios y secundarios, producidos directa o indirectamente por

dicha medida, intencionalmente o no”.

En este ítem únicamente hablaremos de las ventajas y desventajas que se puede generar a largo plazo deben ser principales y secundarias que pueden ser causadas por perturbaciones intencionales o no

Ahora discutiremos las ventajas y desventajas de cada uno.

Ventajas y Desventajas de la PROPUESTA 1

La principal ventaja a largo plazo es la factibilidad de adquirir los solventes ya que el peróxido de hidrogeno y el ácido sulfúrico tienen una alta oferta en el mercado colombiano, ahorrando posibles costos que subyacen de emplear otros solventes para remoción de sales, también se puede aprovechar el calor emanado de la reacción para acondicionar equipos como intercambiadores de calor o calderas.

La ventaja secundaria es que es un proceso donde no se necesitan muchos equipos, lo cual también permite su instalación en la red geotérmica de Paipa. Al ser un sistema reactivo podemos monitorear más de una variable para la adaptación al cambio climático y puede ser replicado tanto en el Rio Chicamocha como a la entrada del Lago Sochagota.

Como principal desventaja es el posible aumento de sulfatos en el agua y en suelo deteriorando más la condición de dichos cuerpos de agua, causando el efecto contrario deseado que es un impacto asociado al cambio climático y desoxigenación por sulfatos y subproductos relacionados al mismo.

Como desventaja secundaria es la seguridad de la planta ya que se ha evidenciado que el contacto de ácido sulfúrico con el agua puede desembocar peligros asociados a la reactividad, y al control de los procesos en sistemas reactivos.

Ventajas y Desventajas de la PROPUESTA 2

La principal ventaja a largo plazo es la vida útil del proceso como su grado de adaptabilidad, ya que no necesita emplear sustancias nocivas para la remoción y

oxigenación del cuerpo de agua, si se llega a emplear sería la propuesta más sostenible ya que aprovecha la temperatura para generar procesos limpios.

Por otro lado, la principal desventaja será en el aspecto económico ya que las torres de absorción son de los equipos más costosos en la industria, además, al emplear oxígeno aumenta el costo operativo de la planta ya que en el municipio de Paipa no es viable traer grandes cantidades de oxígeno, y un proceso de generación de este gas sigue siendo muy costoso

Ventajas y desventajas de la PROPUESTA 3

La principal ventaja a largo plazo será en el aspecto biológico ya que el ozono en nanoburbujas en la actualidad se está empleando para la remoción de microorganismos en lagos hipersalinos, consecuencia de ello es la purificación del agua y altos porcentajes de oxigenación favoreciendo la biota acuática del Lago Sochagota

Como ventaja secundaria es que ataca uno de los principales compuestos emitidos a la atmósfera causando enormes efectos invernaderos como lo es el ozono, también son equipos que son más económicos y en materia ambiental la cal hidratada puede remover mejor algunos minerales

La principal desventaja siendo la factibilidad ya que únicamente se ha empleado el proceso a nivel laboratorio lo cual dificulta la implementación de este proceso a gran escala

La desventaja secundaria será que se sigue emitiendo ozono a la atmósfera lo cual seguirá siendo uno de los grandes problemas que se plantea en este proceso.

Ventajas y desventajas de la PROPUESTA 4

Una de las principales ventajas que tiene esta propuesta es que emplea sistemas que no inmóviles, es decir dicha propuesta puede ser trasladada de un punto a otro sin la necesidad de generar costos, a nivel social al emplearse un aireador ya sea por

agitación o por nanoburbujeo de oxígeno representara un mayor interés en la participación

La ventaja secundaria es la adaptabilidad ya que en dicha materia reúne casi todas las características necesarias para procesos efectivos. Posee un aprovechamiento de biomasa y las emisiones de CO₂ y de sulfato de sodio son menos perjudiciales en el efecto invernadero

Las desventajas tanto principales como secundarias de este proceso siguen siendo mismas que la de la PROPUESTA 3, sin embargo esta propuesta al incluir un tratamiento biológico como lo es la celda PEM tiene un plus añadido y es la remoción iónica empleando agentes sin emisiones de CO₂

Este ítem lo puntuara las propuestas 2 y 3 ya que son propuestas que al ser menos efectivas en la remoción y oxigenación, son las que menos desventajas posee frente a las otras propuestas

11.3.3 Monitoreo y Evaluación.

“El proyecto de adaptación debe considerar una propuesta para su monitoreo y evaluación, que incluya indicadores estratégicos de impacto enfocados en su cumplimiento y efectividad”

En este ítem proponemos algunas estrategias para el monitoreo y evaluación de las cuatro propuestas solo así se verá si se puede emplear o recomendar.

Cabe decir que para este ítem todas las propuestas cumplen con la etapa de monitoreo ya que propondremos análisis de sensibilidad por medio del simulador lo cual permitirá optimizar los procesos y aumentar la confiabilidad los mismos. A su vez permite monitorear el comportamiento de una o más variables para optimizar los procesos propuestos

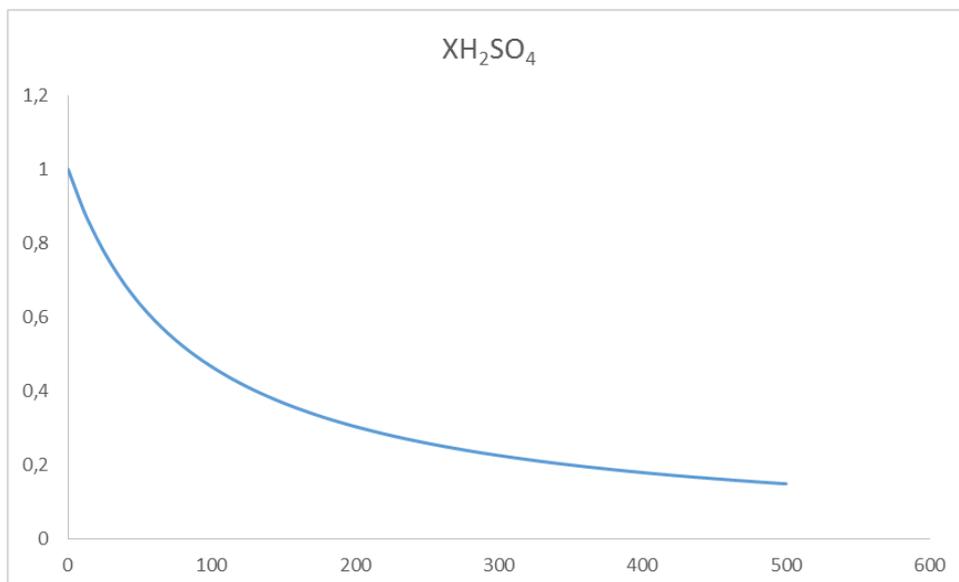
Estrategia monitoreo y evaluación PROPUESTA 1

Como hemos visto el ácido sulfúrico juega un papel fundamental en el proceso ya que un exceso de este mismo podría causar daños a los cuerpos de agua y es por ello que se plantea encontrar el flujo molar óptimo para convertir el 94% de H_2SO_4 , cosa que el restante sea separado

Con la herramienta de análisis de sensibilidad de ASPEN PLUS V.10 se procede a encontrar los datos para posteriormente tabular los datos en Excel. Una vez realizado se grafica el comportamiento tal como se ven la figura 36

Figura 36

Perfil de fracción másica másico para el ácido sulfúrico en el reactor



Nota. Se puede evidenciar como se consume el flujo masico de ácido sulfúrico a media que la liberación de iones sulfato permitirá atrapar por afinidad iones los iones de sodio libres en el agua para formar la sal de sulfato de sodio

El flujo másico óptimo de ácido sulfúrico en el reactor para convertir el 94% de las sales de sodio es de 432,83 Kg/h.

Estrategia monitoreo y evaluación PROPUESTA 2

Se plantea evaluar y monitorear el comportamiento del flujo de oxígeno en la columna de absorción. Es importante conocer las condiciones del gas que hará la absorción por lo que se determina el flujo másico óptimo del gas oxígeno para purificar el 97%

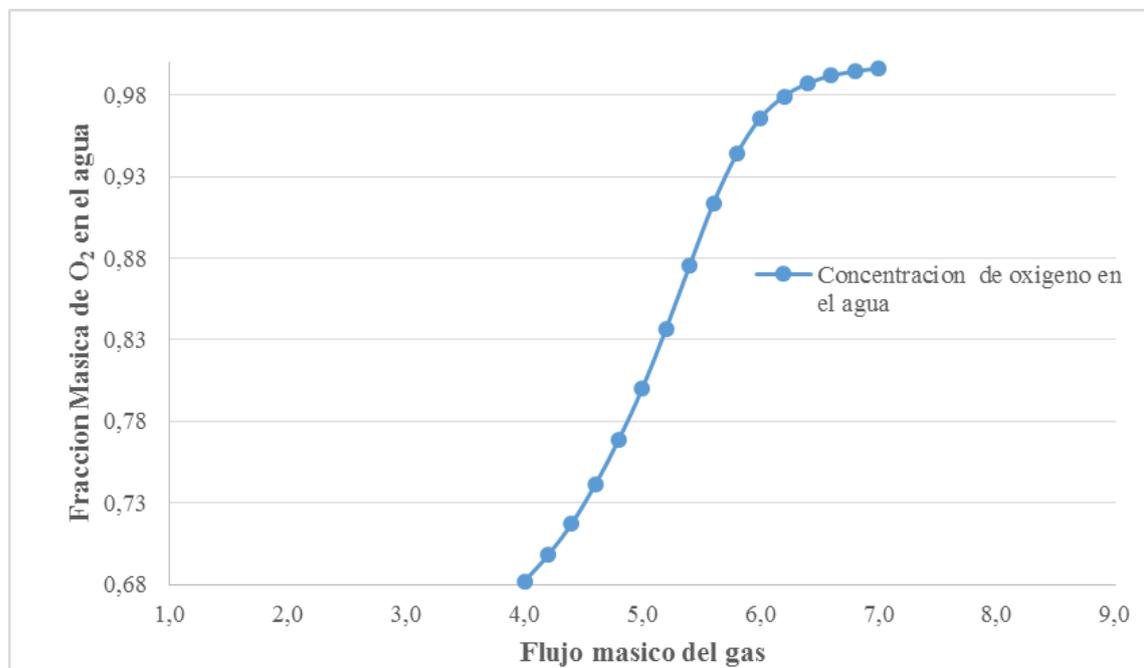
el contenido de oxígeno que está presente en el agua.

También al ser el equipo más costoso se deberá monitorear constantemente la presión del gas al realizar la absorción por las etapas definidas por diseño.

Con la herramienta de análisis de sensibilidad de ASPEN PLUS V.10 se procede a encontrar los datos para posteriormente tabular los datos en Excel. Una vez realizado se grafica el comportamiento tal como se ven la figura 37

Figura 37

Perfil de flujo másico del gas



Nota. En este monitoreo podemos ver el comportamiento del gas oxígeno a medida que se realiza la transferencia de más y calor, mientras se refrigera su coeficiente de difusión aumenta y por ende el gas se concentra en la solución de agua con oxígeno disuelto permitiendo la oxigenación

El flujo másico óptimo del oxígeno puro que concentra el 97% del mismo gas en el agua es de 6,2 Kg/h.

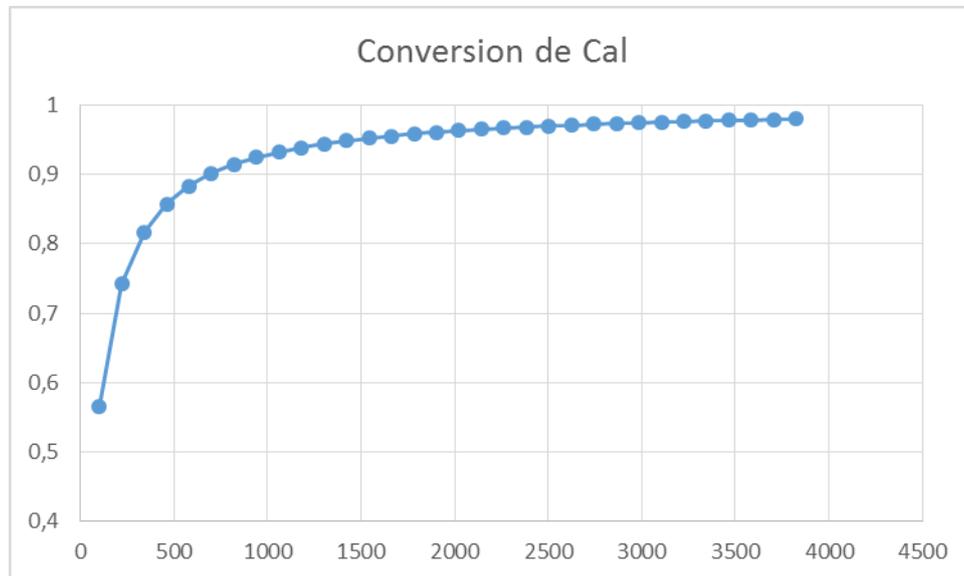
Estrategia monitoreo y evaluación PROPUESTA 3

Se propone evaluar y monitorear la cantidad de cal hidratada requerida para remover el 98% de las sales por lo que se procede a realizar el mismo procedimiento anterior

dando un flujo másico óptimo de 3827 kg/h. tal como se puede apreciar en la figura 38

Figura 38

Perfil de conversión en el tanque para la cal hidratada



Nota. Notese como la Cal al estar hidratada tiene mayor afinidad al agua de tratamiento, no obstante, el propósito es remover los iones sulfato y el grupo hidroxilo atrapar los iones de magnesio que queden libres para formar el yeso

Estrategia monitoreo y evaluación PROPUESTA 4

Se propone evaluar y monitorear la cantidad de dextrosa requerida en la celda para obtener el 98% de la remoción de sales Con la herramienta de análisis de sensibilidad de ASPEN PLUS V.10 se procede a encontrar los datos para posteriormente tabular los datos en Excel. Una vez realizado se grafica el comportamiento tal como se ven la figura 39

Figura 39

Perfil de la dextrosa en la celda



Nota. El comportamiento indica una buena remoción del sulfato gracias al inoculo

Se concluye que se deberá suministrar 2840 Kg/h de dextrosa para mantener la remoción del 98% de las sales y los agentes contaminantes

11.3.4 Factibilidad

“La medida debe considerar la capacidad institucional, financiera, política, normativa, técnica y, sobre todo, social, que permitan su implementación y sostenibilidad”.

En la comunidad de Paipa se ha evidenciado una alta tasa de pobreza debido a la inactivación económica por parte del fenómeno del *·coronavirus*”. Es por ende que un nuevo proyecto ambiental permitirá reactivar la economía del municipio, al ser proyectos a largo plazo, el beneficio también lo será, por lo que únicamente se requiere de la voluntad del gobierno y de la alcaldía de paipa para liderar y promover este tipo de tecnologías.

Al día la aireación con ozono son proyectos que aún están en etapa de desarrollo y presentan variabilidad en los resultados dependiendo de ciertas condiciones fisicoquímicas y biológicas, institucionalmente en el gobierno los proyectos de investigación no son viable en su aplicación.

Además, no se ha diseñado equipos que permitan realizar la aireación con ozono a gran escala es decir que toda tecnología asociada a nanoburbujeo, microburbujeo, y burbujeo a gran escala empleando ozono siguen siendo aún no factibles. Por lo que las propuestas 1 y 2 cumplen con este ítem ya que son propuestas mas factibles de aplicar en el municipio de Paipa

11.3.5 Rentabilidad

El costo de la medida debe ser bajo en comparación con su efectividad o beneficios para reducir la vulnerabilidad. Su cálculo representa un reto

En este ítem únicamente se evalúa la viabilidad económica ya que se ha evidenciado en las propuestas 1,2,3,4 beneficios para reducir la vulnerabilidad del impacto causado por el cambio climático, en materia de eficiencias, al ser equipos modelados bajo conversiones por arriba del **60%** La efectividad de los procesos se garantiza tal como se vio en el ítem de "*Pertinencia y relevancia*" donde se cumple un objetivo de diseño para cada de las propuestas, dicho esto evaluaremos únicamente el aspecto financiero de las propuestas de diseño

Empleamos el modulo económico Aspen Process Economic Analyzer (APEA) de Aspen Plus V.10 el cual calcula los siguientes costos:

- Costos de instalación
- Costo de los servicios
- Materias primas
- Consumo energético
- Costo de los equipos.

Se ha visto anteriormente que el costo promedio presupuestado por el departamento nacional de desarrollo es de 1,6 USD.para proyectos de mejora ambiental del agua. Dicho costo decidirá que propuestas son más viables económicamente, dicho esto reportaremos el valor total o el capital cost para las propuestas en la tabla 17

Tabla 17

Costos capitales para cada una de las propuestas

Propuesta	Costo Capital USD
1	\$3.400.740
2	\$3.815.580
3	\$3.394.000
4	\$3.787.000

Nota. Costo capital de cada propuesta expresada en USD

Aunque no se aproximan al valor promedio dado por el DNP las propuestas más económicas son las propuestas 1 y 3 lo cual dichas propuestas cumplen con este ítem.

11.3.6 Eficacia

Tiene que ver con la medida en que se logran o se esperan lograr los objetivos de la intervención.

En este ítem todas las propuestas cumplen con el ítem ya que en todas las propuestas se lograron los resultados deseados para la remediación de la red hídrica del municipio de Paipa

11.3.7 Eficiencia

Es la medida en que los recursos (insumos: fondos, tiempo, entre otros) se han convertido en resultados.

Esta característica deberá plantearse claramente desde el diseño de la medida de adaptación, correspondiendo a la solución de alguna vulnerabilidad detectadas.

En este caso únicamente podemos decir que las propuestas serán eficientes una vez que se empleen en el sitio de estudio, o se realice nuevos ensayos donde las variables no medidas en este trabajo puedan ser medidas en laboratorio y mejorar la probabilidad de remediación mediante modelamiento y optimización de procesos asociados al tratamiento de aguas.

Por lo tanto, diremos que ninguna de las propuestas es eficiente

11.3.8 Sostenibilidad

“Desde la etapa de selección o diseño se debe plantear el mecanismo mediante el cual la medida pueda mantenerse en el tiempo”.

Este ítem tiene que ver con los mecanismos de control para que la solución ya puesta en marcha perdure en el sitio de estudio, como también garantice el bienestar de la población.

Sencillamente ninguna de las propuestas cumple con este ítem porque los proyectos en primer lugar se encuentran en etapa de diseño, en segundo lugar los valores empleados para este trabajo, fueron tomados de referencias bibliográficas, y una estrategia de sostenibilidad es efectiva si contamos con los datos de manera experimental,

Así se modelaría mejor las posibles amenazas e inconvenientes que puede presentar los diseños. En tercer lugar, las propuestas de sostenibilidad están asociadas al gasto energético, y no se ha evaluado la viabilidad de emplear los servicios de la central termopaipa como fuente de alimentación del proceso

Por último, la sostenibilidad debe estar dentro del plan nacional para la adaptación al cambio climático, por ende, las propuestas de diseño deberán estar en la etapa de implementación para ejecutar el plan de desarrollo ambiental dada por el ministerio de ambiente.

11.3.9 Participación activa de la población objetivo

“La población se involucra activamente incorporando su conocimiento y experiencia en todas las fases del proceso y se apropia de la medida, cuidando las inversiones y asegurando su efectividad por un tiempo mayor al proyectado”

En este ítem se toma la percepción de la estrategia o estrategias de adaptación al cambio climático y como la comunidad esta receptiva a las nuevas tecnologías, también se evalúa las opiniones, dudas, ventajas y desventajas de las propuestas como el interés por participar en este tipo de proyectos.

Nuevamente ninguna de las propuestas cumple con este ítem ya que en esta etapa se propone campañas de sensibilización, charlas, y conferencias en el departamento integrando equipos de trabajo en múltiples disciplinas para realizar estudios de las propuestas y así medir el grado de aceptación e interés existente en la comunidad

Una vez cumplidos los ítems relacionados a las etapas del diseño nos dispondremos a realizar la selección en función de los ítems analizados previamente

11.3.10 Matriz de selección

Según la “*Guía para la elaboración de planes de adaptación al cambio climático para organizaciones*”, una vez que se define las propuestas es necesario realizar un análisis de las mismas donde se priorice las estrategias que pueden ser aplicadas por cualquier organización

La priorización se realiza a través de un análisis multicriterio considerando el número de criterios admisibles para apoyar la toma de decisiones a la hora de seleccionar las soluciones más convenientes

Dentro del análisis multicriterio las variables más utilizadas son

- Potencial de reducción del riesgo climático
- Viabilidad
- Aporte de beneficios (Ambientales y sociales)
- Viabilidad económica

Cada una tiene un peso sobre el total como lo vemos en la tabla 18

Tabla 18

Distribución porcentual de las variables multicriterio

Variables	Peso Porcentual
Potencial de reducción del riesgo climático	30%
Viabilidad técnica	15%
Aporte de beneficios	15%
Viabilidad Económica	40%

Nota. Se tiene en cuenta la guía para la asignación porcentual de cada criterio, Tomado de: Guía para la elaboración de planes de adaptación al cambio climático para organizaciones ". [En línea]. Disponible: https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/guia_planes_cc/es_def/adjuntos/guia_elaboracion_planes_adaptacion_cambio_climat_ico_cast.pdf [Acceso: febrero 11,2022].

Donde:

- El potencial de reducción está dado por los ítems de diseño **Pertinencia o Relevancia, Impacto, Eficacia**
- La viabilidad técnica está definida por los ítems de diseño: **Monitoreo y Evaluación, Factibilidad, Eficiencia**
- El aporte de beneficios está definido por los ítems de diseño **Sostenibilidad, Participación activa de la población objetivo**
- La viabilidad economía está dado por **Rentabilidad.**

Es por eso que anteriormente se analizó cada criterio para las cuatro propuestas. Ahora Para la priorización de las propuestas cada una de las variables se deben valorar de 1(mínimo) a 5 (máximo) para obtener la puntuación cuantitativa final de cada medida y así hacer una comparativa entre las propuestas 1,2,3 y 4 respectivamente, para ello se detalla la descripción de la puntuación de cada variable en la tabla 19

Tabla 19*Metodología de priorización de medidas de adaptación al cambio climático*

Variable	Puntuacion	Descripcion
Potencial de reduccion del riesgo climatico	1	No genera reduccion de las consecuencias del impacto
	2	Reduce de forma minima las consecuencias del impacto
	3	Reduce de forma moderada las consecuencias del impacto
	4	Reduce de forma notable las consecuencias del impacto
	5	Reduce completamente las consecuencias del impacto
Viabilidad tecnica	1	No resulta viable tecnicamente
	2	Presenta barreras tecnicas importantes
	3	Presenta barreras tecnicas moderadas
	4	Presenta barreras tecnicas minimas
	5	Es totalmente viable tecnicamente
Aporte de beneficios	1	No genera beneficios ambientales o sociales
	2	Genera beneficios ambientales o sociales bajos
	3	Genera beneficios ambientales o sociales moderado
	4	Genera beneficios ambientales o sociales altos
	5	Genera beneficios ambientales o sociales importantes
Viabilidad Economica	1	No resulta viable economicamente
	2	Presenta barreras economicas importantes
	3	Presenta barreras economicas moderadas
	4	Presenta barreras economicas minimas
	5	Es totalmente viable economicamente

Nota. Para llegar a este punto fue necesario realizad el análisis minucioso de los 9 ítems según pruebas e investigación. Tomado de: Guía para la elaboración de planes de adaptación al cambio climático para organizaciones”. [En línea].

Disponible:https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/guia_planos_cc/es_def/adjuntos/guia_elaboracion_planos_adaptacion_cambio_climatico_cast.pdf [Acceso: Febrero 11,2023].

Finalmente, mediante desplegables, se seleccionará la medida asociada al riesgo así como la puntuación de las variables para su priorización. Construimos nuestra matriz de adaptabilidad en función a los siguientes ítems tal como se ve en la tabla 20

Tabla 20*Selección y priorización de medidas de adaptación*

Propuesta	Medidas de Impacto	Valor (mg/L)	Variables (Puntuacion 1 a 5)				Resultado
			Potencial de reduccion de los impactos del cambio climatico	Viabilidad Tecnica	Aporte de Beneficios	Viabilidad Economica	
			30%	15%	15%	40%	
1	Oxigenacion	4,78	1	3	1	4	2,5
	Remocion De Sales	853,70	1	3	1	4	2,5
	Remocion De Sulfatos	2032,10	1	3	1	4	2,5
2	Oxigenacion	8,68	5	5	1	2	3,2
	Remocion De Sales	90,62	5	5	1	2	3,2
	Remocion De Sulfatos	164,37	5	5	1	2	3,2
3	Oxigenacion	9,26	4	4	1	5	4,0
	Remocion De Sales	38,90	4	4	1	5	4,0
	Remocion De Sulfatos	26,24	4	4	1	5	4,0
4	Oxigenacion	4,55	5	2	1	3	3,1
	Remocion De Sales	17,00	5	2	1	3	3,1
	Remocion De Sulfatos	20,34	5	2	1	3	3,1

Nota. Se pondera en función del análisis realizado y se aplica directamente la matriz de selección.

Las propuestas que permiten la remediación del Lago Sochagota y del Rio Chicamocha son las propuestas **2** y **3** ya que obtuvieron calorificaciones promedio de 3,2 y 4,0

El departamento CENSA determinara que propuesta de diseño puede aplicarse, o en su defecto rechazarla por falta de información, no obstante, se ha evidenciado que el estado actual del Lago Sochagota solo tendera a empeorar ya que las condiciones meteorológicas, sísmicas, y el aumento del gradiente de temperatura, deteriora la condición del cuerpo de agua estático

En cuanto a la adaptabilidad una de las condiciones es era divulgar el conocimiento científico sobre el tema, por lo que este proyecto tuvo la oportunidad de ser divulgado en el tercer congreso internacional en el tercer congreso internacional de investigación e innovación ambiental

Se celebró el día 9 de noviembre del 2022 y la finalización se dio el día 11 de noviembre del 2022, Donde más de 50 instituciones de educación superior

presentaron sus proyectos al congreso. De los cuales solo 150 de ellos pasaron de 3000 o más proyectos que se postularon este año para quedar seleccionados

Los participantes de este evento recibieron su respectiva certificación por parte de la CAR. Dicha certificación estará en el **ANEXO 5**

12 CONCLUSIONES

La propuesta 1 de diseño fue la más baja en oxigenación ya que solo pudo concentrar el 7% del OD, y apenas pudo remover el 3% de sulfatos, por lo que el peróxido de hidrogeno no es un solvente ideal para el tratamiento de aguas

La tasa promedio de temperatura reportada en los diseños es de 14 °C, esto permitirá la adaptación termodinámica, enfriando la columna de agua.

La propuesta de diseño 4 al ser modificada con oxígeno puro en lugar de ozono como agente de oxigenación mejora en un 82,4% llegando a tener valores aproximados de 9,45 mg O₂/L, Postulándose como alternativa de diseño a la propuesta originalmente

La tasa de remoción de sulfatos y de iones más alta fue la del diseño 3 removiendo el 98% del valor inicial

La tasa de conversión promedio de los reactores en los diseños propuestos fueron del 80% resultados en las propuestas 1 y 4

La eficiencia de las bombas empleadas en la propuesta 1 fue del 70% dando valores de NPSHdis en rangos entre 10 y 33 ft requiriendo bombas mayores a 1 caballo de fuerza para realizar el transporte de agua

Se requiere un flujo de vapor superior a 90000 kg/h en la propuesta 3 para remover más del 60% del sulfato de sodio

La reacción de tratamiento de aguas de la propuesta 3 también aplica a la remoción de metales y minerales como silicio, plata, manganeso entre otros, también se concluye que la remoción de sulfatos es mejor en presencia de cloruro de bario

En se evidencia que la potencia requerida en las bombas para la propuesta 3 ronda en rangos entre 3 y 8 caballos de fuerza

El área de intercambiador de calor empleado para condensar el vapor en la propuesta 2 es de 1172 m² empleando 5 corazas en paralelo para enfriar la gran masa de agua a condensar para su posterior vertimiento.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Alcaldía de Paipa. (2020) “Información del municipio”
- [2] R. Cifuentes, ""Trace element fixation in sediments rich in organic matter from a saline lake in tropical latitude with hydrothermal inputs (sochagota lake, colombia): the role of bacterial communities"", *the science of the total environment*, voñ.1, no.1, (1-25.), mes (Julio), 2020, DOI: [10.1016/J.SCITOTENV.2020.143113]. Disponible: [HTTPS://DX.DOI.ORG/10.1016/J.SCITOTENV.2020.143113..](https://dx.doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.143113..) [Acceso:27 septiembre,2022].
- [3] Universidad Abierta y a Distancia. (2020), “Caracterización del estado actual de la minería en el municipio de Paipa (Boyacá) y su relación con el distrito de manejo integrado (DMI) sochagota”, [En línea]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36852/ramanriquea.pdf?sequence=3&isAllowed=y> [Acceso: 21 de agosto, 2022]
- [4] volcano lodge, hotel & thermal experience (2019), “Todo lo que debes saber sobre aguas termominerales”, [En línea]. <https://volcanolodge.blog/2019/12/01/todo-lo-que-debe-saber-sobre-las-aguas-termales-envolcanolodgehotel/#:~:text=Propiedades%20de%20las%20Aguas%20Termo,C%20que%20la%20temperatura%20superficial.> [Acceso: enero 28, 2023]
- [5] Universidad católica de Manizales. (2015), “descripción de indicadores”, [En línea] <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-Oxigeno%20disuelto%20f.pdf> [Acceso: enero 28, 2023]
- [6] Folleto Informativo Oxígeno Disuelto (OD). Tercera Edición, State Water Resources Control Board, California, 2020.
- [7] Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET., “Aguas termales y minerales en el centro del Perú – [Boletín D 21]”. INGEMMET, [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/338>. [Acceso: enero 28, 2023].

- [8] J. D. Bolaños Alfaro, G. Cordero Castro y G. Segura Araya, “Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)”, *Tecnología en Marcha.*, vol. 30, no. 4, pp. 17- 18, mayo. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7436266>. [Acceso: enero 29, 2023].
- [9] C. Soldevilla y D. Medalit, “determinación de la eficiencia de remoción de la dbo de agua residual doméstica mediante la utilización de un biofiltro de piedra pómez” Trabajo de grado, Universidad Nacional de Trujillo, pp. 5- 14. 2015. [En línea]. Disponible en: https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3261/CornejoSoldevilla_D.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Acceso: Enero 29, 2023].
- [10] Galeano-Nieto, L. J. Rojas “Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Vélez Santander”. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. pp.5-14. 2015. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/items/c281b637-1f41-4610-9823-7bdfbd197090> [Acceso: noviembre 2, 2022].
- [11] A. Muñoz Cruz, “Caracterización y tratamiento de aguas residuales” Monografía, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2008 [En línea]. Disponible en: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/?sequence=1> [Acceso: noviembre 05, 2021]
- [12] C. Pire, “Tratamiento de las aguas residuales” La contaminación, 9 diciembre 2019 [En línea]. Disponible en: <https://lacontaminacion.org/tratamiento-de-las-aguas-residuales/> [Acceso: enero 29, 2022].
- [13] C. Arnáiz, L. Isac, & J. Lebrato. Tratamiento biológico de aguas residuales. (2000). *Revista Tecnología del Agua*. Pág 1, 2. Disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/34259>. [Acceso: enero 29, 2023].

- [14] Enzymatic wastewater treatment. 22 Feb. [En línea]. Disponible en: read://https_ amapex.net/?url=https%3A%2F%2Famapex.net%2Fenzymatic-wastewater-treatment%2F%3Flang%3Den [Acceso: enero 29, 2022].
- [15] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, “decreto 1575 de 2007 (marzo 17)” Colombia, 18, abril, 2015. [PDF]. Disponible: <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>. [Acceso: noviembre 05, 2022].
- [16] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, “decreto 1594 de 1984 (mayo 81)” Colombia, 18, abril, 2015. [PDF]. Disponible: <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>. [Acceso: noviembre 05, 2022].
- [17] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, “resolución 631 de 2015 (marzo 17)” Colombia, 18, abril, 2015. [PDF]. Disponible: <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>. [Acceso: noviembre 05, 2022].
- [18] O. Usaquén "desarrollo de una metodología para la gestión ambiental de humedales costeros y continentales sometidos a presiones agrícolas", tesis doctoral, Universidad de Cantabria pp 12-291 , 2017. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.unican.es> [Acceso: septiembre 11 , 2022]
- [19] M.gutierrez y M. franco " estimación del dióxido de carbono (co2) capturado por biomasa aérea de la mandarina “arrayana” mediante la relación: l-sistemas y ecuaciones diferenciales ", trabajo de maestría, Universidad Santo Tomas pp 18-184 ,2017. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.unican.es> [Acceso: septiembre 11, 2022]
- [20] R. Abril “ Caracterización del estado actual de la minería en el municipio de Paipa (Boyacá) y su relación con el distrito de manejo integrado (DMI) sochagota.", trabajo de grado, Universidad abierta y a distancia pp 17-181 ,2017. [En línea]. Disponible:

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36852/ramanriquea.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. [Acceso: septiembre 11, 2022]

[21] C. sanchez " evaluación de la descarga de aguas residuales en la central termoeléctrica de paipa en el río jordán en boyacá ", trabajo de grado, Universidad la gran colombia pp 1-145 ,2018. [En línea]. Disponible: <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5049>. [Acceso: septiembre 11, 2022]

[22] M. ORJUELA "implementación de un sistema integrado de tratamiento de aguas residuales como aporte para la descontaminación de la cuenca del Rio Chicamocha", trabajo de grado, Universidad la gran colombia pp 21-84 ,2019. [En línea]. Disponible: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/4742> [Acceso: septiembre 13, 2022]

[23] H. Castro,Franco y M.gomez sanchez. (2015). Suelos sulfatados ácidos. [En línea].Disponible:<https://librosaccesoabierto.uptc.edu.co/index.php/editorial-uptc/catalog/book/75>

[24] A.Rodriguez y N.Aranguren. "estructura del zooplancton en el lago sochagota" Vol.3 pp 135-148.

[25] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenibles "conceptos básicos de cambio climático", [En línea]. Disponible: <http://www.cambioclimatico.gov.co/otrasiniciativas#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20variabilidad%20clim%C3%A1tica%3F,all%C3%A1%20de%20fen%C3%B3menos%20meteorol%C3%B3gicos%20determinados>. [Acceso: 8 de agosto del 2022].

[26]Iagua. (2022), "Nuevas tecnologías en aguas residuales",[En línea]. Disponible: <https://www.iagua.es/noticias/almar-water-solutions/nuevas-tecnologias-aguas-residuales>_[Acceso: Agosto 8,2022].

[27] P. Anneville, " Scientists' Warning to Humanity: Rapid degradation of the world's large lakes ", *sciencedirect*, 1 1, pp-1-24, may , 2020, DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.05.006> [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0380133020300988>. [Acceso: Septiembre 19,2022].

[28] M. Caballero "Lagos como sensores de cambio climático: el caso de La Alberca de Tacámbaro, Michoacán, México", *scielo*, 1 1, pp-1-39, mar , 2020, DOI: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.193> [En línea]. Disponible: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2019000100124://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0380133020300988. [Acceso: febrero 1,2023].

[29] J. Radosavljevic "Salinization as a driver of eutrophication symptoms in an urban lake (Lake Wilcox, Ontario, Canada)", *Sciencedirect*,1,4, pp. 1-8, jul, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j> [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722044345> [Acceso: Octubre 13,2022]

[30] Ministerio de Ambiente, "CONCEPTOS BÁSICOS DE CAMBIO CLIMÁTICO", [En línea]. Disponible: <http://www.cambioclimatico.gov.co/otrasiniciativas#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20variabilidad%20clim%C3%A1tica%3F,all%C3%A1%20de%20fen%C3%B3menos%20meteorol%C3%B3gicos%20determinados>. [Acceso: 8 de agosto del 2022].

[31] P.Guio y A.Ramirez. (2021). *Criterios para la selección y el diseño de medidas de adaptación al cambio climático en México*. [En línea]. Disponible https://www.iwra.org/member/congress/resource/ABSID219_Criteria_for_the_selection_and_design_of_climate_change_adaptation_measures_for_Mexico.pdf. [Febrero 4,2022].

[32]R. QUIROZ, (2021). *Manejo y recuperación de lagos* [En línea]. Disponible https://www.agro.uba.ar/users/quiros/Working/Manejo_de_Lagos_Urbanos.pdf [Febrero 4,2022].

- [33] "Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis humano", 1, Instituto Nacional de Salud, Bogotá D.C, 2011. [En línea]. Disponible <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacion%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>
- [34] M. Endicott "Oxygenation And Agitation Of Lakes Using Proven Marine Technology", *Sciencedirect* ,9,1, pp. 102-105, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/07438149409354736> [En línea]. Disponible: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/07438149409354736> [Acceso: Octubre 13,2022]
- [35] L. Ho y P. L. " Municipal wastewater treatment with pond technology: Historical review and future outlook", *Sciencedirect* ,1,2, pp. 48-102, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105791> [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857420300793> [Acceso: Octubre 13,2022]
- [36] M. Rodriguez " Nanotecnología con Ozono para la reducción de Cianobacterias en las aguas de los Humedales de Villa, Chorrillos, Lima ", trabajo de grado, Universidad Cesar Vallejo pp 1-114 ,2019. [En línea]. Disponible: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/4742> [Acceso: NOVIEMBRE 13, 2022]
- [37] K. Jindo y M. S. Morikawa Sakura, "Innovative Feasibility Study for the Reclamation of the Cascajo Wetlands in Peru Utilizing Sustainable Technologies", *Water*, vol. 12, n.º 4, p. 1097, abril de 2020. Accedido el 4 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/w12041097>
- [38] A. Hao. " Improvement of water quality using a circulation device equipped with oxidation carriers and light emitting diodes in eutrophic pond mesocosms", *Sciencedirect* ,9,2, pp. 2-105, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105075> [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721000531>

[Acceso: Noviembre 4,2022]

- [39] “Guía para la elaboración de planes de adaptación al cambio climático para organizaciones”,6, Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda Gobierno Vasco, BILBAO, 2019. [En línea]. Disponible: https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/guia_planes_cc/es_def/adjuntos/guia_elaboracion_planes_adaptacion_cambio_climatico_cast.pdf
- [40], S. Kobayashi, N. Yan, D. Xia, M. Zhao y Y. Iseri, "", Journal of Environmental Chemical Engineering, vol. 9, n.º 2, p. 105075, abril de 2021. Accedido el 4 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105075>
- [41] M. peña y S. urrego "propuesta de tratamiento de vertimientos provenientes de termales del municipio de paipa, a través de potenciales medios adsorbentes generados con base en recursos naturales y residuos agropecuarios disponibles en la provincia de tundama en el departamento de boyacá." trabajo de grado, Universidad De America pp 10-154 ,2022.[En línea]. Disponible: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8110> [Acceso: septiembre 13, 2022]
- [42] M. Cely, P. Acevedo, "propuesta para la disminución de contaminantes en las aguas residuales provenientes de las piscinas termales del instituto de turismo de paipa.", trabajo de grado, Fundación Universidad De América, Bogotá, 2020 [En línea]. Disponible: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8110> [Acceso: noviembre 2, 2022]
- [43]. O. Usaquén-Perilla, A. García-Gómez, A. García, C. Álvarez, J. Revilla. Ecological Indicators. Vol 13, Issue 1. (2012) 129-143.
- [44]. E. Sierra-Cárdenas, O. Usaquén-Perilla, M. Fonseca-Molano, M. Ochoa-Echeverria, J. Díaz-Gómez, Manuel del Jesus. International Journal of

Climatology. Vol 42, Issue 2. (2022) 868-888.

- [45]. O. Usaquén-Perilla, N. Sánchez-Gómez, J. Díaz-Gómez, C. Báez-Pérez, F. Vargas-Bermudez, M. Ochoa-Echeverría. Boyacá BIO: acciones para la conservación y la sostenibilidad. ISBN: 978-628-7504- 40-0 (2022) 86-95.
- [46]. G. Cifuentes, J. Jiménez-Millán, C. Quevedo, R. Jiménez-Espinosa. Minerals. Vol 1(6). (2020) 525-539.
- [47]. D. Guio. Tesis de maestría Universidad Santo Tomás. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/37824>. (2021).
- [48]. J. García Alba, A. G.Gómez, P. del Barrio, A.García, C. Álvarez. Journal of Hydroinformatics. Vol 16 (5). (2014) 1062-1076.
- [49] Naciones Unidas ¿Qué significa adaptación al cambio climático y resiliencia al clima? [En línea]. Disponible: <https://unfccc.int/es/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/que-significa-adaptacion-al-cambio-climatico-y-resiliencia-al-clima> [Acceso: Agosto 4,2022].
- [50] Los niveles de oxígeno en los lagos se reducen más rápido que en los océanos [En línea]. Disponible: <https://www.dw.com/es/los-n%C3%ADveles-de-ox%C3%ADgeno-en-los-lagos-se-reducen-m%C3%A1s-r%C3%A1pido-que-en-los-oc%C3%A9anos/a-57763178>. [Acceso: 4 de agosto del 2022].
- [51], Organización mundial de la salud. "Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice la tercera edición. Volumen 1". 2006. Disponible: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_e_s_full_lowres.pdf.
- [52] RUNAP: "Parques Nacionales Naturales de Colombia" [En línea]. Disponible: <https://runapadmin.parquesnacionales.gov.co> [Acceso: 3 de septiembre del 2022].
- [53] M. RINCÓN, "identificación de las características hidrológicas y sanitarias del lago

sochagota y de fuentes de agua termomineral en el municipio de paipa, boyacá", trabajo de grado, universidad industrial de santander, santander, 2009.

- [54] C. Sanchez, "evaluación de la descarga de aguas residuales en la central termoeléctrica de paipa en el río jordán en boyacá", trabajo de grado, universidad la gran colombia, Bogotá, 2016
- [55] A. Botero-Acosta, D. L. Ficklin, N. Ehsani y J. H. Knouft, "Climate induced changes in streamflow and water temperature in basins across the Atlantic Coast of the United States: An opportunity for nature-based regional management", *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 44, p. 101202, diciembre de 2022.. [Accedido el 3 de octubre de 2022]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101202>
- [56] D. Ibarra-Morales, R. A. Silva-Aguilera, L. A. Oseguera, M. Merino-Ibarra y J. Alcocer, "Impacts of global change on two tropical, high mountain lakes in Central Mexico", *Science of The Total Environment*, vol. 852, p. 158521, diciembre de 2022. Accedido el 23 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158521>
- [57] C. Bahamondez, "cambio climático y su efecto sobre los cuerpos de agua de chile central: variación interanual superficial de los lagos andinos (32^{os}-36^{os}) entre 1984 y 2020", trabajo de grado, universidad de chile, chile, 2020. Accedido el 17 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/188022?show=full>
- [58] R. J. Longman et al., "Climate Adaptation for Tropical Island Land Stewardship: Adapting a Workshop Planning Process to Hawai'i", *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 103, n.º 2, pp. E402—E409, febrero de 2022. Accedido el 13 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1175/bams-d-21-0163.1>
- [59] Psarra, Ö. Altinkaya Genel y A. van Spyk, "A Research by Design Strategy for Climate Adaptation Solutions: Implementation in the Low-Density, High Flood Risk

Context of the Lake District, UK", Sustainability, vol. 13, n.º 21, p. 11847, octubre de 2021. Accedido el 9 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/su132111847>

- [60] CEPAL (2020)"Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe"
- [61] Galeano-Nieto, L. J. & Rojas-Ibarra, V. D. (2016). Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Vélez Santander. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia.
- [62] Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2001. [En línea]. Disponible: https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas
- [63] Principios del tratamiento biológico de aguas residuales: Lodos Activados. Universidad de Nariño, 2014.
- [64] Alternativas para el manejo y aprovechamiento de aguas termominerales post uso del municipio de paipa (BOYACÁ), trabajo de grado, Universidad de Antioquia, Antioquia, 2020. Accedido el 7 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas
- [65] A. Tinjaca, "Construcción de oxigenador de agua impulsado por energía solar", trabajo de grado, Universidad De Los Andes, Bogotá, 2010. Accedido el 16 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/20372?locale-attribute=es>
- [66] N. castro "diseño y simulación de un proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas para la generación simultánea de energía eléctrica mediante celdas

de combustible microbianas”, trabajo de grado, Universidad de san buena aventura,2020.pp 1-48. [En línea]. Disponible: <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/678caca5-6de8-48db-b030-1f96e2486716/content> [Acceso: febrero 4, 2022].

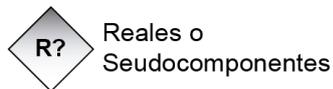
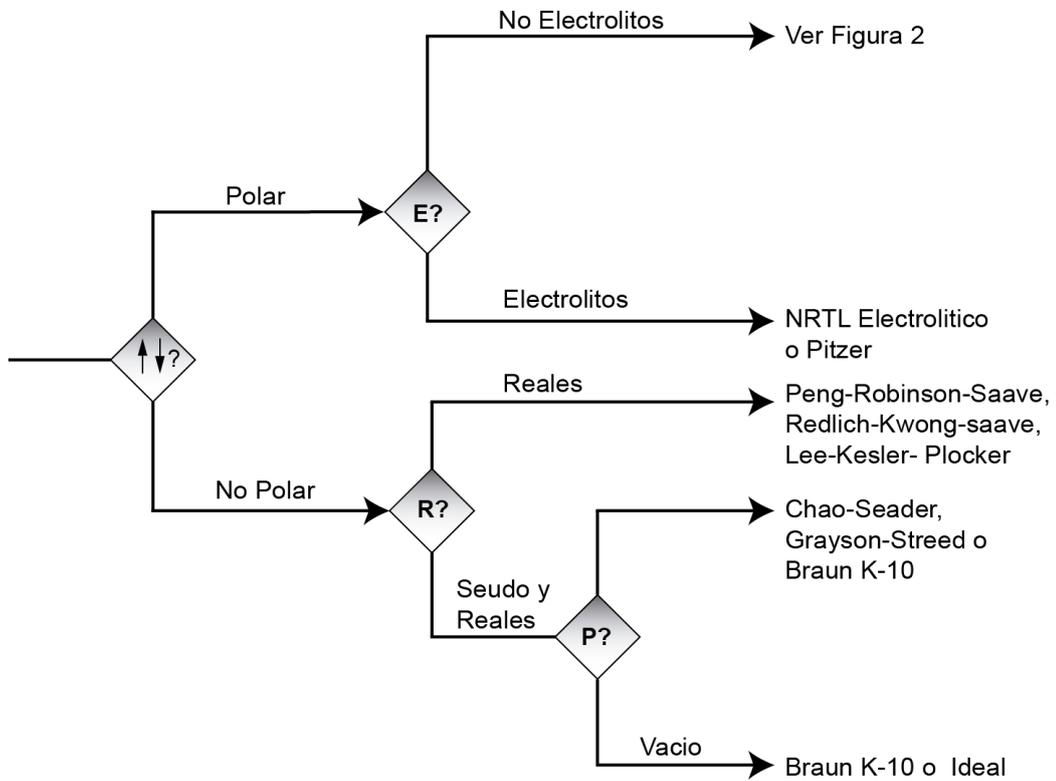
- [67] R.Marchena; A.Cordoba (2018). (Tesis de maestría). Diseño y selección preliminar de alternativas para la revalorización o reuso potencial de aguas residuales con alto contenido de Sulfatos, Manganeso y Zinc provenientes de una planta de fabricación de fungicidas. Universidad del Norte
- [68] C. Arnáiz, L. Isac, & J. Lebrato. Tratamiento biológico de aguas residuales. (2000). Revista Tecnología del Agua. Pág 1, 2. Disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/34259>. [Acceso: enero 28, 2023].
- [69] Enzymatic wastewater treatment. 22 Feb. [En línea]. Disponible en: read://https_amapex.net/?url=https%3A%2F%2Famapex.net%2Fenzymatic-wastewater-treatment%2F%3Flang%3Den [Acceso: Enero 29, 2023].
- [70] Cyclus "Oxidación Avanzada" [En línea]. Disponible en: <https://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-terciario/oxidacion-avanzada/#:~:text=Oxidaci%C3%B3n%20Avanzada%20Estos%20procesos%20tienen%20por%20objetivo%20la,y%20temperatura%20hasta%20la%20miner alizaci%C3%B3n%20completa%20de%20contaminantes.> [Acceso: enero 29, 2023].
- [71] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, “resolución 631 de 2015 (marzo 17)” Colombia, 18, abril, 2015. [PDF]. Disponible: <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>. [Acceso: enero 29, 2023].

ANEXOS

ANEXO 1.
ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO MNBS

Componente	Nombre del producto	Información
Dispositivo MNBs	MRK MS-1 (Modelo: Aspirador)	Dispositivo MRK MS-1. Revestimiento de acero; velocidad de escape de 5 L/min (1 kg/cm ² de agua); 72 mm de longitud; calibre de 14 mm ϕ en la conexión superior y 9 mm ϕ de diámetro de la rama externa.
Bomba de agua	BAP-30	Q _{max} : 30 L/min; H _{max} : 30 m; Suct. H _{max} : 8 m; Tamaño: 1" x 1"; 1-Mot; 220 V; Hz: 60 - 3450 min ⁻¹ ; KW: 0,37; HP: 0,5; In: 1,8 A; IP 44; C 10 uF; VL 450 V;
Compresor de aire	Bonelly Advanced ® (Modelo: BM 50E)	Tensión: 220 V; Presión: 8 Bar; Depósito: 50 L; Potencia: 2 CV; Frecuencia: 60 Hz; Capacidad de aire: 200 L/min.
Generador eléctrico	Honda Potencia mate 5000 (Modelo: PM-5022)	Tensión AC: 120/240 V; Potencia (nominal) 5000 W (sobretensión) 6250 W; Frecuencia: 60 Hz; Fase: SIMPLE; RPM: 3600; Serie: N58600577.

ANEXO 2.
ALGORITMO DE CARLSON PARA SUSTANCIAS POLARES EN ELECTROLITOS

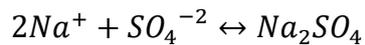
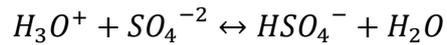
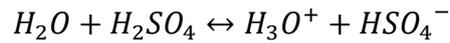


MODELOS NRTL, ELECTRO-RK.ELECTNRTL,PITZER MODIFICADOS PERMITIRAN SIMULAR

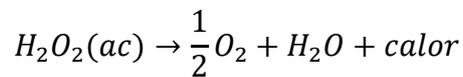
ANEXO 3.
**ECUACIONES DE DISEÑO PARA CELDAS PEM Y OTROS EQUIPOS DE
SIMULACIÓN**

Reacciones usadas en la PROPUESTA 1

R-101

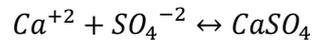
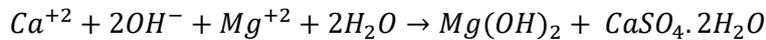
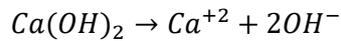


R-102

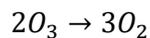


Reacciones usadas en el la PROPUESTA 3

TANQUE

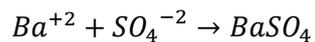


AIREADOR



Reacciones usadas en el la PROPUESTA 4

TORRE



CELDA



DISEÑO DE LA CELDA PEM

Materiales de construcción

Las cámaras del ánodo (cámara anaerobia) y cátodo (cámara aerobia) están unidas mediante una membrana intercambiadora de protones llamada Nafion®117, que tiene un espesor de 183µm; esta debe ser activada con H₂SO₄ a 45°C por 24hr ya que facilita el paso de los iones de hidrogeno a la cámara aerobia.

Los electrodos serán de grafito, y área efectiva de 800cm² La resistencia externa utilizada es de 100Ω.

El tiempo de retención hidráulico recomendado es de 6hr.

Producción De Energía

$$E = P * t$$

Donde:

- P: Potencia
- t: Tiempo

La potencia depende tanto de la tensión (V) como de la corriente (I)

$$P = V * I$$

La ley de ohm Expresa la corriente como

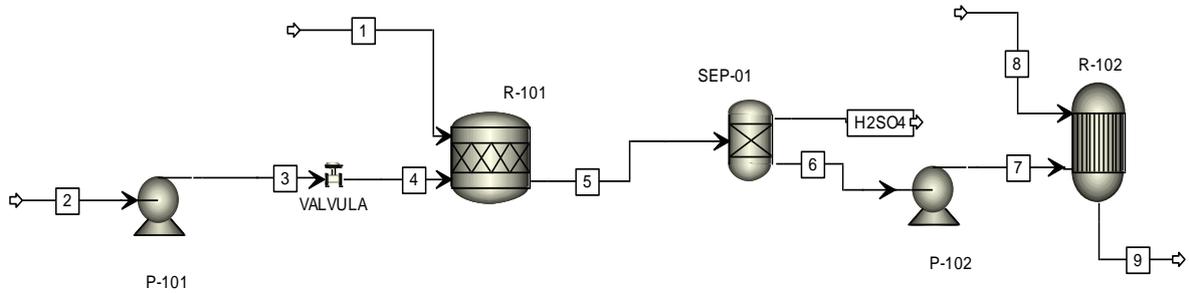
$$i = \frac{Q}{t}$$

Donde

- Q: Potencia
- t: Tiempo

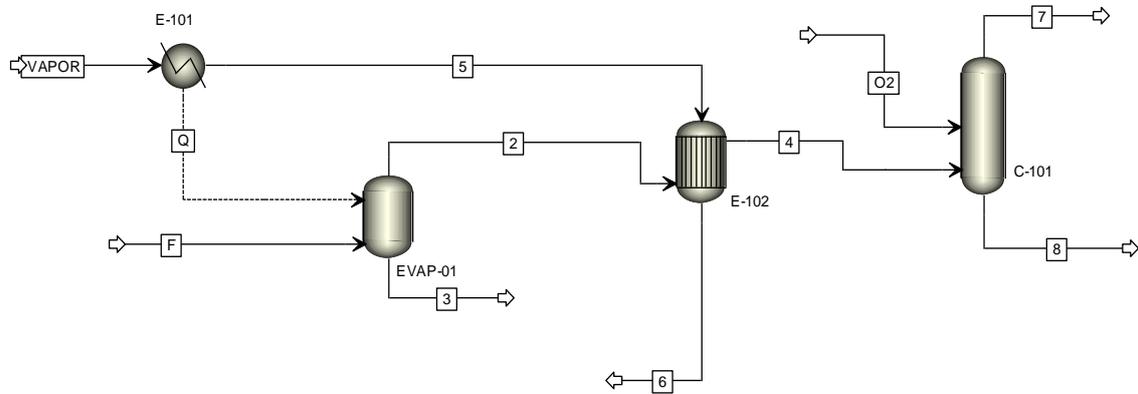
ANEXO 4. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

PROPUESTA A



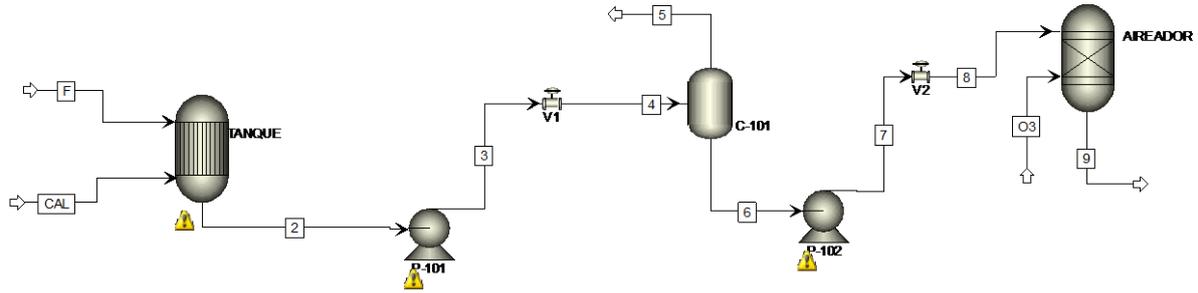
Corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Corrientes ASPEN	1	2	3	4	5	6	H ₂ SO ₄	7	8	9
T (°C)	14,12	20,00	20,04	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	15,00	323,64
P (bar)	1,02	1,02	1,50	1,02	1,02	1,02	1,23	1,01	1,01	1,00
Frac. Vapor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Frac. Liquido	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
H (kJ/h)	-9,10E+07	-1,07E+06	-1,07E+06	-9,21E+07	-9,18E+07	-2,15E+05	-9,18E+07	-3,68E+02	-9,20E+07	-3,64E+04
F MASS (kg/h)	86.434,19	2.000,00	2.000,00	88.434,19	88.034,19	400,00	88.034,19	1,00	88.035,19	105,00
F MOLAR (kmol/h)	4.779,16	20,39	20,39	4.799,55	4.795,48	4,08	4.795,48	0,03	4.795,52	0,55
Fracciones Masicas										
H ₂ O	0,993719388	0	0	0,96854482	0,972945586	0	0,972945586	0	0,972939347	0
NA ₂ SO ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NA ⁺	0,002031308	0	0	0,001985369	0,001994389	0	0,001994389	0	0,001994367	0
H ₂ SO ₄	0	1	1	0,004523138	0	1	0	0	0	0
SO ₄ ²⁻	0,004244098	0	0	0,000829623	0,000833392	0	0,000833392	0	0,000833383	0
O ₂	5,21E-06	0	0	5,09E-06	5,11E-06	0	5,11E-06	0	9,39E-06	0
OH ⁻	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H ₃ O ⁺	0	0	0	0,002851953	0,002864911	0	0,002864911	0	0,002864879	0
HSO ₄ ⁻	0	0	0	0,02126001	0,021356609	0	0,021356609	0	0,021356366	0
H ₂ O ₂	0	0	0	0	0	0	0	1	2,27E-06	1

PROPUESTA B



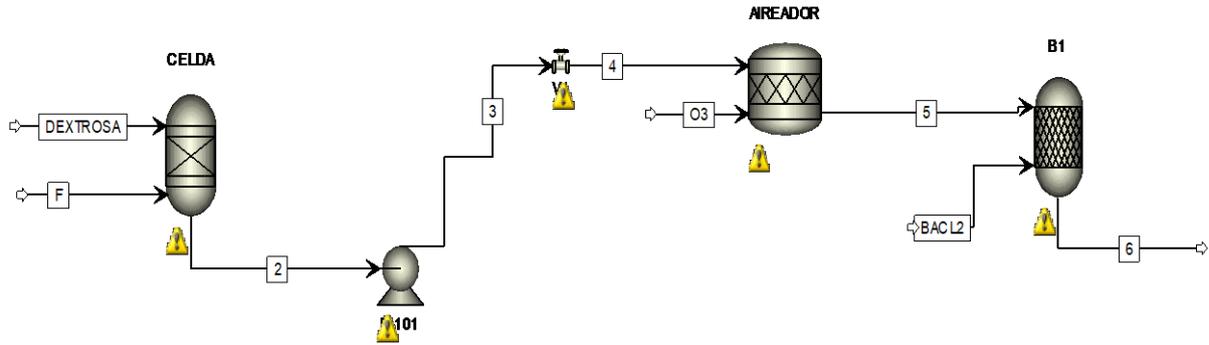
Corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Corrientes ASPEN	F	2	3	4	5	6	7	8	O2	VAPOR
T (°C)	14,12	164,75	164,75	112,59	111,39	104,59	111,35	110,34	10,00	111,39
P (bar)	1,01	2,00	2,00	1,80	1,50	1,19	1,50	1,50	1,50	1,50
Frac. Vapor	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,80	1,00	0,00	1,00	1,00
Frac. Liquido	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,00	1,00	0,00	0,00
H (kJ/h)	-1,34E+09	-9,04E+08	-2,31E+08	-1,06E+09	-1,40E+09	-1,24E+09	-3,88E+06	-1,06E+09	-1,13E+02	-1,19E+09
F MASS (kg/h)	86.364,19	68.671,40	17.692,79	68.671,40	90.000,00	90.000,00	293,03	68.386,38	8,00	90.000,00
F MOLAR (kmol/h)	4.728,38	3.811,83	916,55	3.811,83	4.995,76	4.995,76	16,25	3.795,83	0,25	4.995,76
Fracciones Masicas										
H ₂ O	0,895072372	0,999993447	0,487839839	0,999993447	1	1	0,997787373	0,999885919	0	1
NA ⁺	0,058729574	0	0,286677991	0	0	0	0	0	0	0
OH ⁻	0,041945306	0	0,204748567	0	0	0	0	0	0	0
NAOH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO ₄ ⁻	0,004247538	0	0,020733601	0	0	0	0	0	0	0
O ₂	5,21E-06	6,55E-06	1,63E-09	6,55E-06	0,00E+00	0	2,21E-03	0,000114081	1,00E+00	0

PROPUESTA C



Corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Corrientes ASPEN	F	CAL	2	3	4	5	6	7	8	9
T (°C)	14,12	15,00	20,00	20,02	20,06	0,00	15,00	15,01	15,02	15,00
P (bar)	1,02	1,02	1,02	2,66	1,00	1,01	1,01	1,61	1,11	1,03
Frac. Vapor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Frac. Liquido	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
H (kJ/h)	-1,37E+09	-4,32E+05	-1,37E+09	-1,37E+09	-1,37E+09	0,00E+00	-1,37E+09	-1,37E+09	-1,37E+09	-1,37E+09
F MASS (kg/h)	86.593,38	50,00	86.643,38	86.643,38	86.643,38	0,00	86.643,38	86.643,38	86.643,38	86.643,88
F MOLAR (kmol/h)	4.779,35	0,67	4.781,24	4.781,24	4.781,24	0,00	4.781,24	4.781,24	4.781,24	4.781,27
Fracciones Masicas										
O ₂	5,20E-06	0	5,19E-06	5,19E-06	5,19E-06	0	5,19E-06	5,19E-06	5,19E-06	1,33E-05
SO ₄ ²⁻	0,006469314	0	0,006465581	0,006465581	0,006465581	0	0,006465581	0,006465581	0,006465581	0,006465543
OH	0	0	0,000238442	0,000238442	0,000238442	0	0,000238442	0,000238442	0,000238442	0,00023844
O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,73E-06
H ⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CA(OH) ₂	0,00E+00	1	5,77E-05	5,77E-05	5,77E-05	0	5,77E-05	5,77E-05	5,77E-05	5,77E-05
CA ⁺²	0	0	0,000280929	0,000280929	0,000280929	0	0,000280929	0,000280929	0,000280929	0,000280927
H ₂ O	0,991888784	0	0,991316387	0,991316387	0,991316387	0	0,991316387	0,991316387	0,991316387	0,991306118
CASO ₄ ·2H ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg ⁺²	0,001636705	0	0,00163576	0,00163576	0,00163576	0	0,00163576	0,00163576	1,64E-03	0,001635751
Mg(OH) ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CASO ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,09E-07

PROPUESTA D



Corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Corrientes ASPEN	F	DEXTROSA	2	3	4	O3	5	BACL2	6
T (°C)	14,12	20,00	20,00	20,04	20,04	10,00	15,00	20,00	15,00
P (bar)	1,03	1,00	1,02	2,03	1,93	1,01	1,02	1,00	1,02
Frac. Vapor	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Frac. Liquido	1,00	0,91	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
H (kJ/h)	-1,36E+09	-1,76E+07	-8,77E+08	-8,77E+08	-8,77E+08	2,96E+03	-8,79E+08	-6,03E+05	-8,80E+08
F MASS (kg/h)	86.434,60	2.500,00	88.934,42	88.934,42	88.934,42	1,00	88.935,42	100,00	89.035,42
F MOLAR (kmol/h)	4.779,16	15,07	5.105,16	5.105,16	5.105,16	0,02	5.105,19	1,71	5.106,90
Fracciones Masicas									
H ₂ O	0,993710864	0	0,949423759	0,949423759	0,949423759	0	0,949413083	0	0,948346751
O ₂	5,21E-06	0,009641542	0,000165654	0,000165654	0,000165654	0	0,000174647	0	0,000174451
C ₆ H ₁₂ O ₆	0	0,977097889	0	0	0	0	0	0	0
CO ₂	0	0,01326057	0,040631122	0,040631122	0,040631122	0	0,040630665	0	0,04058503
H ⁺	0	0	0,003672169	0,003672169	0,003672169	0	0,003672128	0	0,003668003
H ₂ S	0,00E+00	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
NA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O ₃	0	0	0	0	0	1	2,25E-06	0	2,25E-06
SO ₄ ²⁻	0,004249862	0	0,004130405	0,004130405	0,004130405	0	0,004130358	0	0,004125719
BACL ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00E+00
CL-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BA ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BASO ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NACL	0	0	0	0	0	0	0	1	0,001123149
NA ⁺	0,002034067	0	0,001976892	0,001976892	0,001976892	0	0,00197687	0	0,00197465

ANEXO 5.

CERTIFICADO CONGRESO CAR



Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR
Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental
República de Colombia

CERTIFICADO

3er CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN AMBIENTAL CNIIA 2022

El comité organizador del *3er Congreso Internacional de Investigación e Innovación Ambiental CNIIA 2022*, *2do Foro Internacional de Cambio climático* y *4to Encuentro Nacional de Autoridades Ambientales*, se permite certificar que **DIEGO ALEJANDRO REYES CHAMORRO** identificado con documento de identidad número 1013676151 en representación de la Universidad de América, participó como ponente en la modalidad de **POSTER**, con el proyecto titulado "Tecnologías con potencial aplicación de remediación de lagos artificiales y naturales para la remoción de sales, sulfatos para la mejora de la oxigenación según principios de adaptación climática.". Este espacio se realizó del 9 al 11 de noviembre del año 2022 en el centro de convenciones Ágora en la ciudad de Bogotá, en modalidad presencial.

La presente certificación se expide a los 21 días del mes de noviembre por solicitud expresa del interesado y para sus fines pertinentes dentro de la entidad que representa.

EDWIN GIOVANI GARCIA MASMELA
Director de Laboratorio e Innovación Ambiental

Elaboró: Carlos Emilio Gutiérrez Ulloa / DLIA

ANEXO 6.

RECOMENDACIONES

Medir OD, nitrógeno total, fosforo, sulfatos, DBOs, DQO, grasas, aceites, OD, en las muestras de agua y realizar el muestreo aleatorio simple en al menos 6 puntos del Lago sochagota.

Emplear Reacciones de disociación de iones para el modelamiento.

Medir temperatura de la columna de agua como se hizo en este trabajo.

Emplear más de un análisis de sensibilidad para la optimización de procesos.

Usar Oxígeno puro como alternativa de diseño a las propuestas donde el solvente no oxigena la columna de agua.

Realizar adecuadamente la selección del paquete de propiedades termodinámicas.

Seguir las ecuaciones de diseño para diferentes equipos.

Buscar las cinéticas para el escalamiento de reactores como el reactor flujo pistón o tanque de agitación continua.

Emplear uno o más intercambiadores de tubos y coraza para enfriar el vapor de proceso en la propuesta 2.

Realizar análisis paramétrico en las columnas de absorción en función de la presión del gas.

Emplear curvas de desempeño en las bombas para análisis.

Emplear flash para separar dos líquidos en fase heterogénea.

Utilizar columnas modeladas por ecuaciones de FUG para encontrar el número de etapas, la relación de reflujo y la tasa de alimentación requerida para la separación