Desarrollo de un sistema con tecnología SCADA para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua en el humedal de Salpa en el municipio de Paipa, Boyacá.

Maria Alejandra Pérez Dimaté
Andrés Felipe Torres Veloza

Universidad El Bosque
Facultad de ingeniería
Programa de Bioingeniería
Bogotá D.C, Colombia
2023

Desarrollo de un sistema con tecnología SCADA para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua en el humedal de Salpa en el municipio de Paipa, Boyacá.

Maria Alejandra Pérez Dimaté
Andrés Felipe Torres Veloza

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de:
Bioingeniero

Tutor:
José Alfonso Avellaneda
Cotutor:
Juan José Carrillo

Universidad El Bosque
Facultad de ingeniería
Programa de Bioingeniería
Bogotá D.C, Colombia
2023

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, 30 de Julio del 2024

AGRADECIMIENTOS

Dedicamos los agradecimientos especialmente a los docentes José Alfonso Avellaneda Cusaria y Juan José Carrillo Castellanos quienes fueron los encargados de guiarnos en el proceso del desarrollo del trabajo de grado, además de agradecer a todos los docentes que nos dieron una mano en los momentos de gran dificultad.

Agradecer a la Universidad El Bosque por darnos la oportunidad de brindarnos los conocimientos y herramientas necesarias para el desarrollo del proyecto.

Agradecer a nuestros familiares, los cuales fueron el motivo principal por el cual logramos llegar a las últimas estancias de la carrera, siendo pilares fundamentales por la confianza y el apoyo brindado.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN **16**
2. OBJETIVOS **18**
2.1 OBJETIVO GENERAL 18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **19**
3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 19
3.2. JUSTIFICACIÓN 22
4. MARCO REFERENCIAL **25**
4.1 Marco Teórico 25
4.2. Marco geográfico 38
4.3. Marco legal 41
5. ESTADO DEL ARTE **43**
6. LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS **48**
6.1. Funcionales 48
6.2. Calidad 48
6.3. Restricción 49
7. METODOLOGÍA **50**
7.1. Fase 1. Conceptualización 50
7.2. Fase 2. Diseño 60
7.3. Fase 3. Construcción 73
7.4. Fase 4. Implementación 75
7.5. Fase 5. Pruebas 75
7.6. Fase 6. Evaluación 76
8. RESULTADOS Y ANÁLISIS **77**
8.1. Fase 1: Conceptualización 77
9.2 Fase 2: Diseño 104
9.2.1 Diseño detallado 105
8.2.2 Diseño industrial 109
8.3 Fase 3: Construcción 110
8.4 Fase 5: Pruebas 118
8.6 Fase 6: Evaluación (análisis de puntos de muestreo) 122
9. CONCLUSIONES **144**
10. RECOMENDACIONES **146**
11. BIBLIOGRAFÍA **147**
12. ANEXOS **155**

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de rango de evaluación del ICA - Puntuación
(H. A. Muhlhau-ser, 2014)
Tabla 2. Tabla de rango de evaluación del ICA
(H. A. Muhlhau-ser, 2014)
Tabla 3. Tabla de decisión sensor de pH
Tabla 4. Tabla de decisión sensor de turbidez
Tabla 5. Tabla de características del sensor de TDS (sólidos disueltos)
Tabla 6. Tabla de decisión del microcontrolador
Tabla 7. Tabla de decisión del software para almacenar y visualizar datos
Tabla 8. Tabla de decisión del material de cobertura
Tabla 9. Tabla de decisión del material de cobertura para sistema solar
Tabla 10. Tabla de decisión de la red de internet a usar
Tabla 11. Organización de cada informante y su perfil
Tabla 12. Matriz de análisis cualitativo de las entrevistas.
Tabla 13. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en el humedal Salpa en el municipio de Paipa
Tabla 14. Actividades realizadas en campo
Tabla 15. Propiedades organolépticas del agua en cada punto de monitoreo
Tabla 16. Resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos con el multiparámetro
Tabla 17. Matriz de análisis cualitativo de avifauna presente en el humedal Salpa
Tabla 18. Matriz de análisis para la información suministrada por los profesionales. Calidad del agua
Tabla 19. Datos de los parámetros con mayior variación entre punto y punto
Tabla 20. Sólidos disueltos en los puntos de muestreo del centro de biosistemas.
Tabla 21. Servicios ecosistémicos
Tabla 22. Matriz de factores interdependientes que determinan la cantidad, calidad y dinámica del agua
Tabla 23. Tabla de comparación datos pH punto 1
Tabla 24. Tabla comparación pH punto 2
Tabla 25. Tabla comparación pH punto 3

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de aguas termominerales (termales), (Yupanqui, 2006).
Figura 2. Modelo de las capas en SCADA (Corrales, L., 2007)
Figura 3. Mapa de Boyacá con la ubicación geográfica del municipio de Paipa (Administrator, n.d.).
Figura 4. Delimitación del terreno del humedal salpa Paipa, Boyacá
Figura 5. Ubicación satelital del humedal de salpa en el municipio de Paipa, Boyacá
Figura 6. Sistema de monitoreo usando SCADA para turbinas de aire (parte de "detection"
Figura 7. Arquitectura del sistema SCADA de la referencia bibliográfica
Figura 8. Arquitectura del sistema SCADA de la referencia bibliográfica para un acondicionador de señal.
Figura 9. Arquitectura del sistema SCADA de la referencia bibliográfica que utiliza ESP32 "Thing".
Figura 10. Arquitectura del sistema SCADA de referencia bibliográfica para sistemas automatizados de supervisión de fuego.
Figura 11. Arquitectura del sistema SCADA de referencia bibliográfica para sistemas de monitoreo a tiempo real de la calidad de agua de un río.
Figura 12. Diagrama sistema SCADA a utilizar de la referencia bibliográfica para control y monitoreo de un PTAR en la ciudad de Huanca Sancos
Figura 13. Diagrama de flujo de la metodología para cumplimiento del primer objetivo específico del proyecto.
Figura 14. Diagrama de las actividades propuestas para la recolección de datos
Figura 15. Imagen satelital del humedal de Salpa, con la ubicación de los puntos de muestreo seleccionados.
Figura 16.Imagen del primer punto de muestreo (EH) del humedal Salpa.
Figura 17. Imagen del segundo punto de muestreo (IH) del humedal de Salpa.
Figura 18.Imagen del tercer punto de muestreo (SH) del humedal de Salpa.
Figura 19. Imagen de diagrama de caja negra
Figura 20. Imagen de diagrama de caja gris
Figura 21. Diagrama de flujo de código para la comunicación de sensores con el software escogido
Figura 22. Diagrama de flujo de código para la comunicación de sensores con el software escogido
Figura 23. Bornera de expansión para ESP32
Figura 24. Canal ITP
Figura 25. Distribución del perfil de cada informante.
Figura 26. Distribución de los actores involucrados que les gustaría ver un proceso de restauración.
Figura 27. Nacimiento natural de agua salina en el humedal Salpa
Figura 28. Acompañamiento de la corporación en el montaje del sistema de monitoreo SCADA en el punto (EH)
Figura 29. Visita punto (IH)

Figura 30. Datos observados del funcionamiento del sistema de monitoreo
Figura 31. Visita punto (SH)
Figura 32. Avifauna encontrada en el humedal Salpa (Bohorquez, A. G., 2017).
Figura 33. Tringa solitaria (Monroy C, 2021)
Figura 34. Chrysomus icterocephalus (Chris, 2023)
Figura 35. Orochelidon murina (Silva J, 2023)
Figura 36. Turdus fuscater (Silva J, 2023)
Figura 37.Mimus Gilvus (Silva J, 2023)
Figura 38. Residuos sólidos arrojados al costado derecho del humedal.
Figura 39. Residuos sólidos arrojados dentro del humedal en el primer punto de muestreo EH.
Figura 40. Cuencas hidrográficas que hacen parte del municipio de Paipa, haciendo referencia a las que pasan por el humedal.
Figura 41. Formación del sistema térmico geotermal(cita).
Figura 42. Sulfato de sodio concentrado cerca de la superficie
Figura 43. Paisaje salino (humedal Salpa)
Figura 44. Módulo PH PH-4502C
Figura 45. Sensor de turbidez SKU SEN0189
Figura 46. Sensor de turbidez SKU SEN0244
Figura 47. Microcontrolador escogido (ESP32)
Figura 48. Esquemático montaje sensores 1
Figura 49. Esquemático montaje sensores 2
Figura 50. Tubo de PVC
Figura 51. Figura de diseño de cobertura de planta solar (con el material de madera)
Figura 52. Planos cobertura de planta solar
Figura 53. Cobertura de planta solar imagen #1
Figura 54. Ensamblaje eléctrico del sistema (sensores y microcontrolador)
Figura 55. Sistema de monitoreo (parte de sensores y ensamblaje con tubo) completa
Figura 56. Kit alimentación solar para el sistema (el kit contiene plantas y 2 paneles, uno para cargar el celular y el otro panel junto con la planta para dar alimentación a la parte electrónica del sistema)
Figura 57. Sistema de monitoreo completo-1 (parte electrónica y alimentación ensamblados).
Figura 58. Preparación del dispositivo para la instalación en los puntos de monitoreo.
Figura 59. Base (estaca) para montar el sistema en los puntos seleccionados.
Figura 60. Montaje del sistema en el primer punto escogido (EH).
Figura 61. Montaje del sistema en el segundo punto escogido (IH).
Figura 62. Montaje del sistema en el tercer punto escogido (SH).
Figura 63. Visualización de los datos en el primer momento que está monitoreando, almacenados el software ThingSpeak (ThingViewer) (los datos mostrados corresponden al uno de los canales del sistema)

Figura 64. Visualización de los datos en el momento que el sistema está monitoreando vistos desde la aplicación móvil en el software ThingSpeak (los datos mostrados corresponden a uno de los canales del sistema)
Figura 65. Gráfica pH (ejemplo de lectura de un periodo (primer día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas)
Figura 66. Gráfica pH (en general por días).
Figura 67. Diagrama de barras de la pH del primer punto a lo largo de los días de monitoreo
Figura 68. Gráfica turbidez (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas)
Figura 69. Gráfica turbidez (en general por días)
Figura 70. Diagrama de barras de la turbidez del primer punto a lo largo de los días de monitoreo
Figura 71. Gráfica sólidos disueltos (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas).
Figura 72. Gráfica sólidos disueltos (en general por días)
Figura 73. Diagrama de barras de los TDS del primer punto a lo largo de los días de monitoreo
Figura 74. Gráfica pH (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas)
Figura 75. Gráfica pH (en general por días)
Figura 76. Diagrama de barras del pH del segundo punto a lo largo de los días de monitoreo
Figura 77. Gráfica turbidez (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas)
Figura 78. Gráfica turbidez (en general por días)
Figura 79. Diagrama de barras de la turbidez del segundo punto a lo largo de los días de monitoreo
Figura 80. Gráfica sólidos disueltos (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas)
Figura 81. Gráfica sólidos disueltos (en general por días).
Figura 82. Diagrama de barras de los TDS del segundo punto a lo largo de los días de monitoreo.

Figura 83. Gráfica pH (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas).
Figura 84. Gráfica pH (en general por días)
Figura 85. Diagrama de barras del pH del tercer punto a lo largo de los días de monitoreo
Figura 86. Gráfica Turbidez (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas).
Figura 87. Gráfica Turbidez (en general por días).
Figura 88. Diagrama de barras de la turbidez del tercer punto a lo largo de los días de monitoreo.
Figura 89. Gráfica TDS (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas).
Figura 90. Gráfica TDS (en general por días).
Figura 91. Diagrama de barras de los TDS del tercer punto a lo largo de los días de monitoreo.

LISTA DE ANEXOS

12.1. Anexo A. Código OTA (para conexión inalámbrica)

12.2. Anexo B. Código comunicación y funciones de sensores

12.3. Datos de parámetros de los monitoreos realizados a los puntos de muestreo (filtrados y demás).

12.4. Protocolo de pruebas

12.5. Anexos de componentes electrónicos ensamblados y demás imágenes del sistema

12.6. Video donde se observa el sistema en uno de los puntos (SH) de monitoreo

12.7. Video explicativo de funcionamiento (prueba del sistema)

12.8. Anexo link excel comparativo

12.9. Manual de usuario

GLOSARIO

Humedal: terreno de aguas superficiales o subterráneas con poca profundidad

Scada: supervisión, control y adquisición de datos

pH: índice que expresa la acidez o alcalinidad de algún objeto o sustancia

PVC: policloruro de vinilo, es una combinación de componentes como carbono, hidrógeno y cloro

Sólidos disueltos: cualquier sólido disuelto en el agua

Turbidez: turbio (opaco)

RESUMEN

El humedal de Salpa es el único en Colombia compuesto por agua salina, se encuentra ubicado en el municipio de Paipa en el departamento de Boyacá a un costado de las piscinas termales y del aeropuerto Juan José Rondón, sin embargo su mayor problema es el deterioro por degradación antrópica, cambio climático y carencia de un ente ejecutor en materia de autoridad del estado que haga control, vigilancia y uso adecuado de los recursos naturales del humedal, lo cual limita el desarrollo social, económico y ecológico, por lo tanto se desarrolla un sistema SCADA de monitoreo de parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez y sólidos disueltos) de forma automática y remota para el almacenamiento de datos de dos meses con su posterior análisis de variables, esto como insumo para la generación de una línea base puesto que no hay documentación referente a su estado actual y con la información obtenida dar un aporte de conocimiento a la Corporacion Autonoma de Boyacá, así como a la comunidad interesada de los hallazgos encontrados en cuanto a al estudio de variables sociales, económicas, ecológicas y desde los parámetros obtenidos de la calidad del agua del humedal, esto con el fin de contribuir al proceso de apropiación social y ecológica del entendimiento técnico, y a que los profesionales de Corpoboyaca puedan fortalecer su actividad en manejo y toma de decisiones en sus recursos asociados como es el humedal salino, lo cual permite encadenar parte de este conocimiento al ambito ecologico y social.

PALABRAS CLAVE: sistema de monitoreo, salinidad, tecnología, variables ambientales

ABSTRACT

The Salpa wetland is the only one in Colombia composed of saline water, located in the municipality of Paipa in the department of Boyacá, next to the thermal pools and the Juan José Rondón airport; however, its main problem is deterioration due to anthropogenic degradation, climate change and the lack of an executing entity in terms of state control authority, This limits social, economic and ecological development. Therefore, a SCADA system is being developed to monitor physicochemical parameters (pH, turbidity and dissolved solids) automatically and remotely for two months of data storage and subsequent analysis of variables, this as an input for the generation of a baseline since there is no documentation regarding its current status and with the information obtained to give a contribution of knowledge to the Autonomous Corporation of Boyacá, as well as to the community interested in the findings found in terms of the study of social, economic and ecological variables, ecological and from the parameters obtained from the water quality of the wetland, this in order to contribute to the process of social and ecological appropriation of the technical understanding, and that Corpoboyaca professionals can strengthen their activity in management and decision making in their associated resources such as the saline wetland, which allows to link part of this knowledge to the ecological and social environment.

KEY WORDS: monitoring system, salinity, technology, environmental variables.

INTRODUCCIÓN

Colombia tiene grandes reservas de agua, sin embargo, alrededor de un 50% de las fuentes hídricas que componen el territorio colombiano se encuentran en un estado de contaminación, ocasionando varias afectaciones a la flora y fauna en los ambientes que se encuentran (Carriazo Regino, 2021).

En Paipa, departamento de Boyacá, existen manantiales termales los cuales son el mayor atractivo turístico del municipio por la composición de sus aguas salinas. Las piscinas ITP poseen aguas termales que provienen del humedal Salpa, el cual se encuentra a un costado de dichas piscinas, además, dicho humedal hace parte del estudio de recursos geotérmicos del país; debido a esto, es de vital importancia su cuidado y restauración. El humedal se encuentra actualmente en un periodo de sequía por el cambio climático y por la degradación antrópica, además por la falta de gestión que el ente ejecutor en materia de autoridad no ha realizado para obtener los recursos económicos y técnicos para su protección y manejo, por tal motivo no hay datos de las condiciones ambientales y/o registros fisicoquímicos de la calidad del agua en el humedal.

Teniendo en cuenta esta información, es de vital importancia realizar una línea base de conocimiento para informar características importantes en la calidad del agua del humedal, empezando por hacer un análisis de variables sociales, económicas y ecológicas, de las cuales se derivan una serie de entrevistas, revisiones bibliográficas, visitas en campo, medición de parámetros fisicoquímicos del agua, revisión bibliográfica de avifauna, observación de residuos sólidos, servicios ecosistémicos que brinda el humedal; realizando una recopilación de información y conocimiento para tener en cuenta en el desarrollo de un sistema de monitoreo con tecnología SCADA el cual ayuda a conocer por otra parte ciertos rasgos de la calidad el agua del humedal, teniendo en cuenta la medición de parámetros fisicoquímicos de pH, sólidos disueltos y turbidez.

Teniendo en cuenta que el humedal Salpa se encuentra dentro del área protegida al DRMI Lago Sochagota, la cual cuenta con un plan de manejo ambiental definido en el acuerdo 004 de 2019 donde es importante la participación de los actores públicos y privados, la Corporación Autónoma de Boyacá como un actor público cuyas acciones y actividades económicas y sociales están encaminadas a la investigación y protección; contribuye a dar cumplimiento a los objetos de conservación del DRMI establecidos en dicho acuerdo.

El propósito de este proyecto es entregar los resultados a la Corporación Autónoma Regional de Boyacá ya que servirá de base para que esta entidad como autoridad ambiental posea nuevos elementos para la ordenación y el manejo de este cuerpo hídrico,.

Este proyecto presenta el desarrollo de un artefacto tecnológico para dar apoyo al manejo y conservación del agua mediante un monitoreo de parámetros fisicoquímicos del humedal Salpa, lo cual ubica este proyecto en el contexto de estudio del programa de bioingeniería de la Universidad El Bosque.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema con tecnología SCADA para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua en el humedal de Salpa en el municipio de Paipa, Boyacá

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis descriptivo de la fuente hídrica con variables sociales, económicas y ecológicas en el humedal Salpa.

- Diseñar el hardware y el software con tecnología SCADA del sistema de adquisición de datos para monitoreo de los parámetros físico- químicos del cuerpo de agua en el humedal Salpa.

- Construir un sistema con tecnología SCADA que permita la adquisición de datos para el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua en el humedal Salpa.

- Evaluar el funcionamiento del sistema con tecnología SCADA en función del monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua en el humedal Salpa.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la sostenibilidad del agua (el concepto de sostenibilidad del agua tomado de Carriazo Regino, 2021) hace relación, como lo plantea el autor, a la condición de calidad y disponibilidad de la misma para una población determinada, lo cual cuando está en cuestión genera conflictos ambientales. Es precisamente ahí donde se ubica el problema: El deterioro del humedal salino se convierte en un conflicto ambiental a resolver, para lo cual un monitoreo permanente de indicadores de la calidad del agua como son el pH, los sólidos disueltos y la turbidez pueden contribuir a que los tomadores de decisiones tengan argumentos de peso para atender el conflicto ambiental latente que existe en este cuerpo hídrico léntico). Es un conflicto ambiental muy importante de abordar puesto que es indispensable para el progreso de los municipios ya que proporciona el desarrollo productivo. Por esto se desarrollan controles de la calidad del agua, iniciando por los parámetros físicos, químicos y biológicos de cómo pueden verse afectados. Colombia es uno de los países con mayores reservas de agua en el mundo, aunque cerca del 50 % de fuentes hídricas, cuenta con problemas de contaminación, siendo esto una gran consecuencia para el ecosistema; ocasionando también daños en la salud y restringiendo cualquier tipo de consumo de esta (Carriazo Regino, 2021).

En la actualidad, el sector turístico en el municipio de Paipa Boyacá mantiene su economía a base de atractivos turísticos, como lo son: las piscinas termales, el Lago Sochagota y el Pantano de Vargas. Donde los cuerpos de agua conforman los dos humedales actuales del municipio, los cuales no cuentan con la atención y vigilancia requerida para su conservación según el director de Corpoboyacá Hernán Amaya Tellez, el cual menciona que no se hace el debido manejo y monitoreo de estos cuerpos de agua, por presupuesto económico.

Por lo mencionado anteriormente, los humedales no hacen parte de los atractivos turísticos del municipio de Paipa, puesto que no se ha brindado el debido manejo por parte de las entidades encargadas, que implica su funcionamiento eficiente referente a los servicios ecosistémicos que brindan a la comunidad y por ende no se ha realizado un diagnóstico de la calidad del agua para este sistema natural; lo cual genera inconsistencia de su estado.

Anteriormente el humedal salino “La Esperanza” (ubicado entre el hotel la casona del salitre y el aeropuerto Juan José Rondón) y el de Salpa (ubicado en la vía hacia la vereda de caños), componían un mismo humedal con un área (equivalente a 16,28 Ha) de los cuales en el plan de desarrollo de la alcaldía de Paipa menciona que se descuida su protección por lo que está repercutiendo negativamente, debido a que estos humedales se fueron separando con el tiempo por la construcción del ITP Paipa (piscinas termales) en el año 1964 y por la construcción del aeropuerto Juan José Rondón (Corpoboyacá socializa en Paipa el proceso de homologación del Distrito de Manejo Integrado Lago Sochagota”, 2022).

El humedal de Salpa hace parte del sistema geotermal de Paipa; el cual está bajo la dirección de Ideboy, donde actualmente no se reconoce la importancia de este humedal a pesar de ser uno de los más sulfatados y salinos de Colombia, lo cual da un valor agregado, en términos de su fauna y flora; la cual ha tenido riesgos asociados con los procesos urbanísticos, teniendo que al margen está la pista del aeropuerto y los procesos actuales de ampliación, en el cual se encuentran escombros, por lo tanto hay riesgo de obstrucción y por ende generar un aislamiento de la avifauna y de la fauna silvestre en general de la zona (Gutiérrez- Bohórquez, A. M, 2010).

Este humedal salino tiene un valor de predominio geoquímico sobre el desarrollo de los recursos hídricos, de sus variables ecológicas y económicas para este mismo ecosistema, vulnerables a la contaminación, donde sus accesos principales son la escorrentía y su saliente es la evapotranspiración; aquí los solutos actuales los llevan a la precipitación directa por su trayecto de escorrentía superficial; por lo tanto son ecosistemas complejos y dinámicos, en los cuales se llevan a cabo los procesos físicos y biogeoquímicos, los cuales controlan el desarrollo químico del agua del humedal, como su agua subterránea, de sedimentos y biocenosis del ecosistema (Senhadji-Navarro, K., Ruiz-Ochoa, M. A., y Rodríguez Miranda, J. P, 2017).

Las aguas residuales termominerales permanecen un tiempo en las dársenas del humedal y dependiendo de su cantidad son evacuadas por una compuerta que llega al canal del instituto de turismo, de ahí evacuan al canal de Vargas, el cual recibe agua de la quebrada (humedal salino) del cual desemboca al Río Chicamocha, lo que conlleva a un problema, siendo afectado porque se encuentra en una zona hotelera con piscinas “termales”, provocando un caudal de aguas termominerales, ocasionando que el porcentaje de la salinidad del humedal crezca por su alta cantidad en cuanto Fe, Pb, Zn, S y As (hierro, plomo, zinc, azufre y arsénico), permitiendo incluso legalmente la permeabilidad en cuanto el rango de vertimientos de aguas termominerales de hoteles con piscinas termales (Ricardo, Jiménez, Patricia y Jiménez, 2021 ; Aponte, 2019).

Recientemente en un informe de la Universidad de Boyacá “RESILIENCIA Y GESTIÓN DE SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS ESTRATÉGICOS PARA LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA, EN ESCENARIOS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA. CASO DE ESTUDIO: LAGO SOCHAGOTA DE 2018”, mencionan que en las dársenas se encuentran residuos de aguas termominerales, las cuales tienen gran porcentaje de salinidad y turbidez; por ende, afectaciones en su temperatura interna, ya que generan desecación, pérdida hídrica y a su paso la flora y fauna que habita en el humedal (Grupos de investigación Gestión de Recursos Hídricos, 2020).

Por lo mencionado anteriormente, el problema principal trasciende en el humedal Salpa ya que al no hacer parte de los atractivos turísticos del municipio de Paipa, no se le ha proporcionado el debido manejo por parte de las entidades encargadas, lo cual ha impedido un buen funcionamiento en cuanto a los servicios ecosistémicos que pueden brindar a la comunidad como en el turismo y economía y por ende la falta de información y desactualización de su estado; que por lo citado en los párrafos precedentes, se evidencia también el deterioro ambiental por la contaminación externa que se presenta en el humedal, pese que a simple vista son notorios los procesos de degradación antrópica progresiva de años atrás.

3.2. JUSTIFICACIÓN

Uno de los elementos o recursos naturales más importantes del planeta es el agua, el cual constituye directa o indirectamente varios procesos naturales para el equilibrio y supervivencia de las distintas formas de vida en la tierra. En Colombia, aún teniendo un potencial hídrico tres veces mayor en comparación con los demás países sudamericanos, se tiene un índice elevado de tasas de baja calidad hídrica (contaminada), el cual está relacionado con actividades agrícolas, mineras o por condiciones geológicas o hidrológicas (Gualdrón, 2016).

En el municipio de Paipa - Boyacá (Colombia), especialmente en la vereda de la esperanza (ubicado en la casona del salitre y el aeropuerto Juan José Rondón y el de Salpa), la mayoría de las fuentes hídricas (principalmente humedales) presentes brindan los siguientes servicios ecosistémicos en términos generales (servicios que brindan los ecosistemas a los demás entes vivientes, incluido el bienestar humano): servicio de biodiversidad y hábitat y servicio cultural. Por lo que, al recuperar los cuerpos hídricos afectados en el municipio, no solo sería primordial para su actividad económica recreativa (turismo), el cual tiene un potencial de atractivo turístico para las personas, sino que también ayudaría a evitar las alteraciones en el sistema ambiental alrededor del humedal. Siendo importante una revisión de las variables, principalmente físico químicas y factores secundarios que puedan afectar el humedal.

Una tecnología que ayuda puede ayudar en la revisión de variables, principalmente en la recolección de información de variables de tipo físico químico es la tecnología de tipo SCADA, el cual se define como: dispositivos conectados a una red, que tienen la capacidad de recolectar datos del entorno en el cual se ubicaron, para que los datos recolectados se puedan compartir con otros dispositivos. Por lo que la tecnología SCADA facilita la tarea en cuanto a recolección de información y el cual ayuda a que se puedan realizar análisis o tomar decisiones ahorrando recursos económicos en cuanto al desarrollo de algún proyecto a realizar (Cuaran Cuaran, 2020; Corrales, L., 2007).

El tipo de tecnología SCADA tiene otro tipo de sistemas desarrollados como el IoT (Internet Of Things), la cual, es útil para sistemas que tengan que ver con monitoreo para

manejarlo fácilmente. Mencionando lo anteriormente, se pretende proponer, el desarrollo de un prototipo de sistema de monitoreo apoyado en SCADA, para determinar parámetros fisicoquímicos en tiempo real de la calidad del agua en el humedal salino de Salpa en el municipio de Paipa Boyacá.

Este sistema de monitoreo apoyado en SCADA, que mediante la ayuda de sensores, un software de almacenamiento, visualización y un microcontrolador, pueda verificar el sistema de monitoreo para poder proporcionar la información en línea de forma automática y remota, priorizando variables fisicoquímicas para el beneficiario del proyecto el cual tiene un enfoque de preservación del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales siendo "Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá)", en este caso la información y análisis que se realizará de los datos del sistema de monitoreo al humedal de Salpa, será brindada a la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyaca), que con la ayuda de los profesionales correspondientes que laboran en la corporación, ejecutarán las investigaciones debidas, según lo recolectado por el sistema, aportandoles una línea base de información que les contribuirá a la toma de decisiones realizadas por los respectivos profesionales de la corporación, en los procesos de planificación y protección del humedal, especialmente para planes de manejo que se vayan a realizar en los municipios del departamento de Boyacá, en este caso, la información recolectada contribuiría al plan de manejo que se vaya a realizar en el municipio de Paipa. Por lo que mediante este sistema facilitará la tarea del seguimiento de monitoreo del cuerpo de agua (humedal de Salpa), ayudando en la recolección continua de información para el debido análisis que realicen los profesionales y/o profesional que necesite de los datos; en este caso la información es para el cliente (Corpoboyaca). El proyecto pretende que se enfoque también en otros entes ambientales, y personas del común, porque es de vital importancia la información que se vaya a recolectar por medio del sistema, junto con su debido análisis, para dar a entender la importancia del cuidado de este tipo de humedal.

Siendo fundamental la bioingeniería en el diseño del sistema de monitoreo, ya que se realizaría el sistema teniendo en cuenta el ente biológico (humedal), especialmente sus variables fisicoquímicas a estudiar (pH, turbidez, sólidos disueltos, entre otros); los cuales están relacionados con la calidad del agua del humedal. Igualmente, el sistema de monitoreo propuesto en línea de forma automática y remota, mediante el cual se obtiene las principales variables fisicoquímicas de un cuerpo de agua, tiene como novedoso más que la medición, es la forma en cómo se realizará la medición, ya que el sistema facilita la tarea del usuario, ahorrando dificultades tales como:

- En los procesos para adquirir algún equipo de medición al momento que se requiera

- Facilitará las mediciones, ya que no se requerirá estar en la zona que se va a medir en los momentos que se requiera información
- La información siempre estará disponible en el software (portabilidad de datos), ya que se almacenará e incluso se visualizará facilitando la tarea del profesional que realizará el debido análisis, por tal razón el uso de la tecnología tipo SCADA

En cuanto innovación en el campo tecnológico, el sistema utiliza celdas solares que sirven de soporte para recargar los componentes externos (principalmente el dispositivo para suministrar internet), junto con una "mini" planta, que suministra la energía a los sensores respectivos, ya que el humedal al encontrarse en un lugar remoto, no se encuentran conexiones locales para una alimentación directa de corriente, por tal razón el uso de un sistema solar. Mediante la configuración de tipo SCADA, brindando comodidad al momento de las mediciones a nuestro cliente mencionado anteriormente, se parametriza la señal de internet de un celular (siendo mucho más sencillo de utilizar) o un modem de internet que se deja "in situ", que sirve de enlace entre los sensores y punto de recepción en cualquier sitio o lugar, ayudando a visualizar los datos en cualquier parte sin necesidad de estar en la zona a monitorear, siempre y cuando haya una óptima conexión a internet. Además de poder añadir más sensores que miden diferentes parámetros, y de tener la posibilidad de cambiar la sonda dependiendo la profundidad a monitorear. Finalmente otra ventaja que tiene el sistema, es su costo, ya que es económico a comparación de un equipo de mayor precio que pueda medir las mismas variables, como por ejemplo un multiparámetro, ya que para el caso de un multiparámetro y dependiendo del tipo, variara la clase de sensor o sensores que lo componen (además si vienen ajustados) sin tener la opción de agregar un sensor nuevo (como se mencionó anteriormente) según la variable que se requiera su medición, dado que estos equipos vienen con sensores ya predeterminados.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Marco Teórico

4.1.1. Humedales

Los humedales se definen como áreas que se encuentran en condiciones de inundación ya sea de manera permanente o intermitente, los humedales dan lugar a un ecosistema híbrido siendo un híbrido entre los ecosistemas terrestres y los acuáticos. Como característica principal de los humedales se tiene que estos poseen una escasa profundidad. (Fierro Ortiz, E. and Caballero Rodríguez, L.E., 2015)

4.1.2. Función de los Humedales

Los humedales son de gran importancia para la biodiversidad ya que ayudan a la regulación del sistema hídrico y el almacenamiento del carbono. En áreas urbanas presentan un gran aporte debido a los servicios ecosistémicos que estos proporcionan, como almacenamiento de energías, regulación, purificación de sistemas hídricos y ayudan a la filtración de sedimentos. (Fierro Ortiz, E. and Caballero Rodríiguez, L.E., 2015)

4.1.3. Porque se crean los humedales

Los humedales se forman cuando el agua se acumula en áreas bajas de un terreno el cual posee un drenaje muy pobre o escaso. El agua que llena los humedales viene de muchas fuentes como pueden ser lluvia, fuentes subterráneas la cual emerge a la superficie en ocasiones y desbordamiento de ríos. (Fierro Ortiz, E. and Caballero Rodríguez, L.E., 2015)

4.1.4. Humedal salino

La principal particularidad de estos es la concentración elevada de sales en sus aguas y esto debido a que suelen encontrarse en entornos cuya geología favorece su acumulación. Adicional a estos humedales, están entre los ecosistemas más variados y productivos del mundo, brindando diversos servicios ecosistémicos como el sustento de la biodiversidad, el control de las inundaciones, ayudan a la retención de nutrientes y la purificación del agua

(Fierro Ortiz, E. and Caballero Rodríguez, L.E., 2015). Como se puede observar en la figura 1.

Figura 1. Humedal Salpa

4.1.5. Servicios ecosistémicos

Un servicio ecosistémico se define como los bienes y servicios que ofrecen los ecosistemas (Valdez y Ruiz, 2011).

Estos se pueden dividir en:

- Servicio de biodiversidad y de hábitat: brinda variedad y calidad de fauna y flora, además de resguardar y proteger esas especies para su reproducción (Valdez y Ruiz, 2011).

- Servicio cultural: brinda beneficios no materiales que se pueden obtener del medio ambiente, como la recreación o turismo en ese ecosistema (Valdez Ruiz, 2011).

De los cuales estos 2 tipos de servicios ecosistémicos provienen de los servicios ecosistémicos de provisión y regulación, en el caso del servicio de biodiversidad y de hábitat, y servicio ecosistémico cultural en el caso del servicio cultural. De los cuales los servicios ecosistémicos de regulación y provisión en el caso de un humedal brindaría (Reid, W., Mooney, H., y Crooper, A, et al., 2007).

- Servicio de provisión de agua, para darle un uso para consumo doméstico, industrial y riego (servicio de provisión) (Reid, W., Mooney, H., Crooper, A, et al., 2007).

- Servicio de regulación del agua y purificación del agua (Reid, W., Mooney, H., Crooper, A, et al., 2007).

- Servicio de riesgos naturales, de los cuales los humedales hacen parte de los amortiguadores naturales, ya que estos ayudan a la regulación de sedimentos del agua antes de ubicarse en otros cuerpos hídricos (ríos, lagos, etc) (Reid, W., Mooney, H., Crooper, A, et al., 2007).

- Servicio de biodiversidad y de hábitat, hace referencia a la diversidad de especies de flora y fauna que habitan allí (Valdez Ruiz, 2011; Reid, W., Mooney, H., Crooper, A, et al., 2007).

Y en cuanto al servicio ecosistémico cultural este a su vez proporciona los servicios:

- Servicios estéticos en el ambiente (Reid, W., Mooney, H., Crooper, A, et al., 2007).

- Servicio de recreación y ecoturismo (servicio cultural), es decir tener un área "verde" grande con áreas accesibles para las personas (Reid, W., Mooney, H., Crooper, A, et al., 2007).

- Valores espirituales y religiosos, valor religioso que le brinda la persona al espacio o ambiente (Reid, W., Mooney, H., Crooper, A, et al., 2007).

Los primeros son productos tangibles de la naturaleza (madera, frutos, agua, suelo, plantas medicinales) de los que nos beneficiamos directamente los seres humanos. (Introducción a los servicios ambientales SECRETARIA DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (REPÚBLICA FEDERAL DE MÉXICO).

Se pueden encontrar varios servicios ambientales, tales como:

- Captura de carbono
- Diversidad biológica
- Ecoturismo, entre otros (Introducción a los servicios ambientales SECRETARIA DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (REPÚBLICA FEDERAL DE MÉXICO).

4.1.6. Aguas subterráneas

Los termales son aguas subterráneas las cuales, varían en sus características fisicoquímicas, encontrándose varios tipos de aguas o corrientes hídricas subterráneas, siendo importante conocer su clasificación, ya que el porcentaje de minerales que se disolvieron en el agua cambia (Introducción al Termalismo.,n.d).

Por lo que las aguas subterráneas se clasifican, dependiendo de su origen (Introducción al Termalismo.,n.d):

- **Superficiales:** mares y lagos (Introducción al Termalismo., n.d).

- **Infiltración:** red hidrológica subterránea, cuyo origen es el ciclo hidrológico. En este tipo de aguas subterráneas es donde encontramos las aguas termales

Se clasifican dependiendo de la temperatura (Introducción al Termalismo., n.d):

- **Aguas frías:** menos de 20ºC

- **Aguas hipo termales:** entre 21ºC a 35ºC

- **Aguas meso termales:** entre 35º a 45ºC

- **Aguas hipertermales:** más de 45ºC

Se clasifican dependiendo de su composición química (Introducción al Termalismo.,n.d):

- **Manantiales de aguas ácidas: pH** = <7

- **Manantiales de aguas neutras: pH** = 7

- **Manantiales de aguas alcalinas: pH** = > 7

Se clasifican dependiendo de su composición en minerales (Introducción al Termalismo.,n.d):

Aguas Sulfurosas: es un tipo de agua hipertermal, las cuales tienen características como pH de 6,5 y mineralización media sulfatada-sulfurosa, se puede encontrar en suelos fangosos (Introducción al Termalismo., n.d.).

Aguas Sulfatadas: se caracterizan por que su mineralización y temperatura varían, y se clasifican en (Introducción al Termalismo.,n.d):

- Sódicas y magnésicas
- Sulfatadas cálcicas
- Sulfatadas cloruradas

Las aguas termales son aquellas las cuales desprenden una temperatura 5 ºC más que la temperatura ambiente anual en la región que se encuentra, las aguas termales se identifican como un tipo de aguas subterráneas. Las características fisicoquímicas de estas aguas vienen dadas por el ambiente en el que se encuentran (salinidad, pH, etc.).

Las aguas termominerales (termales), a su vez se clasifican en 2, debido a la temperatura que emanan. Si vienen de terrenos volcánicos su origen sería de magmas con poca profundidad, y si proviene de terrenos dislocados su origen sería geotérmico, por lo que el terreno es una de las variables que hacen que cambie sus características fisicoquímicas (Introducción al Termalismo., n.d.).

El municipio de Paipa en el departamento de Boyacá es uno de los municipios de Colombia donde es llamativo por sus aguas termominerales (termales), siendo un gran atractivo turístico para las personas del país.

4.1.7. Calidad del agua

La calidad del agua determina que tan potable o segura es para el consumo humano o para otro tipo de uso, esta tiene sus indicadores para determinar el estado del agua. ICA o índice de calidad de agua, son los índices que se deben de seguir para determinar el estado de una fuente hídrica, los índices pueden ser rangos, números, símbolos, descripciones verbales, etc (Fierro Ortiz, E., y Caballero Rodríguez, L., 2015).

El ICA tiene como objetivo determinar el grado de calidad de un cuerpo hídrico, facilitando el diagnóstico del problema del cuerpo hídrico, sin la necesidad de acogerse al estudio de las variables fisicoquímicas. El ICA utiliza unas tablas establecidas de parámetros y rangos de evaluación para ello (Fierro Ortiz, E., y Caballero Rodríguez, L., 2015).

El sistema de puntuaciones del ICA toma valores entre 0 a 1 (0 a 100) como se ve en la Tabla 1 para determinar el grado de calidad de un cuerpo hídrico continental, es decir condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del cuerpo de agua. El sistema de puntajes del indicador es producto del cálculo de un promedio de cuatro mediciones realizadas a lo largo del año (una cada trimestre) (Fierro Ortiz, E., y Caballero Rodríguez, L., 2015; IDEAM., n.d.).

Tabla 1. Tabla de rango de evaluación del ICA - puntuación.

91-100	Excelente
71-90	Buena
51-70	Regular
26-50	Mala
0-25	Pésima

Con el análisis de puntuaciones del ICA se puede determinar las restricciones en los usos definidos en cada tramo de una corriente hídrica. Además, la determinación del ICA puede ayudar a reconocer problemas de contaminación de manera rápida en un punto determinado en un intervalo de tiempo específico. Permite conocer las posibilidades o limitaciones del uso del agua para determinadas actividades. También su determinación permite evaluar una amplia cantidad de recursos hídricos en forma periódica (Fierro Ortiz, E., y Caballero Rodríguez, L., 2015; IDEAM., n.d.)

El ICA tiene 6 aplicaciones básicas reconocidas:

- **Análisis de tendencias:** para determinar degradación o recuperación de la calidad hídrica a través de un período de tiempo (Fierro Ortiz, E., y Caballero Rodríguez, L., 2015; IDEAM., n.d.).

- **Agregar información:** hace referencia a mostrar de forma sencillamente comprensible, las variaciones que presenta la calidad de aguas superficiales (Fierro Ortiz, E., y Caballero Rodríguez, L., 2015; IDEAM., n.d.).

- **Cumplimiento de estándares** (Fierro Ortiz, E., y Caballero Rodríguez, L., 2015; IDEAM., n.d.)

- **Clasificación de sitios:** es decir que se puede comparar condiciones ambientales en diferentes áreas geográficas (Fierro Ortiz, E., y Caballero Rodríguez, L., 2015; IDEAM., n.d.).

- **Asignación de recursos:** determinación de fondos y/o recursos para la pronta acción a realizar (Fierro Ortiz, E., y Caballero Rodríguez, L., 2015; IDEAM., n.d.)

- **Información pública:** información recolectada acerca de las condiciones del cuerpo hídrico en cuanto a su calidad (Fierro Ortiz, E., y Caballero Rodríguez, L., 2015; IDEAM., n.d.).

La tabla 2 hace referencia a los parámetros fisicoquímicos de evaluación de la calidad del agua y su respectiva unidad de medida.

Tabla 2. Tabla de rango de evaluación del ICA *(H. A. Muhlhauser, 2014).*

Unidad de medida	Parámetros
UFC/100mL	Coliformes totales
Unidades de pH	pH
DBO5 en mg/L	Demanda bioquímica de oxígeno (en 5 días)
NO3 en mg/L	Nitratos
PO4 en mg/L	Fosfatos
C	Temperatura
FAU o NTU	Turbidez
mg/L	Oxígeno disuelto
mg/L	Sólidos disueltos totales

En Colombia los ICA han sido establecidos en 1997 llamado “índices de Contaminación Orgánica (ICO)”, además de la ayuda de decretos o normas que han salido durante el país para la mejora de la calidad en los recursos hídricos empezando con el Decreto 475 de 1998 (Fierro Ortiz, E., y Caballero Rodríguez, L.,2015).

4.1.8. Estado de la tecnología

4.1.8.1. Turbidez

La turbidez es una variable muy importante para cuerpos hídricos, especialmente para analizar qué tanta calidad en cuanto a lo sanitario puede tener. La turbidez como variable define un valor de una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u

orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación (ESPIGARES GARCÍA y FERNÁNDEZCREHUET, 1999).

La turbidez puede ser provocado por proliferación de microorganismos, sustancias químicas peligrosas como metales pesados, organoclorados y otros se unen sobre todo a los ácidos húmicos y otras partículas orgánicas, también la radioactividad en aguas también se vincula a los sólidos en suspensión y las materias disueltas, pudiendo ocurrir también que el plancton bioconcentrado radioisótopos afecte la turbidez del agua (Marco et al., *La Turbidez Como indicador Básico de Calidad de Aguas ...* 2004; SETTER, 1959)

La turbidez del agua se genera por la presencia de partículas en suspensión. La velocidad de sedimentación de las partículas pequeñas (menores al micrón de diámetro) es muy baja, por lo que requieren tratamiento para lograrla en tiempos útiles. Las mayores a un micrón se sedimentan espontáneamente. Mientras algunas son de naturaleza inorgánica (arcillas, fangos y óxidos minerales), que provienen de la erosión del suelo, otras son de naturaleza orgánica (bacterias, parásitos, algas, zooplancton, ácidos fúlvicos y coloides húmicos). También las actividades humanas generan efluentes cargados de estas partículas y el aporte de otras sustancias que pueden combinarse con ellas (virus entéricos, contaminantes químicos, cloro, etc…) tanto en el cuerpo de agua como en las plantas y redes de distribución (Marco et al., *La Turbidez Como indicador Básico de Calidad de Aguas ...* 2004).

El valor ideal de una turbidez debe de ser 5 NTU (unidades nefelométricas de turbidez), valor que no debe sobrepasar ninguna muestra (Marco et al., *La turbidez Como indicador Básico de Calidad de Aguas ...* 2004).

4.1.8.2. Sólidos disueltos (TDS)

El término sólidos hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso, expresados en unidades de mg por unidad de volumen de agua (mg / L), también conocidos como partes por millón (ppm). La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 µm (o más pequeños). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor (Pérez & Rodríguez, 2008; Silva et al., 1970).

Los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas; en Colombia es valor máximo admisible en el caso de agua potable para sólidos disueltos no se establece; el promedio de sólidos disueltos totales para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm (Suárez y col 2012; Caldera y col 2010; Silva et al., 1970).

Provocando un creciente deterioro en distintos cuerpos de agua, lo cual, ha conducido al desarrollo de normas de calidad de aguas superficiales para la protección de las comunidades acuáticas. Estas se basan en la determinación de concentraciones máximas permisibles de agentes químicos individualmente. Sin embargo, estas normas, no permiten determinar el efecto que estos contaminantes pueden tener sobre los organismos acuáticos (Córdova y col 2003; Silva et al., 1970)

4.1.8.3. pH

El pH es otra variable que se tiene en cuenta para la evaluación de los cuerpos hídricos, esta determina que tan acido o salino es (medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno (H +)), el rango de mediciones va de 0-14, el pH de 7 es el pH neutro, un rango normal de pH de cualquier cuerpo hídrico en aguas superficiales va desde 6,5 a 8,5.

Esta variable es importante tenerla en cuenta para la evaluación ya que determina la solubilidad y disponibilidad de componentes químicos como fósforo, nitrógeno, carbono, y metales pesados (si son tóxicos para la vida marina allí presente) (QUINTANA, B., & SARABIA, J, 2018).

4.1.8.4. Sensores

Los sensores son dispositivos que pueden medir variables fisicoquímicas, ayudando a recopilar la información detectada como temperatura, luz, sonido, humedad, etc. Los sensores que trabajan con IoT o SCADA (sistemas de monitoreo y control) deben de tener un hardware que permita la recolección y medición de los datos. Para el caso de evaluaciones de cuerpos hídricos, se debe delimitar un espacio para realizar las tomas con los dispositivos eléctricos.

Para la toma de decisiones de los sensores, se deben considerar ciertas características: condiciones ambientales (rangos de temperatura/humedad existentes), rango (límites de medición del detector o medidor), precisión, calibración (requerida para la mayoría de los instrumentos de medición, una vez que las lecturas cambian con el tiempo), capacidad de

toma de decisiones (mediciones de mayor valor detectadas), costo, repetibilidad (medición repetida de lecturas cambiantes en el mismo entorno) (Carriazo Regino, Y., 2021).

Hay varios tipos de sensores, especialmente estos son los que más se utilizan para analizar un cuerpo hídrico:

- **Sensores de pH:** el sensor de pH está diseñado para medir el pH de una solución y reflejar su alcalinidad o acidez (variación del valor de pH). Los sensores de pH más usados son los electroquímicos, que transducen o transforman la actividad química del ion hidrógeno en una señal eléctrica.

  También existen sensores ópticos, pero son los menos usados. Los sensores electroquímicos se basan en la ecuación de Nernst, usada para calcular el potencial de reducción de un electrodo fuera de condiciones estándar (Saenz, J., y Matías, I., 2015).

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} * ln(Q)$$

  ecuación de Nernst

  E^0: es el potencial en condiciones estándar

  R: la constante de los gases

  T: es la temperatura absoluta

  n: son los electrones intercambiados en la reacción

  ln(Q): es el logaritmo neperiano del cociente de la reacción

Simplificada la ecuación, lo que se hace es medir la diferencia de potencial entre un electrodo de referencia (pH conocido) y un electrodo de medición. Dependiendo de la construcción de estos electrodos se tienen diferentes tipos de medidores.

- **Sensor de sólidos disueltos (tds):** son sensores que miden la cantidad total de iones cargados móviles, incluidos minerales, sales o metales disueltos en un volumen dado de agua, expresados en unidades de mg por unidad de volumen de agua (mg / L), también conocidos como partes por millón (ppm).

- **Sensor de turbidez:** este tipo de sensores ayudan a identificar que tan turbia (opaca) se encuentra el agua. La turbidez está estrechamente relacionada con los sólidos disueltos que se encuentren en el agua, por lo que cuanto más sólidos disueltos hay más turbia será el agua.

  Utilizan luz para detectar las diferentes partículas suspendidas en el agua al medir las tasas de dispersión y transmitancia, las cuales cambian con las diferentes cantidades totales de sólidos suspendidos (TSS) en el agua. El factor TTS incrementará si aumentan los niveles de turbidez en el líquido (Turbidity_sensor_sku__SEN0189, (n.d.)).

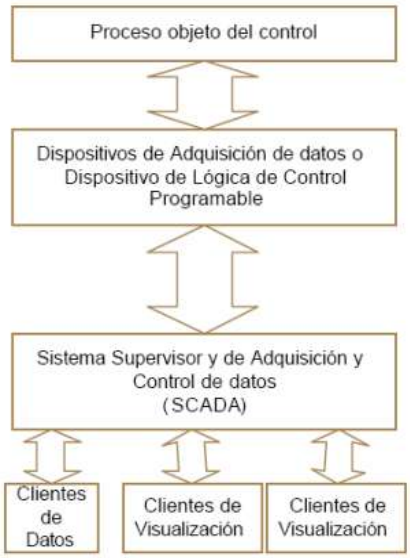
4.1.8.5 Tecnología SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

El sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) es un tipo de sistema de adquisición de datos y control supervisor que originalmente, se creó para controlar y supervisar o monitorear procesos industriales (Corrales, L., 2007).

Los sistemas SCADA se han adecuado al pasar de los años a los servicios de los sistemas operativos de los dispositivos y protocolos actuales, pero la función de adquisición de datos en sí no ha variado mucho de cuando se creó (Corrales, L., 2007).

En la gráfica 3 representa una arquitectura SCADA de un proceso automatizado:

Figura 2. Modelo de las capas en SCADA (Corrales, L., 2007)



Proceso Objeto del control: en esta etapa hace referencia al proceso que se desea supervisar o monitorear, es decir, el origen de la adquisición de datos (qué datos recolectar y cuales distribuir) (Corrales, L., 2007).
Dispositivos de adquisición de Datos: en esta etapa hace referencia el uso que se les da a los dispositivos electrónicos a usar (en el caso del proyecto sensores) mediante su comunicación (Corrales, L., 2007).
SCADA (Sistema Supervisor y de Adquisición y Control de datos): en esta etapa hace referencia al software y hardware del sistema que permite la recolección de los datos y su visualización mediante los dispositivos electrónicos (Corrales, L., 2007).
Clientes: en esta etapa hace referencia a las aplicaciones o el uso que le quiera dar los clientes a la información que provee el sistema SCADA (Corrales, L., 2007).

Hoy en día existen varios sistemas que permiten controlar y supervisar, tales como PLC, DCS y ahora SCADA, que se pueden integrar y comunicar entre sí mediante una red ethernet con el fin de que el operador pueda mejorar la interfaz en tiempo real (Corrales, L., 2007).

En este sistema hay varias subdivisiones según la tecnología que se está usando, por ejemplo la tecnología IoT, el cual es un tipo de sistema SCADA el cual utiliza para la comunicación de los dispositivos bluetooth o el propio internet que mediante la nube almacenan o recolectan los datos (Corrales, L., 2007).

Para la realización de un modelo básico de SCADA, se necesita el uso de un microcontrolador, un software compatible con el microcontrolador y los dispositivos electrónicos a trabajar (sensores, etc.) (QUINTANA, B., & SARABIA, J., 2018).

Por lo que se sigue un protocolo llamado MQTT (Message Queue Telemetry Transport), el cual este es usado principalmente para la comunicación entre los dispositivos eléctricos, especialmente a la comunicación de sensores ya que este protocolo brinda una comunicación sin consumir tanto ancho de banda y el cual es bastante utilizado para proyectos con poco capital (QUINTANA, B., & SARABIA, J., 2018).

Además un sistema SCADA se debe de tener en cuenta el hardware a utilizar, el cual lo componen:

- **Ordenador Central o MTU (Master Terminal Unit)**: Este es uno de los componentes más importantes para un sistema de tipo SCADA, ya que, se trata del ordenador principal del sistema, el cual supervisa y recoge la información del resto de las subestaciones, ya sean otros ordenadores conectados (en sistemas complejos) a los instrumentos de campo o directamente sobre dichos instrumentos (sensores a utilizar y7o otros componentes) (Perez, E., 2015).

- **Red de comunicación:** Este componente del sistema gestiona la información que los instrumentos de campo (sensores, u otros componentes) envían a la red de ordenadores desde el sistema (Perez, E., 2015).

- **Instrumentos de Campo:** Son todos aquellos que permiten realizar tanto la automatización o control del sistema (PLC, controladores de procesos industriales y actuadores en general) como los que se encargan de la captación de información del sistema (sensores, alarmas u otros) (Perez, E., 2015).

Además un sistema SCADA se debe de tener en cuenta el software a utilizar, el cual lo componen:

- **Configuración:** permite definir el entorno de trabajo de la aplicación según la disposición de pantallas requerida y los niveles de acceso para los distintos usuarios. En este módulo, el usuario define las pantallas gráficas o de texto que va a utilizar, importándolas desde otra aplicación o generándolas en el propio SCADA. Para ello, se incorpora un editor gráfico que permite dibujar a nivel de píxel (punto de pantalla) o utilizar elementos estándar disponibles, líneas, círculos, textos o figuras,

con funciones de edición típicas como copiar, mover, borrar, etc (software para almacenamiento y visualización) (Perez, E., 2015).

- **Interfaz gráfica del operador:** proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso que se supervisará se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación de uso general (Paintbrush, DrawPerfect, AutoCAD, etc.) durante la configuración del paquete (Perez, E., 2015).

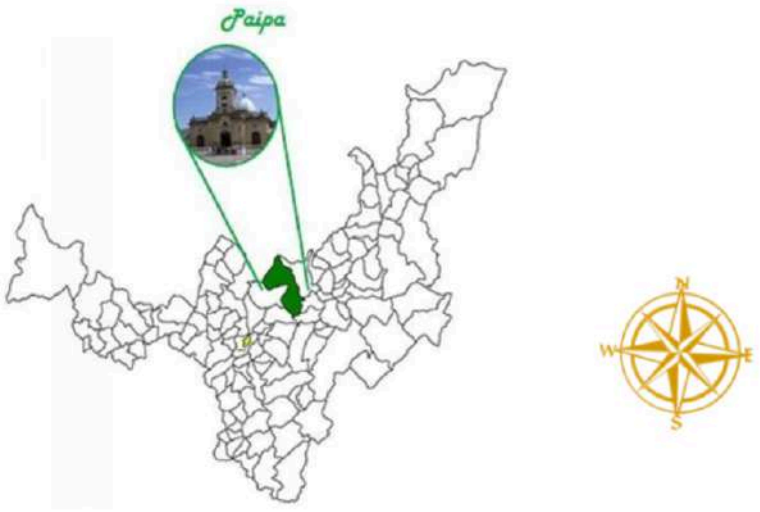
- **Gestión y archivo de datos:** se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, según formatos inteligibles para elementos periféricos de hardware (impresoras, registradores) o software (bases de datos, hojas de cálculo) del sistema, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos. Pueden seleccionarse datos de planta para ser capturados a intervalos periódicos y almacenados como un registro histórico de actividad, o para ser procesados inmediatamente por alguna aplicación de software para presentaciones estadísticas, análisis de calidad o mantenimiento (Perez, E., 2015).

4.2. Marco geográfico

4.2.1. Municipio de Paipa

Paipa está ubicado en el centro-oriente de Colombia, hace parte de la provincia de Tundama del departamento de Boyacá. Localizado en la parte centro-oriental de Colombia y noroccidente del departamento sobre la cordillera Oriental a 2525 m sobre el nivel del mar. En este municipio se encuentra el principal aeropuerto del departamento: Aeropuerto Juan José Rondón. En el plano económico, se destaca como uno de los principales centros turísticos de Boyacá, principalmente por sus piscinas termales, las cuales proporcionan beneficios terapéuticos como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Mapa de Boyacá con la ubicación geográfica del municipio de Paipa (Administrator, n.d.).



Por lo llamativo de sus piscinas el municipio de Paipa es uno de los más turísticos en todo el departamento de Boyacá. La vereda “El salitre” se encuentra ubicada al sudeste de la población, separados por el río Sogamoso, que corre de sur a norte, se extienden paralelos a él dos valles, llamados La Laguna y El Salitre, entre los cuales se interpone una colina de poca elevación que se conoce con el nombre de “La isla”

Las aguas termales de las piscinas de Paipa provienen del centro de una depresión geológica cuyo eje coincide con la cuenca alta del río Chicamocha. La composición de los termales es más o menos la misma lo que varía principalmente es la temperatura. La máxima temperatura observada en los termales fue de 50 °C.

En Paipa, la temperatura generalmente varía de 7° a 20°C y en pocas ocasiones suele bajar a hasta los 4°C y subir hasta los 22°C (Weather Spark, n.d.).

Paipa cuenta con una población de 33 535 habitantes (2018) limita en el norte con el departamento de Santander, en el oriente con los municipios de Tibasosa y Duitama, por el sur con Firavitoba y por el occidente con Sotaquirá y Tuta (Administrator, n.d.)

El área del municipio de Paipa hace parte de la cuenca alta del río Chicamocha, su territorio cuenta con un plano inclinado con aguas freáticas superficiales y un área pantanosa donde existía un antiguo lago, el cual comprende en la actualidad el pantano de Vargas, donde brotan aguas termominerales. La red hidrográfica del municipio está formada por el río Chicamocha, las quebradas el rosal, valencia, humedales salinos y el lago sochagota, el cual es alimentado por la quebrada el Salitre o quebrada honda (Weather Spark, n.d.).

4.2.2. Ubicación geográfica del humedal de Salpa

El humedal de salpa se encuentra ubicado en la vía vereda caños a 8 minutos en vehículo del Parque Principal Jaime Rook, junto al Aeropuerto Juan José Rondón. Las coordenadas geográficas del humedal de salpa son de 5 grados,45 minutos, 46,5 segundos al Norte y 73 grados, 6 minutos, 17.5 segundos al oeste.

En la Figura 4 se muestra la delimitación del terreno del humedal Salpa en Paipa, Boyacá.

Figura 4. Delimitación del terreno del humedal salpa Paipa, Boyacá.

- 5°45'46.5"N 73°06'17.5"W

La Figura 5 proporciona la ubicación satelital del humedal de Salpa en el municipio de Paipa, Boyacá.

Figura 5. Ubicación satelital del humedal de salpa en el municipio de Paipa, Boyacá.

4.3. Marco legal

En cuanto a normas, regulaciones, leyes o decretos relacionados a la calidad de aguas termales todavía no se encuentra normatividad específica, pero sí de algunos criterios a tener en cuenta para los vertimientos en las aguas termales y de humedales, Corpoboyacá establece algunas resoluciones para ello:

- **Resolución No. 0631 del 17 de marzo del 2015 (Corpoboyacá):** esta fue establecida por el Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, para los vertimientos en las aguas termales y de humedales

- **Decreto número 1575 de 2007:** hace referencia a la información reportada sobre la calidad del agua para consumo humano en el Sistema de Información para la Vigilancia de la Calidad del Agua Potable (SIVICAP) por las Direcciones Territoriales de Salud, producto de la inspección, vigilancia y control que realizan a los prestadores del servicio público, es administra, analiza y consolida por el Instituto Nacional de Salud (INS) (Carriazo Regino, Y., 2021)

- **Ley 165 de 1994 Congreso de Colombia:** da importancia a la diversidad biológica y su importancia, por lo que brinda regulaciones para protegerla

- **Resolución 196 de 2006 MAVDT:** hace referencia al manejo de humedales en el país

- **Constitución Política de Colombia 1991, Congreso de Colombia - artículo 79:** "todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano"

- **Constitución Política de Colombia 1991, Congreso de Colombia - artículo 63:** "los bienes de uso público, los parques naturales, las tierras comunales de grupos étnicos, las tierras de resguardo, patrimonio arqueológico de la nación y los demás bienes que determine la ley, son inalienables, imprescriptibles e inembargables"

- **Ley 99 de 1993 "Política ambiental de Colombia":** por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (Congreso Nacional de Colombia, 1993)

- **Ley 219 de 2013 del senado de Colombia, "Aprovechamiento del recurso hidrotermal, en el turismo":** por medio de la cual se dictan normas que

promueven, regulan, orientan y controlan el aprovechamiento terapéutico y turístico de los balnearios termales y el uso de las aguas termales (Congreso de la república de Colombia, 2013)

- **Decreto 870 de 2017:** "por el cual se establece el Pago por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación", Establecer las directrices para el desarrollo de los Pagos por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación que permitan el mantenimiento y generación de servicios ambientales en áreas y ecosistemas estratégicos, a través de acciones de preservación y restauración (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

- **Decreto 1594 de 1984 Ministerio de Agricultura:** los usos de agua en los humedales, dados sus parámetros fisicoquímicos son: preservación de Flora y Fauna, agrícola, pecuario y recreativo. El recurso de agua comprende las superficies subterráneas, marinas y estuarinas, incluidas las aguas servidas.

5. ESTADO DEL ARTE

En este apartado se relacionarán proyectos de monitoreo de tipo SCADA y otros productos comerciales que abarquen el monitoreo de agua.

Según búsqueda bibliográfica se encontraron estos:

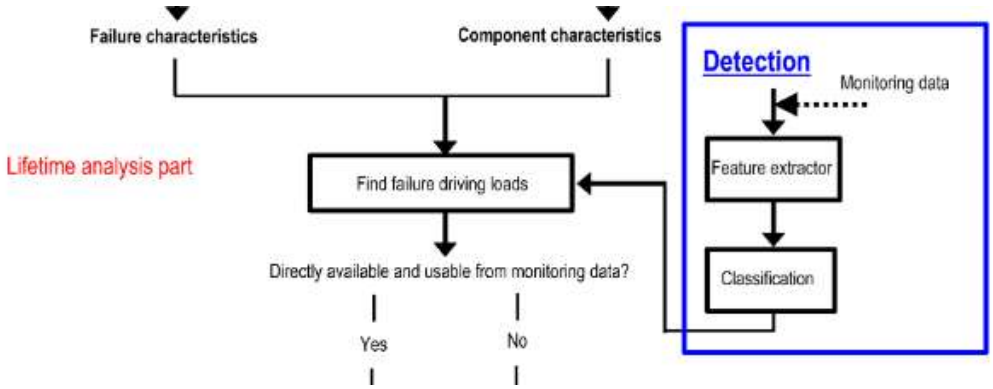
- ***"Using SCADA data for wind turbine condition monitoring – a review"*** : Es un trabajo para revista científica que utiliza SCADA (como lo menciona en el título es un trabajo para monitoreo pero para una turbina de aire), realizado por Jannis Tautz-Weinert y Simon J. Watson para la revista IET (The Institution of Engineering and technology) para el año 2016.

Es un proyecto que utiliza la metodología del sistema SCADA para la revisión del estado de turbinas de aire, la única diferencia que va a cambiar en relación con el proyecto a realizar son las variables a medir. El sistema hace uso de sensores que están comunicados con un servidor, el cual almacena los datos y los visualiza en un software.

El cómo se alimenta el sistema es una de las incógnitas de este trabajo, ya que describe únicamente la función del monitoreo de datos para las turbinas (especialmente cuando hay fallas en alguna de ellas), por lo que según lo descrito el SCADA realizado probablemente esté siendo alimentado por una fuente externa, ya sea una batería, red eléctrica o en su caso

las propias turbinas (Fig. 4 describe la parte del monitoreo en el cuadro que dice "detection").

Figura 6. Sistema de monitoreo usando SCADA para turbinas de aire (parte de "detection" (**Using SCADA data for wind turbine condition monitoring – a review, 2016).**



-" *SCADA System for Monitoring Water Supply Networks"*: Es un proyecto de grado realizado en el año 2008, elaborado por Mirecena Dobriceanu, Alexandru Bituleanu, Mihaela Popescu, Sorin Henache, y Eugen Subtirelu, el cual describe un sistema de monitoreo similar al que se está realizando específicamente para medir variables en el agua, la única diferencia es que se utiliza para monitorear instalaciones de tuberías con agua.

Este sistema SCADA realizado no únicamente mide variables en el agua, también mide el estado de las redes de flujo de esta, como por ejemplo el estado de la red de tubos de agua o la presión del agua, finalizando los datos almacenados y visualizados en un software.

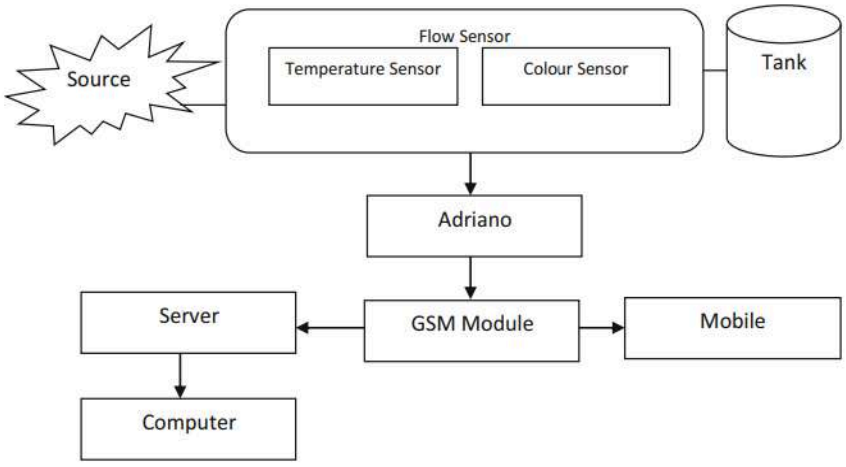
-" Real-*time water quality monitoring using Internet of Things in SCADA"*: es un trabajo para revista científica realizado por K. Saravanan & E. Anusuya & Raghvendra Kumar & Le Hoang Son en el año 2018.

Este sistema SCADA es uno de los que más se asemejan al sistema propuesto, ya que utiliza variables similares, elementos (sensores, software, entre otros) y metodología para la implementación del sistema.

La arquitectura como se muestra en la Fig. 5, usa un microcontrolador además de un módulo de internet para enviar los datos monitoreados a un servidor o software que almacenará los datos y los visualizará, por lo que esta arquitectura se va a utilizar en el proyecto de monitoreo propuesto con SCADA, pero la diferencia con este trabajo para

revista científica es el tipo de microcontrolador que se va a utilizar, ya que se pretende disminuir los costos del módulo de internet.

Figura 7. Arquitectura del sistema SCADA de la referencia bibliográfica (**Real-time water quality monitoring using Internet of Things in SCADA, 2018).**



- *Multiparámetro*: herramienta que contiene varios sensores que realiza mediciones de varios parámetros fisicoquímicos, visualizando los datos en el equipo

El multiparámetro común viene incluido con kit que contiene varias sondas específicas dependiendo la variable a medir, además de algunas soluciones para limpiar las sondas.

La batería de los multiparámetros en su mayoría es de tipo recargable.

- ***"Remote Data Acquisition Using Wireless - Scada System"***: trabajo para la revista científica *"International Journal of Engineering (IJE)"* realizado por Aditya Goel y Shankar Mishra. Describe un sistema SCADA para el monitoreo de un "acondicionador de señal", el cual tiene la misma estructura de un SCADA, la diferencia es que para este sistema planteado utiliza un módulo GSM, el cual envía la información recolectada en SMS a un dispositivo móvil, en este caso un celular Nokia 3310 (modelo antiguo). En la Figura 8 se presenta la arquitectura detallada del sistema SCADA descrito en la referencia bibliográfica. .

Figura 8. *Arquitectura del sistema SCADA de la referencia bibliográfica para un acondicionador de señal (**Remote Data Acquisition Using Wireless - Scada System,*** Aditya Goel, n.a.).

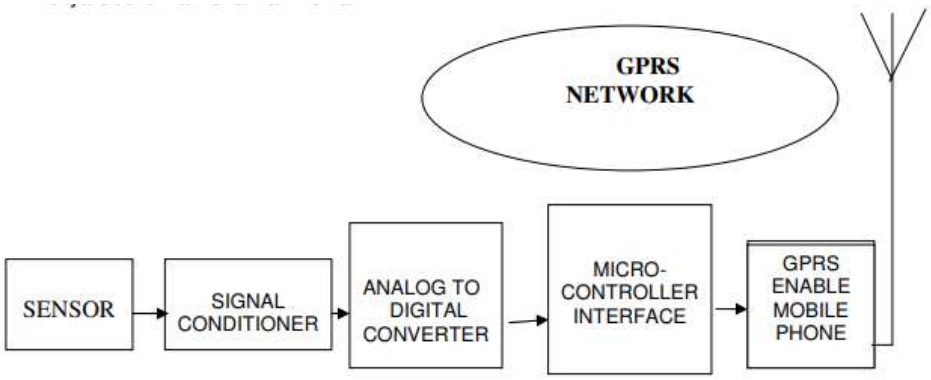
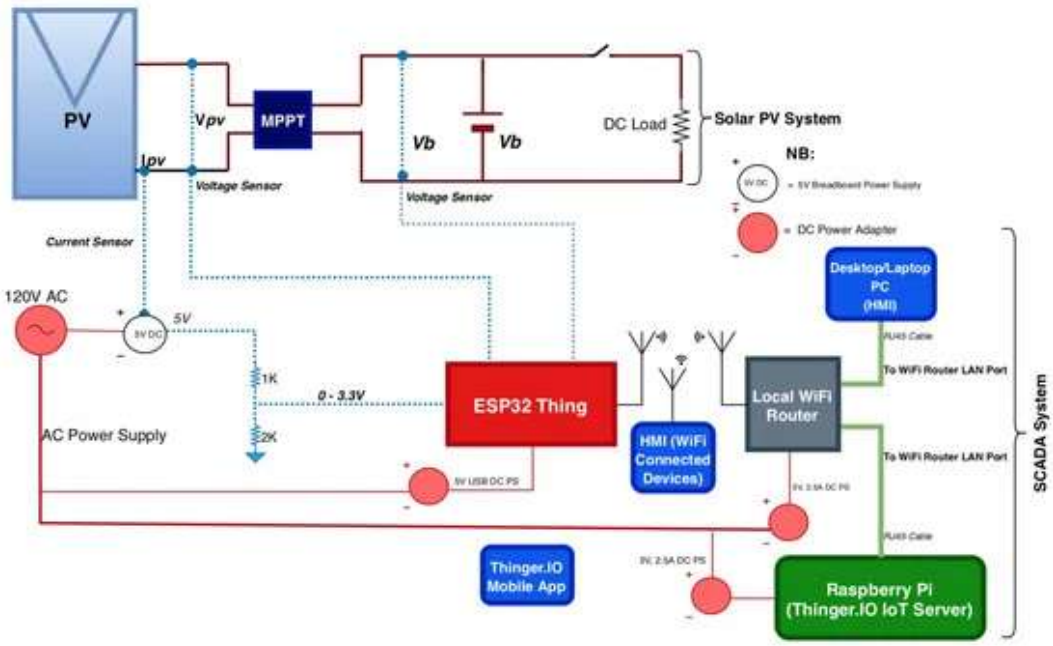


FIGURE 1: Block diagram of wireless SCADA

- ***"Diseño de sistemas SCADA basados en IoT de código abierto y de bajo costo utilizando Thinger.IO y ESP32 Thing"*:** artículo para revista científica que utiliza un sistema SCADA alimentado mediante método solar. Realizado por Lawrence Aghenta y Mohammad Tariq Iqbal para el año 2019.

En resumen, el proyecto realizado es un sistema tipo SCADA a bajo costo utilizando como medio de alimentación método solar además de usar router de internet (ya sea mediante cable de ethernet o señal inalámbrica) como medio de comunicación con el software, en este caso utilizan Thinger.IO. La Figura 9 muestra una representación visual del diseño del sistema SCADA basado en IoT descrito en el artículo.

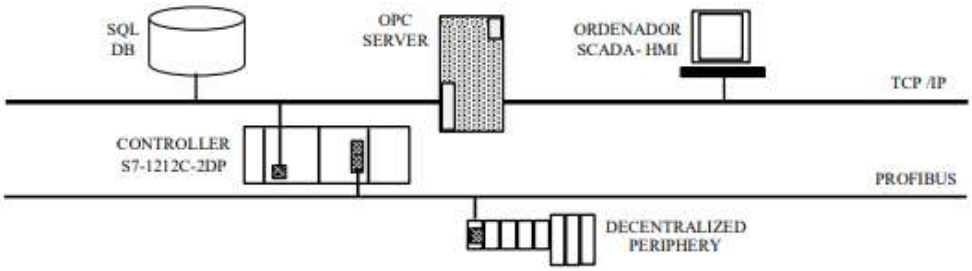
Figura 9. Arquitectura del sistema SCADA de la referencia bibliográfica que utiliza ESP32 "Thing" (**Diseño de sistemas SCADA basados en IoT de código abierto y de bajo costo utilizando Thinger.IO y ESP32 Thing,** 2021)



- ***"Supervision and control by SCADA of an automated fire system":*** es un proyecto para la revista científica *"Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science"*, realizado por Omar Chamorro-Atalaya, Dora Arce-Santillan, Teodoro Diaz-Leyva y Martin Diaz-Choque para el año 2021.

Este sistema SCADA fue propuesto para la automatización de detección de fuego siguiendo el mismo método de comunicación, la diferencia es el tipo de variables a medir, el sistema está planteado para el monitoreo en situaciones de emergencia que se pueda presentar en el lugar de trabajo (detecta humo, posibilidad de incendios y explosiones), ayudando a retrasar la respuesta a la emergencia. La Figura 10 ilustra la arquitectura del sistema SCADA propuesto para la supervisión automatizada de incendios, tal como se describe en la referencia bibliográfica mencionada.

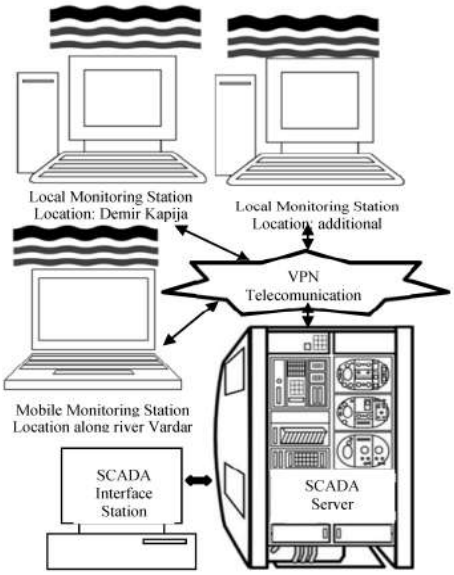
Figura 10. Arquitectura del sistema SCADA de referencia bibliográfica para sistemas automatizados de supervisión de fuego (**Supervision and control by SCADA of an automated fire system, 2021).**



- ***"SCADA system for real-time measuring and evaluation of river water quality":*** es un proyecto realizado por Emil Zaev, Darko Babunski y Atanasko Tunesk en el año 2016 para la facultad de ingeniería mecánica la universidad "Ss. Cyril and Methodius".

Este proyecto es de los más relacionados en cuanto al monitoreo de aguas, en este caso un río, monitoreando parámetros fisicoquímicos, en este caso monitorean pH, TDS, temperatura y demás parámetros a tiempo real. La Figura 11 representa la arquitectura del sistema SCADA utilizado para el monitoreo en tiempo real de la calidad del agua de un río, tal como se describe en la referencia bibliográfica proporcionada.

Figura 11. Arquitectura del sistema SCADA de referencia bibliográfica para sistemas de monitoreo a tiempo real de la calidad de agua de un río (**SCADA system for real-time measuring and evaluation of river water quality, 2016).**

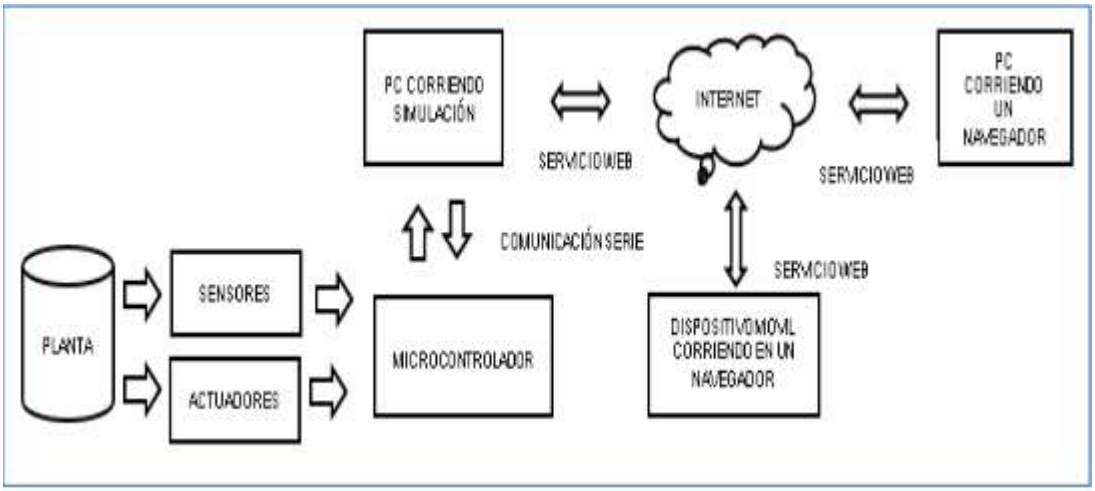


- *DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR), DEL MUNICIPIO DE MADRID - CUNDINAMARCA:*

proyecto realizado por Tatiana Reyes en el año 2018 para la universidad catolica de Colombia, este proyecto pretende dar solución a los problemas de tratamientos de agua del municipio de Madrid - Cundinamarca, el cual en los últimos años ha sido de mala calidad, por lo que se creó un PTAR con el fin de tratar el agua del municipio, pero esto con la ayuda de un sistema de diagnóstico y control mediante el uso de la tecnología SCADA.

- "*Mejoramiento del sistema de saneamiento y planta de tratamiento con uso de control remoto de procesos en Sancos, Ayacucho 2022":* Proyecto realizado por Sifuentes Farfan y Alexandra Fiorella en el año 2022 , en este proyecto tiene como fin realizar un sistema de diagnóstico (monitoreo) y control para el sistema de saneamiento básico de unas localidades presentes en Lima - Perú (Figura 12), esto con el fin para el manejo de aguas residuales que están contaminando el río ubicado en la ciudad de Huanca Sancos.

Figura 12.
Diagrama sistema SCADA a utilizar de la referencia bibliográfica para control y monitoreo de un PTAR en la ciudad de Huanca Sancos



- "*Planta de tratamiento de Aguas Residuales en san juan de miraflores":* Proyecto realizado por Ramón Espinoza para la universidad de Piura en el año 2010. El proyecto tiene como fin realizar un diagnóstico y control de las lagunas en San Juan de Miraflores - Venezuela, los cuales las lagunas fueron creadas con el fin del tratamiento de desagües en la ciudad de San Juan, pero con el pasar de los años la contaminación provocada por acciones humanas han provocado una sobrecarga

orgánica, provocando incluso malos olores en el área de las lagunas, por lo que se ha propuesto una ampliación de una de las PTAR (planta de tratamiento) y usar una de las zonas de las lagunas como medio turístico, esto con el fin de reducir contaminación y promover el turismo en San Juan de Miraflores, todo esto con la ayuda de un sistema SCADA que pueda monitorear continuamente ciertos parámetros escogidos para el diagnóstico en las lagunas.

6. LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS

6.1. Funcionales

- El sistema de monitoreo usará el protocolo MQTT para la comunicación de los sensores y poder brindar la información de las variables a estudiar en tiempo real del humedal de Salpa.
- Se debe generar un sistema de visualización de datos de la información recolectada por el sistema de monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del cuerpo hídrico, el cual se pueda observar de manera clara y concisa.
- El sistema debe proporcionar información sobre las cantidades/concentraciones de los parámetros fisicoquímicos presentes en el humedal de Salpa.
- El sistema de monitoreo debe enviar la captura de datos de los parámetros fisicoquímicos en tiempo real, cada 24 horas al dispositivo de comunicación con el servidor.
- El sistema debe permitir el monitoreo en tiempo real de la captura de datos de los parámetros fisicoquímicos del cuerpo hídrico del humedal de Salpa, aproximadamente durante un periodo de 3 meses.
- El sistema de monitoreo debe proporcionar la ayuda para realizar el análisis descriptivo de la información obtenida del humedal de Salpa.
- Se debe diseñar los componentes de hardware y software de un sistema de adquisición de datos para la captura de información de parámetros fisicoquímicos del humedal de Salpa.

6.2. Calidad

- Este sistema de monitoreo debe resistir las condiciones presentes en el ambiente de salinidad (10-40 mS/cm), temperatura (20-40°C) y pH (6,5-9) del humedal de Salpa.

- El material de los sensores debe ser apto para permanecer bajo el agua bajo las condiciones de salinidad (10-40 mS/cm), temperatura (20-40°C) y pH (6,5-9) del humedal.
- El sistema de monitoreo debe de tener un error relativo promedio inferior al 5% de la medición de los parámetros fisicoquímicos escogidos para considerar que el sistema está calibrado.
- La base de datos escogida para el sistema debe de tener un almacenamiento de por lo menos 1 Gb para guardar la información recolectada por el sistema de monitoreo.
- Se tendrán en cuenta las entradas y salidas hídricas en el humedal de Salpa

6.3. Restricción

- El sistema de monitoreo debe usarse únicamente para la captura de datos (recolección de información) de los parámetros fisicoquímicos en el cuerpo de agua del humedal de Salpa.
- Se debe estar al margen y distancia adecuada para no afectar las especies que se encuentren.
- Para el análisis se debe limitar los puntos de muestreo y el área en la cual se va a realizar el monitoreo, alrededor de las ocho hectáreas que tiene el humedal de Salpa.
- El sistema de monitoreo debe tener óptima conexión a una red de internet para la comunicación y visualización de los datos de los parámetros fisicoquímicos que se tomen.
- Los sensores del sistema no van a trabajar en toda la profundidad del humedal, únicamente trabajarán en una profundidad media de no más de 2m escogida para el monitoreo.
- El sistema no podrá resistir constantemente las condiciones climáticas del lugar, por lo que es necesario un almacenamiento para ello.

7. METODOLOGÍA

Para la metodología se realizaron seis fases de acuerdo con los objetivos definidos, como se observa a continuación:

La Fase I, que corresponde con el primer objetivo: conceptualización (recolección de información, análisis realizados, entre otros).
La Fase II, que corresponde con el segundo objetivo: diseño, que se dividió en diseño preliminar, detallado e industrial.
La Fase III, que corresponde con el tercer objetivo: construcción, que haría referencia a la etapa de fabricación del sistema teniendo en cuenta la fase de diseño previamente definida.
La Fase IV, que corresponde a la implementación del sistema en los puntos de monitoreo del humedal.
La Fase V, que corresponde a las pruebas que se realizan del funcionamiento del sistema de monitoreo en los tres puntos de muestreo.
La Fase VI, que corresponde con el cuarto objetivo: evaluación, la cual se desarrolla teniendo en cuenta las fases mencionadas anteriormente con el fin de analizar e interpretar los datos obtenidos en el desarrollo del proyecto.

7.1. Fase 1. Conceptualización

Para la realización de esta fase, la cual busca dar cumplimiento del primer objetivo específico el cual se basa en analizar descriptivamente variables sociales, económicas y ecológicas del entorno, así como el impacto de estas variables en la calidad del agua del humedal; se tendrán en cuenta dos aspectos fundamentales para su desarrollo; el primero se compone de un enfoque cualitativo con el fin de recoger información primaria de los pobladores que viven en los alrededores del humedal para conocer qué saben sobre él y su pensamiento en cuanto a las condiciones en las que se encuentra actualmente, así como identificar los actores involucrados en el manejo y cuidado directo del humedal; con el fin de suministrar estos aspectos y datos encontrados en una matriz cualitativa dentro de las características generales, como criterios objetivos y subjetivos de valoración. El segundo aspecto se basa en un ámbito preliminar descriptivo donde abrirá camino para la identificación y análisis de variables por medio información recolectada del primer aspecto cualitativo y de la información técnica y bibliográfica encontrada en campo, trabajos de grado, informes de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá y de la puesta en conocimiento por Corpoboyacá .

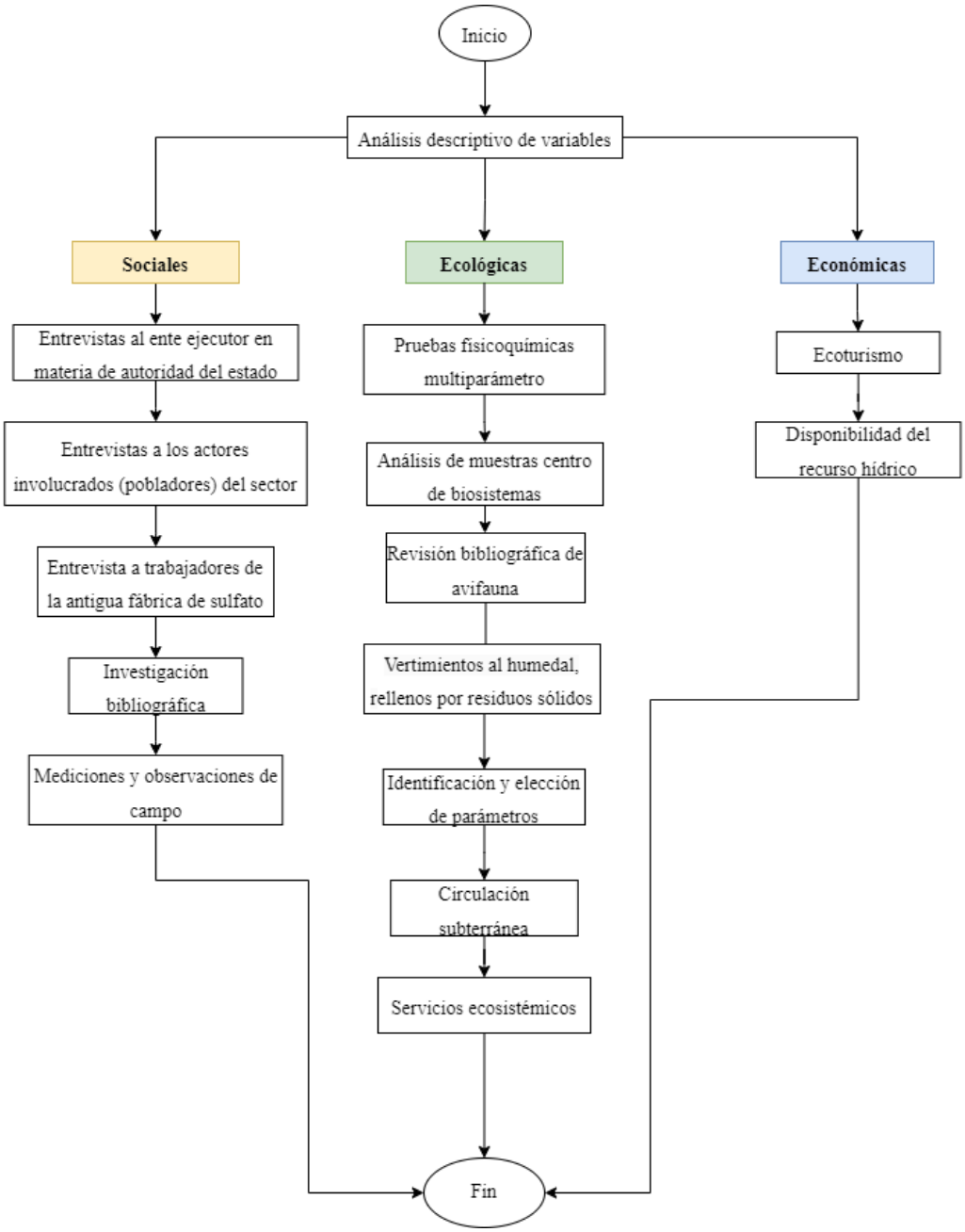
Para esta fase se utiliza el método de reconocimiento en campo en el humedal Salpa, haciendo uso de la visualización de posibles candidatos(pobladores) que estén dentro de la zona geográfica donde se encuentra ubicado el humedal, para realizar entrevistas semiestructuradas, así como encontrar los manantiales del humedal y las limitantes en cada uno de sus puntos de acceso, evidenciando posibles actividades económicas como las piscinas termales, el aeropuerto Juan José Rondón, hoteles y ganadería.

7.1.1. Análisis descriptivo de la fuente hídrica

El propósito principal de esta fase es la construcción de la línea base para la consolidación del problema de manera integral y sistemática, del cual se hará un levantamiento de características para las variables sociales, económicas y ecológicas de la fuente hídrica, y del territorio. Con el fin de consolidar el fundamento teórico con el cual se hará la conexión y guía para el desarrollo del sistema de monitoreo con tecnología SCADA, así se establecerán los parámetros y datos a tener en cuenta para el análisis.

En el diagrama de flujo presentado en la Figura 13 muestra a grandes rasgos lo que se pretende realizar en cada una de las variables de estudio con el fin de sistematizar y triangular la información para sus análisis, así como llevar el orden lógico que se muestra en el diagrama expuesto; a continuación se explica cómo y qué se va a realizar en cada una de las actividades de los recuadros en su orden ascendente, empezando por el desarrollo de las variables sociales, luego las ecológicas y por últimos las económicas.

Figura 13. Diagrama de flujo de la metodología para cumplimiento del primer objetivo específico del proyecto.



Nota: En el diagrama se observa detalladamente la metodología realizada para dar solución al primer objetivo específico, los colores amarillo, verde y azul representan cada variable a estudiar, siguiente a las actividades a realizar.

7.1.2. Estudio de las variables sociales

En este aparte se busca conocer qué piensan y qué saben los actores involucrados de la calidad del agua del humedal, así como identificar instituciones responsables gubernamentales y no gubernamentales de la gestión del humedal, analizando los mecanismos existentes de la participación de la comunidad en la toma de decisiones sobre él, identificando posibles conflictos de intereses y para ello se construirán entrevistas semi estructuradas en base a obtener información más detallada sobre sus perspectivas y experiencias. Búsqueda bibliográfica en tesis, informes de universidades o corporaciones que se relacionen con la temática de trabajo y con esto realizar observaciones de campo y conocer el panorama donde se realizará el proyecto.

Desarrollo de entrevistas semiestructuradas

Se utiliza este formato de entrevista semiestructurada ya que es una técnica de recolección de datos cualitativa caracterizada por tener una guía flexible que permite al entrevistador profundizar en temas emergentes durante la discusión.

Para la preparación se requiere definir el objetivo por el cual se realizará la entrevista, seguido se seleccionarán los participantes adecuados considerando la experiencia y el estudio previo del porqué su información es relevante para esta investigación, posterior se debe hacer una guía previa con temas y preguntas abiertas, las cuales deben cubrir el primer objetivo de la investigación; por último, practicar cómo se hará la entrevista en el momento indicado. (Berkeley library. (n.d.). *Library guides: Research methods--quantitative, qualitative, and more: Qualitative research*. Qualitative Research - Research Methods--Quantitative, Qualitative, and More - Library Guides at UC Berkeley.)

En el desarrollo de estas entrevistas se da a conocer los actores involucrados (Anexo 1), los cuales serán seis pobladores que viven en los alrededores del humedal teniendo en cuenta la comunidad ganadera, la hotelera, la agrónoma y los que han habitado por más de 20 años este sector y de las cuales se realizará una entrevista cada ocho días en el periodo previo al monitoreo, en los meses de agosto y septiembre de 2023. También se busca un actor involucrado de la antigua fábrica de sulfato para conocer qué manejo les daban a las aguas del humedal y con qué propósito la utilizaban (Anexo 2).

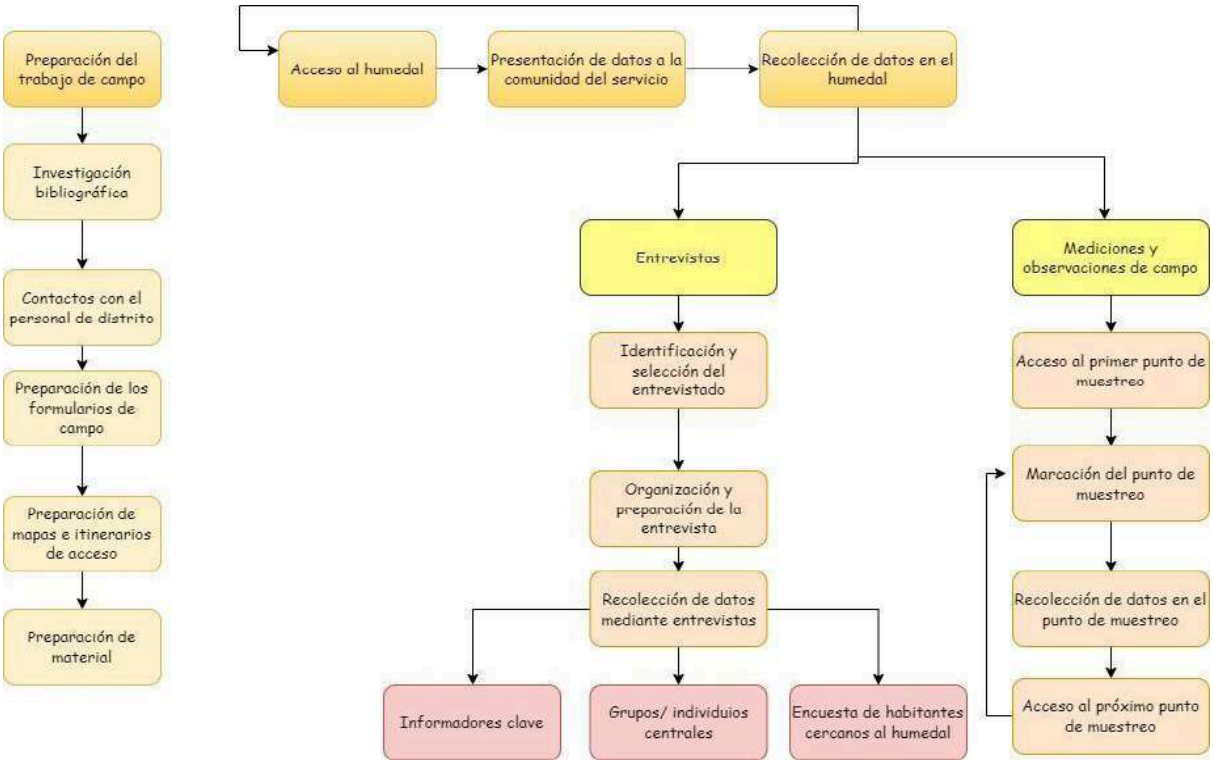
Por otra parte, se realiza una entrevista al ex director de la corporación autónoma regional de Boyacá Hernán Amaya Tellez (Anexo 3) en el mes de mayo del año 2022 en las

instalaciones de la corporación en la ciudad de Tunja Boyacá, en la cual se solicita un derecho de petición para conocer datos que tengan acerca del humedal o planes de manejo ambiental.

Descripción visitas de campo

En esta parte de la metodología, se realizó un diagrama como se observa en la Figura 14 resumiendo las actividades que se van a realizar para la recolección de datos en el humedal. Que en primera instancia va desde la preparación al trabajo de campo que se vaya a hacer, hasta la preparación de todo el material referencial que se haya encontrado para tener soporte de lo que se va a realizar.

Figura 14. Diagrama de las actividades propuestas para la recolección de datos



Para la preparación de trabajo en campo se realiza una búsqueda bibliográfica de artículos, informes técnicos o proyectos de grado que involucren las variables de estudio (sociales, económicas y ecológicas) en referencia a las características del agua salina del humedal. Se definieron 4 criterios para su búsqueda y evaluación los cuales son: manejo de calidad del agua, análisis de variables sociales, económicas o ecológicas, sistema integrado de aguas termominerales, uso de parámetros fisicoquímicos.

- *Investigación bibliográfica*

En la compilación de los reportes relacionados con el humedal salino de Salpa, se encuentra un gran vacío en todo lo que conlleva a su caracterización o información que de un dato importante respecto a este, sin embargo se realizó una búsqueda de los efluentes y fuentes hídricas cercanas con características similares o datos en común debido a su estructura natural como lo es nacimientos de agua salina, con concentraciones de azufre y también por las aguas subterráneas que hacen parte de este, como lo son el conocido Lago Sochagota y la microcuenca Quebrada la Honda.

Obteniendo la caracterización hidrobiológica y estado trófico del lago y la cuenca ya mencionadas, de los cuales se especifica el porqué de ciertas tecnologías para el manejo como el estudio de bioindicadores y el cuidado de los cuerpos de agua así como la clasificación de este tipo de aguas por los afloramientos de aguas termominerales ubicados sobre la falla geológica de Boyacá y pertenecientes a la subcuenca del Río Salitre, ya que cuentan con una serie de características químicas, de temperaturas particulares, por lo que son algunas clasificadas en el grupo de alcalinas, sulfatadas, cloruradas, bicarbonatadas, entre otras. Y por ende la necesidad de generar conciencia sobre la necesidad de adelantar investigaciones que concentren mayor atención en el estudio de la composición y estructura biótica de las fuentes hídricas, ya que es de suma importancia por las características únicas que tiene cada una de ellas por tener nacimientos de agua salina y de ahí obtener una flora y fauna completamente diferente a las de agua dulce.

Los proyectos mencionados a continuación fueron los mencionados anteriormente, de los cuales sirvieron de apoyo para el desarrollo y búsqueda de los objetivos en el humedal.

- ➔ Caracterización hidrobiológica y estado trófico del lago Sochagota
- ➔ Proyecto 2. Caracterización hidrobiológica y evaluación ecológica de la microcuenca quebrada Honda.
- ➔ Proyecto 3. Caracterización hidrobiológica y evaluación ecológica de los sistemas naturales de aguas termominerales pertenecientes a la microcuenca quebrada Honda.

La selección adecuada de puntos de muestreo dentro del humedal es fundamental para garantizar la representatividad de los datos recopilados, así como para optimizar la eficiencia del sistema de monitoreo. Se identificó y delimitó geoespacialmente el área total del humedal, utilizando imágenes satelitales para poder dividir el humedal en zonas representativas basadas en características físicas, biológicas y de uso del suelo, como áreas de entrada, salida, zonas de vegetación densa, áreas abiertas. Específicamente se tuvieron

en cuenta tres puntos de muestreo los cuales abarcaran todo el humedal. Posteriormente se evaluó la accesibilidad y la seguridad de cada punto de muestreo, considerando factores como la distancia a las vías de acceso, la presencia de obstáculos naturales y la seguridad del personal. También se realizaron visitas de campo para validar la idoneidad de cada punto de muestreo seleccionado, verificando que representen adecuadamente las condiciones observadas en la subdivisión del humedal. Por último, se generó un mapa que muestra la distribución de los puntos de muestreo en todo el humedal, destacando las diferentes zonas y subregiones y se tomaron fotografías.

- *Selección de puntos*

Teniendo la información geográfica del humedal, con la revisión bibliográfica y la salida de campo se procedió a zonificar el humedal teniendo en cuenta las siguientes variables:

Área: 10 Ha aproximadamente
Características morfológicas:

- Salinidad: concentraciones elevadas de sal las cuales pueden variar a lo largo del tiempo y el espacio, dependiendo de las entradas de agua dulce, la evaporación y la precipitación
- pH: 7-10
- Profundidad: inferior a los 2m
- Geomorfología: Cuenta con un canal de salida de agua y una área de marismas frente a la antigua fábrica de sulfato
- Zonas de zonación: La distribución de la vegetación en el humedal suele presentar una zonación en función de la salinidad del suelo y el agua.

Ubicación de fluidos de agua de alimentación y entrega: tres zonas, la primera está la llegada del agua al humedal (zona de mezcla de lo que hay y el agua que llega); las segunda en donde ya se estabiliza el humedal y hay zonación por las concentraciones de sal y la tercera es una zona donde la mayoría del tiempo el humedal se llena con aguas lluvia y donde se encuentra un nacimiento de agua salina.
Usos del suelo en el entorno del cuerpo hídrico: ganadería y agricultura, recolección de productos naturales.

Los puntos que se seleccionaron para la toma de muestras son nombrados de acuerdo con la ubicación y para su selección como se ve en la Tabla 13, se tuvo en cuenta que estos abarcaran la mayor extensión del humedal, teniendo en cuenta afluente y efluente.

Tabla 13. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en el humedal Salpa en el municipio de Paipa

Coordenadas	Punto de muestreo	Ubicación fluidos de agua	Sigla	Área de muestreo
5°45'28.9"N 73°06'28.5"W	Entrada humedal frente a las piscinas termales (ITP)	Afluente	EH	$2m^2$
5°45'45.6"N 73°06'16.9"W	Intermedio entre entrada y salida del humedal	Mezcla	IH	$2m^2$
5°45'55.8"N 73°05'60"W	Salida humedal en la fábrica de sulfato	Efluente	SH	$2m^2$

El mapa de la figura 15 presenta la zonificación realizada y los puntos de muestreo

Figura 15. Imagen satelital del humedal de Salpa, con la ubicación de los puntos de muestreo seleccionados.

La valoración de los índices fisicoquímicos y biológicos se llevará a cabo en los 3 puntos seleccionados sobre el Humedal Salpa como se pueden ver en las Figuras 16 - 18.

Figura 16. Imagen del primer punto de muestreo (EH) del humedal Salpa.

Figura 17. Imagen del segundo punto de muestreo (IH) del humedal de Salpa.

Figura 18. Imagen del tercer punto de muestreo (SH) del humedal de Salpa.

En el desarrollo de esta actividad se recopila información cualitativa y cuantitativa en cuanto a la medición con multiparámetro de técnica estandarizada de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua del humedal con el fin de obtener valores numéricos precisos y confiables de variables específicas y así comparar con los datos el monitoreo con tecnología SCADA desarrollado en este trabajo; por otra parte la forma cualitativa hace referencia la observación y el registro detallado de comportamientos y características para comprender el evento de estudio incluyendo aspectos contextuales y subjetivos. En base a esto se plantea en la siguiente tabla los puntos donde se realizará el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos en estudio:

El segundo recuadro del diagrama de la Figura 14 de preparación de trabajo de campo; destaca la importancia de establecer contactos con el personal de distrito de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá. Esta interacción busca obtener apoyo técnico y logístico para llevar a cabo actividades de manejo sostenible y toma de decisiones en los procesos de planificación y protección para el humedal Salpa

Para concretar esta acción, la Dirección de Bioingeniería envió una carta oficial a la Corporación solicitando su colaboración. La carta fue dirigida al subdirector de Planeación y Sistemas de Información, Giovany Rafael Viasus Quintero. (anexo 4)

Luego esta define la parte práctica del trabajo de campo, el cual empieza desde el acceso del humedal (permisos y demás) hasta la recolección de datos del humedal, que a su vez la recolección de datos se divide en dos (entrevistas a realizar a los pobladores de la zona del humedal como se menciona en el numeral anterior y las mediciones y observaciones que se hayan realizado en los puntos de selección para el monitoreo)

7.1.3. Selección y muestreo de las variables ecológicas

La legislación colombiana (Decreto único reglamentario 2811 de 1974 Congreso de la república Colombiana) en calidad del agua que ha definido varios parámetros fisicoquímicos.
Revisados estos parámetros el grupo investigador con el apoyo de Corpoboyaca decidió tomar los parámetros de: pH, Turbidez y Sólidos disueltos, debido a la alta sensibilidad de los mismos en términos de variación de la calidad del agua, especialmente en cuerpos lénticos.

Este proceso es fundamental para entender el funcionamiento, estado actual y las posibles interacciones entre elementos que componen el cuerpo de agua. El análisis de estas variables contiene una recopilación de información, mediciones e interpretación de datos

sobre los factores que intervienen a nivel ecológico como los físicos, químicos y biológicos.

7.1.Pruebas fisicoquímicas con multiparámetro

Se realizaron las primeras pruebas fisicoquímicas en la salida de campo del día 8 de octubre de 2022 con el docente Alfonso Avellaneda Cusaria, para la primera captura de datos de los parámetros con el verificador multiparamétrico de la calidad del agua Horiba U-50, con el cual se hizo la medición en los tres puntos de muestreo preestablecidos de pH, pH (mV), ORP, DO, TDS, temperatura, turbidez, COND, gravedad específica, salinidad, agua de mar y profundidad del agua. Esto con el fin de establecer valores iniciales base para el desarrollo del monitoreo con tecnología SCADA de poder realizar comparaciones y calibración de los sensores elegidos y así verificar que sus datos obtenidos están en un rango de precisión y confiabilidad.

Primeramente, se realizó un análisis de aguas de cada punto de muestreo escogido para empezar con el análisis del humedal y poder compararlos con los datos arrojados en el monitoreo con tecnología SCADA, con las pruebas del multiparámetro y el análisis del centro de biosistemas, los resultados se observan en la Tabla 16.

Tabla 16. Resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos con el multiparámetro

	Punto 1 (EH)	Punto 2 (IH)	Punto 3 (SH)
Temperatura (C°)	21.18	22.80	24.34
pH	10.39	10.39	9.11
pHmV	-216	-217	-143
Potencial de oxidación- reducción (ORPmV)	-219	-205	-291
Salinidad (mS/cm)	39.2	10.8	23.0
Turbidez (NTU)	1000	1000	349
Oxígeno disuelto (mg/L)	3.28	8.83	5.76
Total, sólidos disueltos (g/L)	23.9	6.70	14.3
TDS (ppt)	25.09	6.12	13.89

σt	17.0	2.4	7.8

Se puede observar que hay variaciones en la temperatura viéndose un aumento gradual, como se observa de los puntos de muestreo 1 a 3, esto puede influir en la velocidad de las reacciones metabólicas de los organismos acuáticos y en la disponibilidad de oxígeno en el agua.

Se observa que el pH varía entre los puntos de muestreo, con valores más altos en los puntos 1 y 2 (EH e IH) y un valor ligeramente más bajo en el punto 3 (SH). Estos valores de pH elevados en los puntos 1 y 2 pueden indicar condiciones alcalinas en esas áreas del humedal. La alcalinidad del agua puede afectar la disponibilidad de ciertos nutrientes para los organismos acuáticos, como el fósforo y el nitrógeno, y también puede influir en la solubilidad de metales pesados (VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO DE ESPAÑA, *Plan estratégico de Humedales a 2030* 2022). Los valores de ORP muestran variaciones entre los puntos de muestreo, con valores más negativos en el punto 3 (SH) en comparación con los puntos 1 y 2 (EH e IH). Los valores negativos de ORP indican un entorno reductor, donde las reacciones de reducción son más probables. Esto puede ser el resultado de la presencia de materia orgánica en descomposición o de la actividad bacteriana, lo que puede afectar la calidad del agua y la disponibilidad de oxígeno disuelto para la vida acuática (VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO DE ESPAÑA, *Plan estratégico de Humedales a 2030*, 2022).

En cuanto a la salinidad se observa que hay variaciones entre los puntos de muestreo; 1 (EH) muestra un valor más alto en salinidad, luego el punto 3 (SH) seguido del punto 2(IH) que tiene un valor más bajo.

Los datos muestran una alta turbidez en los puntos 1 y 2 (EH e IH), con valores de 1000 NTU, mientras que en el punto 3 (SH) la turbidez es considerablemente más baja, con un valor de 349 NTU. La alta turbidez en los puntos 1 y 2 indican que hay más sedimentos en esas áreas afectando la penetración de luz en el humedal.

El punto 2 (IH) muestra la concentración más alta de oxígeno disuelto, con un valor de 8.83 mg/L, seguido por el punto 3 (SH) con 5.76 mg/L, y el punto 1 (EH) tiene la concentración más baja, con 3.28 mg/L. Al tener valores más bajos de oxígeno disuelto limitan la capacidad de los organismos para llevar a cabo procesos metabólicos, mientras que valores más altos pueden ser beneficiosos (Flowen., 2020).

El punto 1 (EH) tiene la concentración más alta de sólidos disueltos, con un valor de 23.9 g/L, seguido por el punto 3 (SH) con 14.3 g/L, y el punto 2 (IH) tiene la concentración más baja, con 6.70 g/L. Concentraciones más altas de sólidos disueltos pueden indicar una mayor carga de contaminantes en el agua, siendo en el punto 1(EH) (Flowen., 2020).

Análisis de muestras en el Centro de Biosistemas de la Universidad JTL

Según el cronograma de actividades se realizó una visita a campo el día 25 de febrero de 2023 para tomar muestras de agua en los tres puntos de muestreo seleccionados con el objetivo de llevarlas al centro de biosistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano el día 6 de marzo del mismo año. Del cual fueron entregados los resultados el día 31 de marzo de 2023 con el fin de conocer qué características tiene el agua, como ver las concentraciones de distintos minerales que componen la fuente hídrica y establecer su calidad de agua, teniendo variables de pH, C.E, NH_4N, $N - NO_3$, K, Ca, Mg, S, Na, Cl,CO_3,HCO_3, Fe, RAS. Con el fin de evaluar qué parámetros fisicoquímicos se utilizarán en el desarrollo del monitoreo con tecnología SCADA, y de las cuales se hará la comparación en el análisis de los datos obtenidos por el sistema para ver la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos por los sensores del dispositivo.

Revisión bibliográfica de avifauna

La revisión de avifauna proporciona información estimable sobre la ecología de las aves en este tipo de hábitat, así como su estado de preservación y las amenazas a las que se enfrentan en su día a día.

Se hace una recopilación de referencias bibliográficas definiendo el objetivo de interés, en este caso, qué aves habitan en el humedal, realizando una búsqueda utilizando operadores booleanos (AND, OR, NOT) en bases de datos científicas, revistas especializadas o páginas web como el Instituto Humboldt, Naturalista Colombia, Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB) y repositorio de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Con el fin de realizar un análisis de la información obtenida de las fuentes para identificar diversidad de especies presentes en la zona del humedal.

Los documentos que se encontraron en base a la búsqueda de información se nombran a continuación:

- Proyecto de grado: AVIFAUNA ASOCIADA AL LAGO 1 TERMOPAIPA III Y AL HUMEDAL DE LA VEREDA LA ESPERANZA, DEL MUNICIPIO DE PAIPA-BOYACÁ (UPTC).

- Artículo: Flora y fauna del municipio de Paipa, Boyacá (Instituto Humboldt).(Fundación Orinoquia Biodiversa, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Mesa, L. et al, 2014)
- Registro de biodiversidad: Lista de verificación de Paipa (Naturalista Colombia) (*Lista de verificación de Paipa*, n.d.).
- Libro: rojo de aves de Colombia (minambiente) (Pontificia Universidad Javeriana, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, *Libro-Rojo-de-Aves-de-Colombia-Volumen-I. ...* 2014)
- Unión Internacional para la conservación de la naturaleza (IUCN., n.d.)

A partir de la información encontrada se construye una tabla de revisión bibliográfica con patrones de seguimiento de cada especie, la cual será empleada en una matriz cualitativa de: origen, hábitat y posibles riesgos de las especies asociados en la zona.

Vertimientos y residuos sólidos en el humedal

La participación de las comunidades locales desempeñó un papel crucial en este proceso de monitoreo, teniendo en cuenta las entrevistas previamente realizadas en donde se recopiló información sobre percepciones, experiencias y observaciones relacionadas con la calidad del agua y los posibles impactos ambientales en el humedal.

Además, se buscó asesoramiento de expertos en el tema para tener más claridad y comprensión de posibles contaminantes y sus efectos en la calidad del agua del humedal. Expertos como el Biólogo Carlos Felipe Zanabria de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, la Bióloga Viviana Osorno Acosta, aportan su experiencia y conocimientos especializados.

La información obtenida durante esta visita e inspección visual se integró ayudando a obtener una evaluación holística, permitiendo identificar los posibles problemas.

Identificación y selección de parámetros

Para la elección de parámetros fisicoquímicos se tuvieron en cuenta las siguientes características:

1. Una visita de campo con Corpoboyacá proporcionó perspectivas sobre el posible cambio de los parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua a lo largo del tiempo. Estos cambios pueden estar influenciados por la época del año y las condiciones climáticas imperantes en el municipio. La importancia de estos parámetros se

destaca por la evidencia observada en el campo, incluyendo la presencia de sólidos, la ausencia de vida en el cuerpo de agua salino y la turbidez, que indica una falta de transparencia en el agua.

2. Priorización de los parámetros que tengan mayor variación entre cada punto de muestreo (3) con relación a los resultados obtenidos por el multiparámetro y el análisis de las muestras en el centro de biosistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

3. Relación fisicoquímica e importancia a nivel de organismos acuáticos para la calidad del agua del humedal. Teniendo en cuenta el conocimiento previo de estudio de cada parámetro.

4. Economía debido al costo que incurre comprar sensores con ciertas características de salinidad y temperatura; ya que se tienen que adaptar en los tres puntos seleccionados para el monitoreo, lo cual hace que se incrementen costos para los estudiantes que están realizando el trabajo.

Por tal razón se toman tres parámetros fisicoquímicos para la medición en cada uno de los puntos seleccionados del monitoreo, teniendo un total de nueve sensores, tres de cada uno de los parámetros elegidos distribuidos en los tres puntos de selección donde se pondrá el dispositivo para realizar el monitoreo de forma automática y remota.

Revisión bibliográfica de la circulación subterránea presente en el humedal.

La circulación subterránea es esencial en el ciclo hidrológico, el cual implica el movimiento del agua a través del suelo y las rocas debajo de la superficie terrestre.

De las cuales derivan ciertas etapas del ciclo de la circulación subterránea como son: la infiltración, percolación, zona de saturación, flujo subterráneo y descargar (n.d., UNIDAD 4: Aguas Subsuperficiales y Subterráneas).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se realiza una búsqueda de los mapas hidrológicos del municipio y los compartidos por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá para hacer una inferencia visual de los flujos del agua en el humedal con ayuda de expertos en el tema como el ingeniero Jhon Michel Fonseca y Andrés Felipe Santana, los cuales son funcionarios de la corporación.

De tal forma se indaga cómo se pueden presentar las etapas del ciclo hidrológico en el humedal.

Servicios ecosistémicos

Se realiza una tabla en base a los servicios ecosistémicos que brinda el humedal a lo largo de la investigación y su problemática ecológica, teniendo en cuenta el cuerpo de agua, la fauna y flora, el suelo, paisaje natural y el hombre.

7.1.4. Estudio de las variables económicas

Ecoturismo

Al recopilar información sobre el humedal y las causas de su baja calidad hídrica, se analizan los efectos de su recuperación, principalmente económicos; incluyendo una evaluación de variables como el turismo en el municipio, centrándose específicamente en la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá), ya que será uno de los beneficiarios con el desarrollo de este proyecto. Ya que el turismo es uno de los pilares económicos fundamentales del municipio, y se espera que la restauración del cuerpo de agua genere un crecimiento económico significativo. Este crecimiento beneficiaría a los sectores recreativos, como hoteles y restaurantes, ubicados alrededor del humedal.

Disponibilidad del recurso hídrico

Para evaluar la disponibilidad del recurso hídrico en el Humedal de Salpa, se llevará a cabo una evaluación cualitativa de las actividades humanas que impactan este recurso vital. Se analizará el impacto de actividades como la agricultura, la industria y la urbanización en la calidad y cantidad de agua disponible en el humedal. Esto incluirá la identificación de posibles fuentes de contaminación, la extracción excesiva de agua y los cambios en el uso del suelo que afecten el ciclo hidrológico del humedal.

Además, se buscará la percepción social de la población local sobre la disponibilidad del recurso hídrico, se incluirán las entrevistas realizadas a los ganaderos y a representantes de la industria local (Anexo 1).

7.2. Fase 2. Diseño

Esta fase se divide en tres fases, la primera es la fase de diseño conceptual que consiste en la revisión del primer objetivo, para poder establecer los requerimientos para el desarrollo del proyecto. La segunda fase consiste en el diseño preliminar, donde se elige por medio de matrices de decisión el tipo de sensores y los materiales de construcción para el sistema de monitoreo con tecnología SCADA; por último, la fase de diseño detallado, en el cual se realiza el diseño del hardware y software, así como de la interfaz donde se podrán observar la captura de los datos a partir de lo establecido previamente por la literatura.

Cabe mencionar que el sistema solo cumplirá con la parte de monitoreo o la fase de recolección de información de tecnología SCADA, por lo que el diseño se realizará siguiendo sólo parámetros para la recolección de datos. Además de que el sistema integrará elementos de la tecnología SCADA (software de almacenamiento y visualización) según las características que se definan en la fase de diseño.

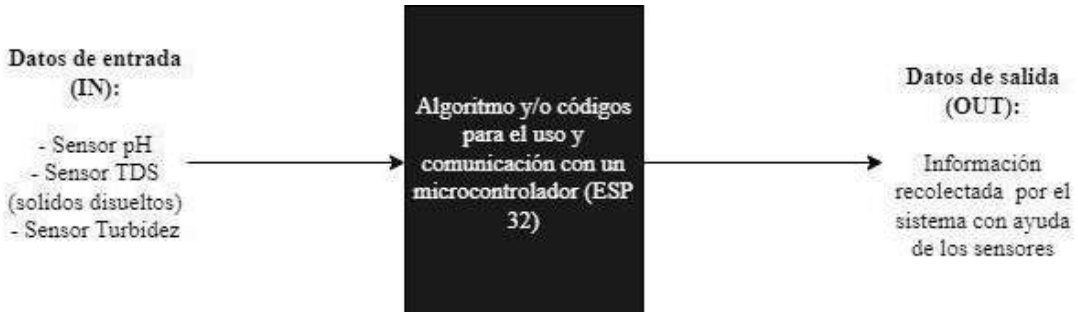
7.2.1. Diseño preliminar

En esta fase se inicia la contextualización de primer objetivo con la ayuda de diagramas de caja negra y gris, junto con la recolección de información que se hizo en la primera fase, para hacer la identificación de los parámetros que se usarán para el diseño detallado y construcción del sistema de monitoreo, así como de las posibles variaciones o afectaciones a lo largo de la realización del proyecto de acuerdo al análisis de la primera fase de la metodología y con esto hacer el levantamiento de los requerimientos funcionales, de calidad y de restricción. Haciendo búsqueda bibliográfica de los posibles microcontroladores y técnica SCADA en la que se va a realizar el sistema de monitoreo, definiendo también las condiciones de obtención de cada una de las variables para la ayuda de la escogencia de los elementos que compondrán la parte del hardware y software del sistema.

- *Diagrama de caja negra*

Como se puede observar en la Figura 19. como datos de entrada (IN) en la caja negra se encuentran todos los sensores (pH, TDS y turbidez), apenas los sensores empiecen a dar lecturas el proceso interno (bloque del medio) con la ayuda de los códigos que se van a realizar, se comunicara los sensores junto con el microcontrolador (ESP 32) para la recolección de información de las variables fisicoquímicas escogidas.

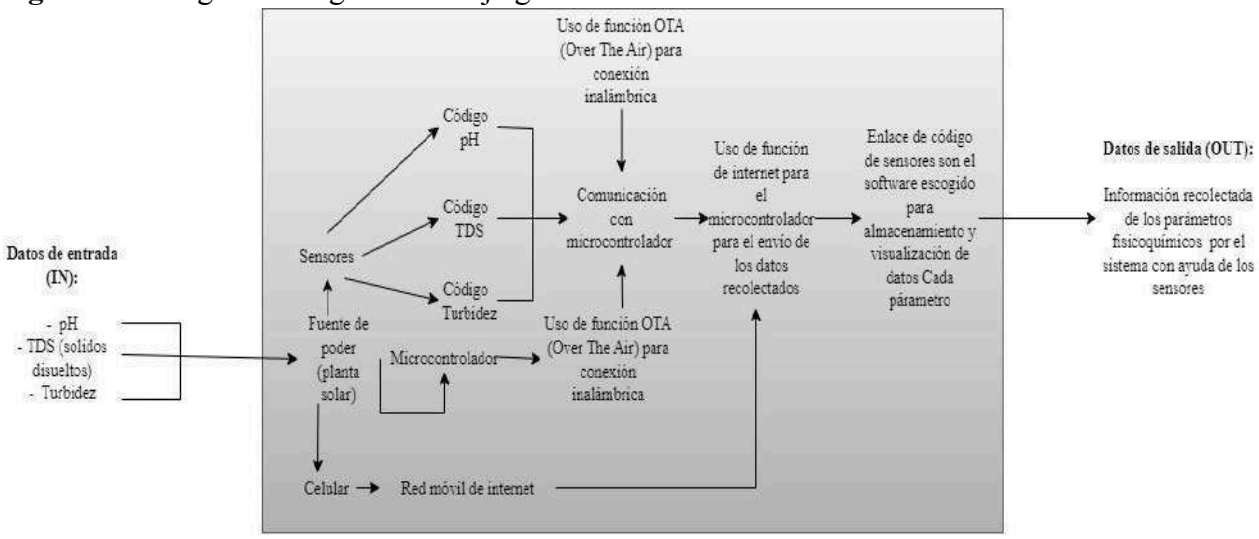
Figura 19. Imagen de diagrama de caja negra



- *Diagrama de caja gris*

Para el diagrama de caja gris observado en la Figura 20. los datos de entrada (IN) son los parámetros fisicoquímicos escogidos, siendo en el bloque del proceso el inicio del sistema la fuente de poder que suministrará la energía al sistema, especialmente a los sensores y microcontrolador que son la base primordial del sistema de monitoreo, que mediante la ayuda de los códigos para cada sensor ayudarán a la comunicación junto con el microcontrolador a escoger, para luego mediante librerías de código usar la función de internet y así poderlo enlazar con el software de almacenamiento y visualización para poder cumplir con lo propuesto de realizar un monitoreo de forma remota y en línea.

Figura 20. Imagen de diagrama de caja gris



7.2.2. Diseño detallado

En esta etapa se diseña el hardware y el software para los elementos, principalmente electrónicos, del dispositivo SCADA que se utilizaran para medir y monitorear la captura de datos de los parámetros fisicoquímicos para la calidad del agua del humedal de Salpa y realizar las pantallas de control de donde se va a observar la información.

Posteriormente el sistema de monitoreo a realizar compartirá particularidades con sistemas SCADA de igual enfoque, para los cuales se desarrollan algoritmos de recopilación, control y salida de resultados. El desarrollo de sistemas embarcado se caracteriza por la necesidad de desarrollar software y hardware al mismo tiempo, por ello utilizar una metodología que facilite dar mayor valor al usuario, la colaboración de la comunidad interesada, brindar cambio de requerimientos y al progreso del software, permitirán alcanzar el logro de los objetivos definidos en este proyecto (Carriazo Regino, Y., 2021).

Tablas de decisión sensores (pH, turbidez y TDS - sólidos disueltos)

Para la elección de los sensores se implementaron "tablas de decisión" siguiendo los parámetros fisicoquímicos del humedal siguiendo la información y análisis previo de la fase de conceptualización.

Para la realización de las tablas de decisión se decidieron comparar aspectos como voltaje de alimentación, rango de medición, precio, entre otros.

Finalmente, para la puntuación, se utilizó una calificación máxima de 5 y la mínima de 1, sacando una sumatoria total de todas las puntuaciones para cada especificación de cada componente, luego se divide en el número de aspectos o características de cada sensor que se calificaron.

- *Sensor pH*

Tabla 3. Tabla de decisión sensor de pH.

Característica	SKU:SEN0161		SKU: SEN0169		Módulo PH PH-4502C	
Voltaje de entrada	5 V	5	5 V	5	5 V	5
Rango de pH	0 – 14	5	0 – 14	5	0 - 14	5
Exactitud	± 0.1 pH	5	± 0.1 pH	5	± 0.1 pH	5
Temperatura de operación	-10 a 50 ºC	4	0 a 60 ºC	5	0 a 60 ºC	5
Humedad que resiste	95% (pero no a períodos muy largos)	4	No hay información	0	95% (nominal = 65%)	5
Valor	166.600 COP	4	332.283 COP	2	177.484 COP	3
Total	4.5		3.7		**4.6**	

- *Sensor turbidez*

Tabla 4. Tabla de decisión sensor de turbidez

Característica	**Sensor de turbidez SKU SEN0189**		**Módulo de turbidez TSW-10**	
Voltaje de alimentación	5 V	5	5 V	5
Corriente de operación	40mA (Max)	5	40mA <	4
Rango	0 - 1000 NTU	5	0 - 1000 NTU ± 30	5
Temperatura de operación	5°C a 90 °C	4	-30 °C a 80 °C	5
Humedad de operación	34 a 95%	5	34 a 95%	5
Tiempo de respuesta	<500ms	5	<500ms	5
Precio	70.000 COP	5	90.000 COP	4
Total	**4.85**		4.70	

- *Sensor TDS (sólidos disueltos)*

Tabla 5. Tabla de características del sensor de TDS (sólidos disueltos).

Característica	Sensor de TDS SKU: SEN 0244
Voltaje de operación	3.3 ~ 5.5V
Corriente de operación	3 a 6 mA
Rango de medición	0 a 1000ppm
Precisión	± 10% (25 ℃)
Precio	85.000 COP

Elección de microcontrolador

Para la puntuación se escogieron las características mostradas en la tabla 6, y se agregó una ponderación, ya que, en esta ocasión, hay variables más importantes a considerar para el uso en el sistema de monitoreo. La ponderación son porcentajes y la sumatoria de cada variable en total da 100%.

Tabla 6. Tabla de decisión del microcontrolador.

Característica	Ponderación puntaje de variables (%)	ATMega328P (Arduino)		PIC 18F2550		PIC 16F887		ESP-32	
Memoria Flash	0,3	32 KB Flash (0,5 para bootloader)	4	32 KB	4	8 KB	3	520 KB	5
Pines	0,1	28 pines	4	24 pines (con 3 interrupciones externas).	3	35 pines	5	38 pines	5
Voltaje de operación	0,1	5 V	4	4.2-5.5 V	5	5 V	4	2.55 a 3.3 V	5
Sistema receptor/emisor	0,25	20.000 COP	4	60.000 COP	3	15.000 COP	5	15.000 COP	5
Precio	0,15	20.000 COP	4	60.000 COP	3	15.000 COP	5	15.000 COP	3
Total		20		18		22		**23**	
Total, con ponderación		3,6		3,2		3,8		**4,2**	

7.2.3. Diseño industrial

En esta etapa del diseño, se debe de tener en cuenta elementos externos a la parte electrónica, como lo es la alimentación del sistema, teniendo en cuenta cálculos de

consumo que se realicen, el material con el que se va a proteger de las condiciones ambientales, software de visualización y almacenamiento de datos, alguna red de internet, además del estado de la señal de internet para la comunicación de los sensores, entre otros.

Elección de software para visualización y almacenamiento de datos

Para la comunicación se utilizará la metodología MQTT para enlazar los sensores junto con el software escogido para almacenar y visualizar los datos, por lo que el software a escoger debe de cumplir con esa característica de la comunicación (MQTT).

Para la puntuación, la calificación máxima es 5 y la mínima es 1, para sacar el total se hace la sumatoria de todas las puntuaciones y se divide en el número de aspectos o características de cada sensor.

Tabla 7. Tabla de decisión del software para almacenar y visualizar datos.

Variables para analizar	**ThingSpeak**		**Thingsboard**		**ArduinoSCADA Cloud**	
Tiempo entrega datos	15 s	*5*	2 s (servicio de compra de licencia)	*4*	1 s	*5*
Retención de datos	Siempre	*5*	Depende el tiempo de licencia	*4*	30 días	*1*
Dispositivos para conectar	4	*5*	4	*5*	2	*1*
Número de variables a manejar	8	*5*	5	*5*	5	*5*
		20		*18*		*12*

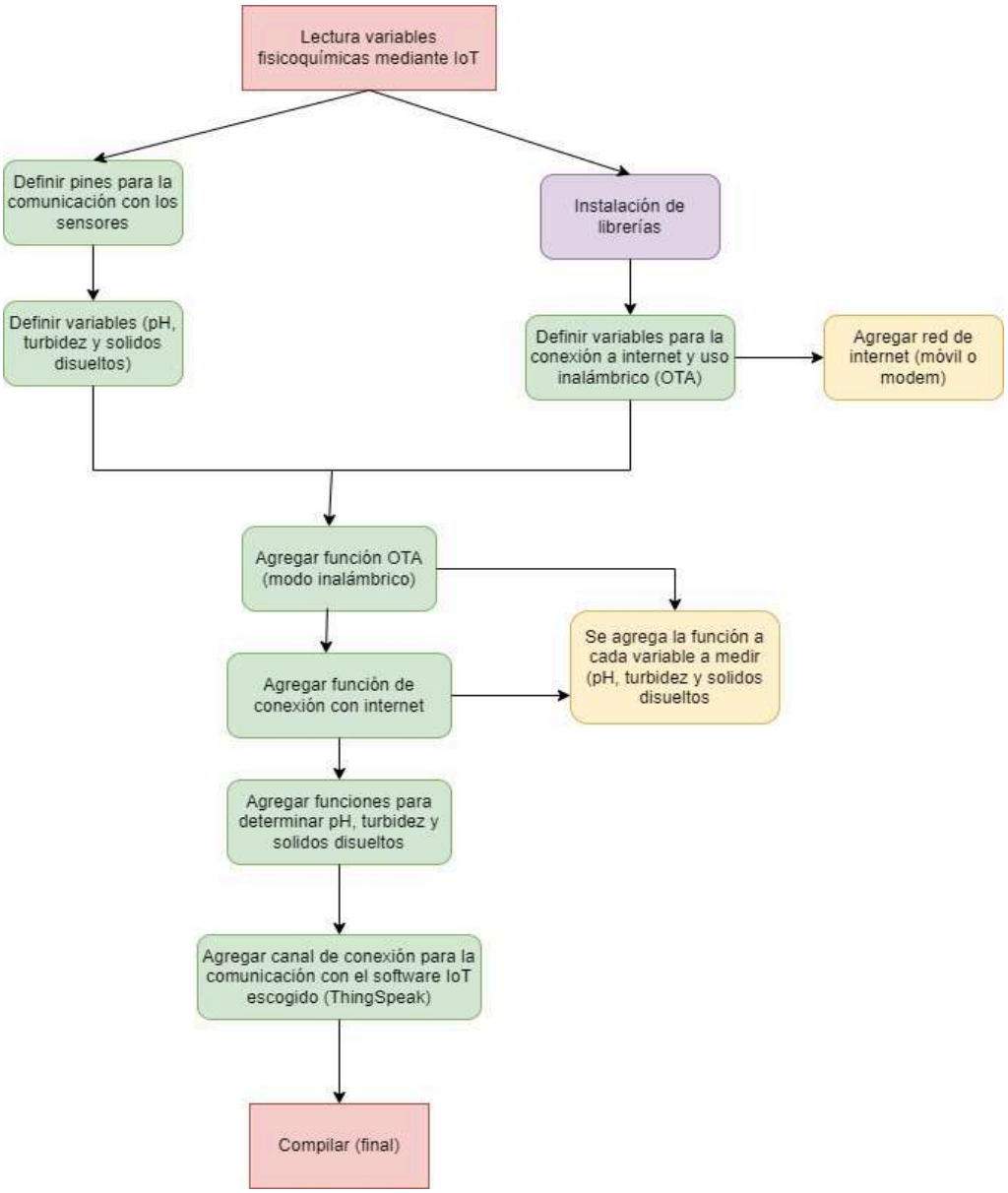
Como se observa en la Tabla 7, el software escogido fue el software ThingSpeak, especialmente por su retención de datos, ya que a comparación de Thingsboard y de Arduino SCADA Cloud, ThingSpeak ofrece servicios de visualización y de retención de datos sin necesidad de pagar la licencia y además los datos siempre se mantendrán guardados, por lo que es un software resulta más asequible a comparación de los demás software para monitoreos de tipo SCADA (IoT) para manejar la comunicación de los datos que se vayan a recolectar en el sistema de monitoreo. Aunque el sistema esté definido como un sistema SCADA, el sistema principalmente realizara la parte de la recolección de información, por tal razón la elección previamente de los sensores y del tipo de

microcontrolador a usar, ya que de momento el control no es viable (incluso para el uso del microcontrolador escogido) por la poca información que se encuentra del humedal a evaluar, por lo tanto el microcontrolador escogido será eficiente en la parte de la recolección de datos por las características que tiene en cuanto a memoria y a compatibilidad con varios software para el almacenamiento de los valores o datos.

Además, la visualización de los datos también se realizará mediante ThingSpeak, el cual estará vinculado mediante programación al microcontrolador escogido (ESP-32).

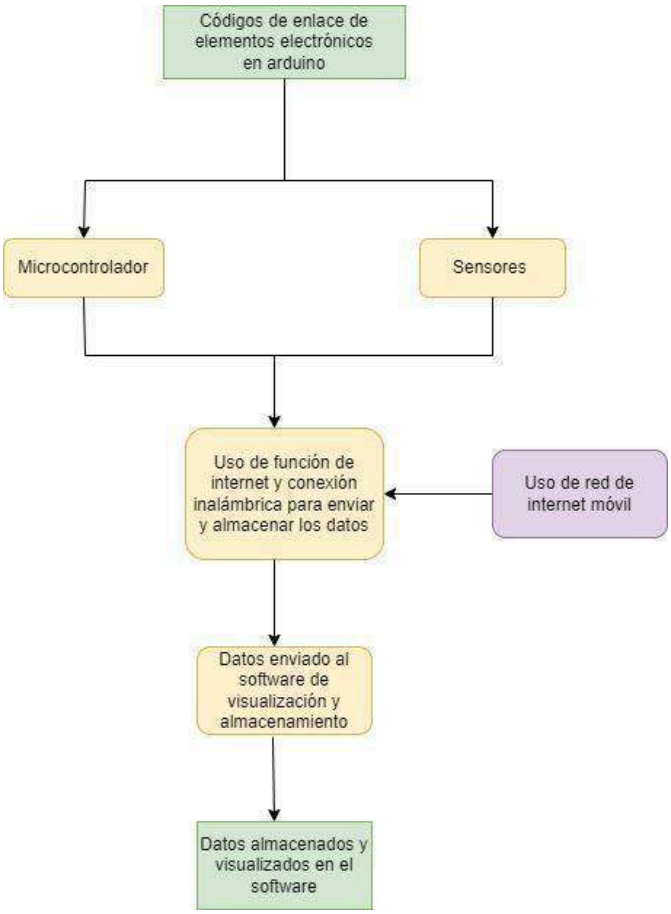
- *Diagrama de flujo de código de comunicación de sensores con el software escogido*

Figura 21. Diagrama de flujo de código para la comunicación de sensores con el software escogido



- *Diagrama de flujo de funcionamiento de sensores con microcontrolador*

Figura 22. Diagrama de flujo de código para la comunicación de sensores con el software escogido



Elección material de cobertura (hardware)

Se realizó una matriz de decisión para escoger el material de cobertura, se evaluó la durabilidad del material en el tiempo, la resistencia (principalmente en el agua), la impermeabilidad y la corrosividad.

1 indica un puntaje positivo, 0 indica un puntaje negativo, por lo que el puntaje mayor de todos es el material para escoger.

Tabla 8. Tabla de decisión del material de cobertura.

Material	Durabilidad (en el tiempo)	Resistencia (al agua)	Imperme abilidad (en caso de que se	Oxidación (quien es más expuesto a	Precio por plancha (alrededor	Total puntaje

			le aplique)	**oxidación o degradación)**	**de unos 20 cm o más)**	
Plástico (polímero)	1	1	1	1	1 (alrededor de unos 12.000 COP)	**5**
Madera	1	0	0,5	0	1 (alrededor de unos 12.000 COP)	2,5
Metal	1	0,5	1	0,5	0 (alrededor de unos 20.000 COP)	3

- *Tabla de decisión para material de cobertura de planta*

Tabla 9. Tabla de decisión del material de cobertura para el sistema solar.

Material	Durabilidad (en el tiempo)	Resistencia (al agua)	Impermeabilidad (en caso de que se le aplique)	Oxidación (quien es más expuesto a oxidación o degradación)	Precio por plancha (alrededor de unos 20 cm o más)	Total puntaje
Madera (impermeable al agua)	1	0,5	0,5	0,5	1 (alrededor de unos 12.000 COP)	3,5
Metal	1	0,5	1	0,5	0 (alrededor de unos 20.000 COP)	3

Alimentación

Para saber la alimentación necesaria del sistema, se empieza por calcular en términos de corriente eléctrica (amperaje), cuanta consumiría por hora para conocer su gasto y mediante el cálculo buscar la manera más efectiva de proporcionar energía eléctrica (baterías, red eléctrica, etc).

- Consumo de sensor de turbidez: 40 mA
- Consumo de sensor de sólidos disueltos: 6mA
- Consumo de sensor de pH: 10 mA
- Consumo microcontrolador ESP-32 (máxima): 100 mA

Por lo que se suma todo el consumo de las corrientes:

40 mA +10 mA + 6 mA + 100 mA = 156 mA

Luego del consumo total (156 mA), se multiplica por 24 H (equivalentes a un día)

C = 156 mA * 24 H
C= 3,7 AH

El valor de 3,7 AH corresponde a el uso máximo del a corriente del microcontrolador, por lo que si se calcula con la corriente mínima de consumo el resultado sería:

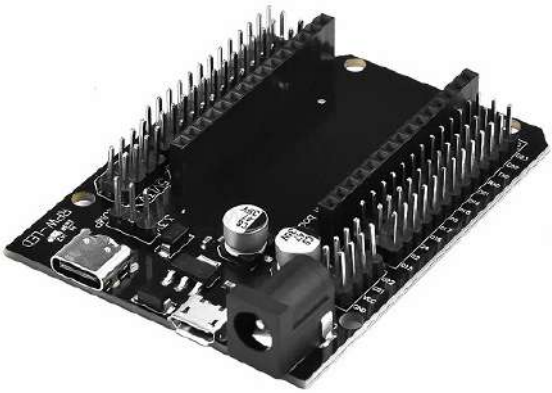
40 mA +10 mA + 6 mA + 75 mA = 131 mA

Luego se calcula el consumo del valor de 131 mA por 24 H

C = 131 mA * 24 H
C= 3,2 AH

Por lo que se podría concluir que para que el sistema funcione correctamente, se necesitaría una alimentación para consumir entre 3,2 - 3,7 AH, además teniendo en cuenta las características de la alimentación del ESP-32, la batería debe de ser de 5 V, pero al agregarle la bornera de expansión al ESP-32 (Fig 18) se pueden manejar también voltajes entre 5 a 16 V.

Figura 23. Bornera de expansión para ESP32.



Si se tiene en cuenta la fórmula P = I (amperaje) * V (voltaje), manejando un voltaje de 5 V la potencia que consumiría el sistema equivaldría a 18.5 W y si se manejara un voltaje un poco mayor a 5 V (en este caso el ejemplo sería a 12 V que equivaldría al voltaje de un cargador de celular), la potencia estaría alrededor de unos 45 W.

Por lo que, en conclusión, preferiblemente obtener una fuente que solo consuma pueda administrar 5 V para evitar tanto consumo en potencia y amperaje.

Elección red de internet

Para la puntuación, la calificación máxima es 5 y la mínima es 1, para sacar el total se hace la sumatoria de todas las puntuaciones y se divide en el número de aspectos o características de cada sensor.

Tabla 10. Tabla de decisión de la red de internet a usar.

Características	**Celular con datos (con Android mayor al 2.3)**		**Modem portátil**		**Módulo SIM Arduino (4G)**	
Señal de internet (al momento de perder voltaje o descargarse)	El celular por más que se empiece a descargar siempre administra la misma señal de internet	5	Al momento que la fuente de alimentación empieza a descargarse el modem perderá señal	3	Al momento que la fuente de alimentación empieza a descargarse el modem perderá señal, además también afectará la antena a utilizar	1
Alimentación (voltaje/corriente)	5 V / 1 A	4	5 V / 1 A	4	5 V/ 2 mA	5
Precio	150.000 pesos (Depende del modelo, pero hay modelos con Android 8 o superior)	5	240.000 - 300.000 CO	3	390.000 - 400.000 COP	1
		14		10		7

7.3. Fase 3. Construcción

En la fase de construcción del sistema se realiza la fabricación del sistema de monitoreo con los componentes electrónicos y demás elementos escogidos, siguiendo los cálculos y esquemas electrónicos definidos en las fases anteriores del diseño.

Selección de proveedores para adquisición de componentes electrónicos

Primero, se realizó una búsqueda de proveedores (locales, páginas web, entre otros) donde tuvieran dentro de su catálogo de productos las referencias de sensores y del microcontrolador escogidos; además de tener en cuenta la calidad (en servicio y productos) y precio de los proveedores.

Principalmente se consultaron locales que venden componentes electrónicos en la ciudad de Bogotá y municipios aledaños, como “ferretronica” ubicado en Tunja - Boyacá, Colombia, siendo este uno de los principales proveedores de componentes electrónicos que se necesitaran, del cual se adquirió el microcontrolador ESP32 junto con la bornera de expansión.

También se realizaron adquisiciones en páginas web, específicamente en la página “mercadolibre”, siendo este proveedor de bastante confianza por su seguridad para envíos y el tiempo de entrega, siendo eficaz al momento de realizar una compra. En mercado libre se realizaron las adquisiciones de algunos sensores, como el caso del sensor de pH, además de algunas sondas para los sensores, sobres para calibración de pH, baterías, planta solar, entre otros.

Construcción del sistema de monitoreo

Para la construcción del sistema se siguió lo definido en el diseño detallado e industrial, por lo que se empezó a realizar el armado del sistema con los sensores y el microcontrolador, primero se conectó el microcontrolador ESP32 a la bornera de expansión para luego realizar las conexiones de los sensores a la bornera.

Después, mediante el material de cobertura escogido (tubo de PVC), se almaceno la parte electrónica, sensores y microcontrolador, dentro del tubo de PVC, dejando en uno de los extremos del tubo las sondas sumergibles de cada sensor, además se diseñó una pequeña caja que pudiera cubrir la planta solar a utilizar, que también (caja) servirá de apoyo para la ubicación del sistema solar (paneles y conexiones a la planta).

Por último, luego de tener las conexiones del microcontrolador junto con los sensores y de realizar el empaque de la parte electrónica al material de cobertura (tubo de pvc y caja que almacene la planta solar), se siguió con la conexión de la fuente de alimentación, el cual como se mencionó anteriormente en las fases de diseño, se utilizara una planta solar que ayudará a dar la energía necesaria para que los sensores, microcontrolador y otros elementos externos (como lo es el celular para la red de internet) puedan funcionar.

Verificación códigos

Para la verificación del código que ayudará a la comunicación del microcontrolador al software de almacenamiento y visualización de datos escogido (ThingSpeak), se realizaron varias pruebas. Primero se compilo dentro del sistema la parte del código (Anexo A) que hace referencia a la función OTA (Over The Air) para la conexión inalámbrica del sistema, y finalmente se usó el código con la función de todos los sensores y comunicación al software escogido (Anexo B). Después de haber cargado los códigos previamente se realizaron mediciones con el sistema ya con los códigos compilados para comprobar la debida comunicación del sistema

7.4. Fase 4. Implementación

En la fase de implementación se realiza la instalación del sistema de monitoreo a los tres puntos escogidos en el humedal.

La implementación del sistema fue soportada con bases de madera o “estacas” que puedan aguantar el peso del sistema de monitoreo, por lo que luego de ubicar correctamente las estacas en los puntos a monitorear, luego se coloca cuidadosamente el sistema de monitoreo en la estaca. Se debe de tener en cuenta que el tubo del sistema de monitoreo no supere alrededor de los 10 - 20 cm de sumergido, ya que en esa medida está la ranura en donde se encuentra la conexión de la sonda con el sensor, por lo que puede caber la posibilidad que entre un poco de agua dentro del tubo de PVC que protege toda la parte electrónica, afectando las mediciones que se realicen, en consecuente se debe de proteger la parte de las sondas con cinta adhesiva y/o otra tipo de protección en caso de sumergir más el sistema.

Luego de instalar y sumergir correctamente el sistema en cada uno de los puntos, finalmente se enciende la planta solar para que le de energía a todo el sistema, y así empiece el sistema automáticamente a medir y enviar datos al software escogido.

7.5. Fase 5. Pruebas

Para la validación del funcionamiento del sistema de monitoreo se realizan pruebas simulando el procedimiento de operación real. Con el fin de dar cumplimiento se establecieron las siguientes pruebas.

- Protocolo de funcionamiento: Verificar que el sistema no tenga problemas al conectarse con dispositivo que le da red wifi y al iniciar la visualización de datos en la interfaz gráfica de los tres parámetros. Así como el intervalo de tiempo en el envío de cada dato del punto de monitoreo a la aplicación donde se está visualizando cada parámetro.

- Prueba de rendimiento: Comprobar que la energía producida por la planta y los paneles solares son aptos para el consumo de energía generado por los sensores y el dispositivo móvil por varias horas en cierta cantidad de días.

- Prueba de seguridad: Revisar que la caja donde se almacenará la planta de energía y el dispositivo móvil cierre y abra correctamente y no permita el paso de agua y los proteja de la variación del clima del municipio

- Calibración de sensores: Evaluar que los sensores estén dando valores correctos y congruentes a lo que se está midiendo; en este caso se hace una medición en agua destilada para corroborar que los datos sean verídicos.

7.6. Fase 6. Evaluación

En esta fase se evaluará el sistema de monitoreo en el humedal según los puntos previamente seleccionados y teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos escogidos, luego como segunda parte se realizará una verificación del sistema para rectificar su funcionamiento, haciendo la medición de los parámetros con la interfaz gráfica y con esto analizar los datos arrojados por los sensores; realizando las siguientes actividades para dar cumplimiento a los requerimientos y objetivos establecidos.

- Comparación de los datos obtenidos del sistema de monitoreo automático y remoto con los datos obtenidos por el multiparámetro y con los datos obtenidos en el análisis de agua del centro de biosistemas de la universidad Jorge Tadeo Lozano.

- Graficación de los datos obtenidos por el sistema de monitoreo con tecnología SCADA en el intervalo de los días de estudio, comparando los meses y las jornadas en variable de mañana y de noche.

- Analizar la estadística descriptiva de la media de los datos, el rango, la desviación estándar utilizando histogramas o gráficos de barra para identificar patrones y tendencias. Utilizando herramientas para el análisis estadístico de los datos como Python y Excel.

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

8.1. Fase 1: Objetivo específico 1. Conceptualización

En esta fase se dará el desarrollo de la metodología planteada para el primer objetivo

8.1.1. Análisis descriptivo de la fuente hídrica

Se hace una evaluación exhaustiva que examine diversas características y parámetros del cuerpo de agua. Proporcionando una comprensión detallada de los atributos sociales, económicos y ecológicos del recurso hídrico.

8.1.2. Estudio de variables sociales

Desarrollo de entrevistas semiestructuradas

- *Entrevista ex director de la corporación autónoma regional de Boyacá*

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en su Resolución N° 157 de 2004 establece que "las autoridades ambientales competentes deberán elaborar y ejecutar planes de manejo ambiental para los humedales prioritarios de su jurisdicción, los cuales deberán partir de una delimitación, caracterización y zonificación para la definición de medidas de manejo con la participación de los distintos interesados. El plan de manejo deberá garantizar el uso sostenible y el mantenimiento de su diversidad y productividad biológica. Las autoridades ambientales que a la fecha de la entrada en vigencia de la presente resolución hayan formulado o implementado planes de manejo ambiental en humedales de su jurisdicción, deberán complementarlos o actualizarlos con base en lo establecido en la presente resolución y en la guía técnica que para el efecto determine el Ministerio."

Igualmente, esta misma norma menciona que la guía técnica establecerá por lo menos, los parámetros para que las Autoridades Ambientales Competentes realicen la delimitación, caracterización, zonificación y reglamentación de usos a los que se sujetarán los humedales prioritarios de Colombia.

Por tal razón se realizó una entrevista en mayo de 2022 al ex director de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá Hernán Amaya Tellez en las instalaciones de la corporación en la ciudad de Tunja, Boyacá. Reunión en la cual se tuvo acompañamiento de Giovany Rafael Viasus Quintero siendo Subdirector de Planeación y Sistemas de Información de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá; con la finalidad de conocer qué manejo y

reglamentación le estaban dando al humedal salino Salpa en el municipio de Paipa; en la que se trataron temas específicos del uso de este recurso hídrico y de la cual el funcionario dio claridad que el humedal "no ha tenido un manejo adecuado por parte de la entidad debido a los costos que derivan del cuidado, vigilancia y uso adecuado de los recursos naturales; impidiendo así los monitoreos regulatorios que se estipulan para esta fuente hídrica, ni para la atención que se debe prestar a su diversidad ecológica".

Teniendo en cuenta la información presentada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y por lo mencionado por el exdirector; se realizó un derecho de petición a la corporación en septiembre del año 2022 con la solicitud de acompañamiento a investigación y suministro de información sobre el humedal Salpa; del cual se tuvo respuesta en noviembre del mismo año. Concluyendo así lo siguiente y de la cual se puede verificar esta información en el anexo 5

- Se obtuvo acompañamiento del funcionario Jhon Michel Fonseca Rodriguez por parte de la corporación en el año 2022 para los debates y/o discusiones en el desarrollo del trabajo.
- Se verificó que en la actualidad no existen estudios específicos para el humedal que describen el estado actual y su función ecológica, ni tampoco un plan estratégico para su protección.
- Se dio a conocer la resolución 3617 del 30 de octubre de 2019 la cual menciona que la corporación autoriza el vertimiento de aguas residuales no domésticas termominerales al canal ITP, el cual queda al costado derecho del humedal como se puede observar en la Figura 24.

Figura 24. Canal ITP

- Se conocieron procesos administrativos sancionatorios de carácter ambiental al instituto de turismo de paipa y sector hotelero por manejo inadecuado de vertimientos al agua y captación ilegal del recurso hídrico.

- La aeronáutica civil allegó un documento denominado “Formulación plan de manejo ambiental del aeropuerto Juan José Rondón-Paipa” en el año 2019, el cual no fue evaluado por la corporación debido a que este tipo de proyecto requiere de licencia ambiental.

- *Entrevista a pobladores cerca de la zona del humedal.*

Considerando lo expuesto anteriormente por la corporación; se busca la colaboración de la comunidad para conocer sus opiniones respecto a la degradación que han podido ver del humedal a lo largo del tiempo; se tuvo en cuenta tres categorías: sector ganadero, sector hotelero, agricultores y habitantes mujeres que fueran amas de casa en el sector (piscinas) en el cual está ubicado el humedal.

De esta forma y teniendo en cuenta los actores involucrados se realizan las entrevistas semiestructuradas para dar cumplimiento de la metodología, donde cada entrevista consta de cinco preguntas estructuradas sobre el tema del cual se está tratando y en las cuales los pobladores pueden dar una respuesta abierta a cada pregunta según crean conveniente.

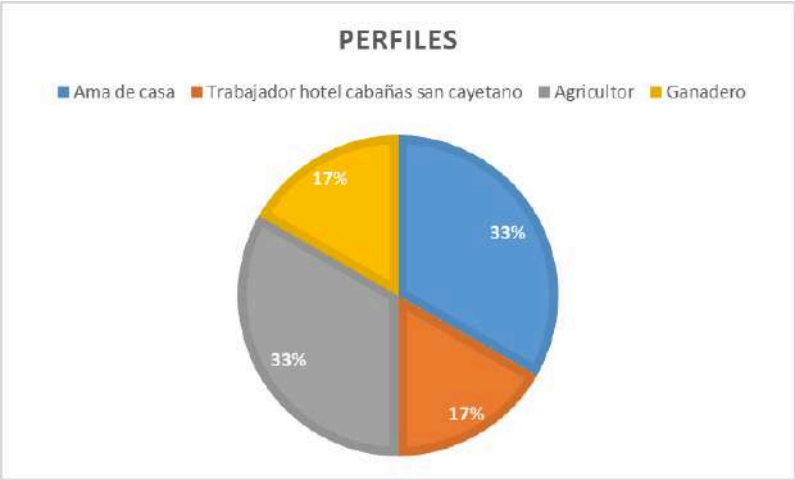
A Continuación, se muestra en la Tabla 11 los actores involucrados para la realización de las entrevistas, donde se expone su nombre, su perfil y la fecha en la cual se realizó la entrevista.

Tabla 11. Organización de cada informante y su perfil

	Entrevistado	**Perfil**	**Fecha**
1	Ana Rodriguez	Ama de casa	12 agosto de 2023
2	Carlos Monroy	Trabajador Hotel Cabañas San Cayetano	19 agosto de 2023
3	Natividad Pérez	Ama de casa	26 agosto de 2023
4	Norato Camargo	Agricultor	2 septiembre de 2023
5	Ernesto Gonzales	Ganadero	9 septiembre de 2023
6	Luis Salamanca	Agricultor	16 septiembre de 2023

Se realiza un diagrama circular en la Figura 25 para visualizar la composición de la población por su rol y/o asignaciones para el desarrollo de las entrevistas, con el fin de mostrar la distribución en porcentajes de cada perfil seleccionado.

Figura 25. Distribución del perfil de cada informante.



En primer lugar todos están de acuerdo en que el humedal se a venido degradando con el pasar del tiempo por diversas razones, como lo es actualmente con el funcionamiento del aeropuerto, ya que este mismo año 2023 volvieron a reabrir vuelos nacionales, lo cual piensa en el turismo de forma inadecuada para que las personas vengan y conozcan los atractivos turísticos de Paipa desde cualquier parte de Colombia para generar economía en el municipio, sin pensar en las especies que habitan en el sector y que están dañando su hábitat, de ahí parte que haya disminuido también la avifauna en todo el sector del humedal, ya que como menciona la señora Ana Rodríguez "desde que se le dio apertura al aeropuerto y cada que hay vuelos, dejo de ver la misma cantidad de aves en la zona". Así como también menciona el señor Carlos Monroy "se genera un aumento de contaminantes por parte de las personas que visitan las piscinas porque son personas que no tienen respeto con la naturaleza que siempre brinda armonía y solo arrojan basura, comida que después genera malos olores "esto porque no hay conciencia ciudadana o campañas de cuidado y educación para valorar y preservar estos paisajes tan únicos en el país; sin embargo la señora Natividad Pérez menciona que "la cultura es algo perdido que al fin y al cabo el gobierno tampoco enfatiza ni reglamenta el manejo que deben llevar este tipo de paisajes salinos, que se podrían aprovechar de la mejor manera y así devolver los recursos que en algún momento brindó este humedal como la sal".

Por otra parte, los agricultores mencionan que en algunas ocasiones la concentración de sales en el agua y en el suelo ha hecho que se dañen sus producciones de siembra, lo cual conlleva a una pérdida económica para ellos debido a que se dañan sus cultivos y muy pocas veces pueden recuperar parte de ellos.

De esta forma se evidencia que algunos pobladores están de acuerdo en que el humedal se ha ido desgastando a causa en su mayoría por degradación antrópica y otros que, aunque notan su deterioro por las mismas razones, también menciona su descontento por el tipo de agua salina que conforma esta fuente hídrica debido a las afectaciones directas en su economía.

Conociendo cada una de las opiniones de los actores involucrados se hace una inferencia de todas las respuestas obtenidas en las entrevistas realizando una matriz de análisis cualitativo.

Tabla 12. Matriz de análisis cualitativo de las entrevistas.

Poblador	Declarar humedal como área protegida
Ana Rodriguez	Deacuerdo
Carlos Monroy	Deacuerdo
Natividad Pérez	Deacuerdo
Norato Camargo	No le importa
Ernesto Gonzales	Desacuerdo
Luis Salamanca	Deacuerdo

En la siguiente Figura 26. Se realiza un diagrama circular donde demuestra la población en base a las entrevistas realizadas que tienen descontento y nos les parece interesante o significativo el cambio de una restauración del humedal para declararlo como área protegida, y las que si ven importante y de valor un cambio positivo para el humedal.

Figura 26. Distribución de los actores involucrados que les gustaría ver un proceso de restauración.

- *Entrevista a trabajador fábrica de sulfato.*

Explícitamente se busca conocer otro aspecto del cual sacaban provecho del humedal por sus características naturales de salinidad y alto contenido de azufre, aparte conocer cómo era antiguamente este lugar, ya que esta empresa cerró hace más de 30 años y son pocas las personas que tienen conocimiento o trabajaron en ella, por ello se realizó la entrevista al Ex-trabajador Carmen Julio Tellez (Anexo 5).

Después de la entrevista, se descubrió que previamente se había llevado a cabo un desarrollo industrial en el humedal, aprovechando sus recursos salinos. En ese entonces, una fábrica de sulfato operaba en la zona, utilizando un manantial natural que proporcionaba aproximadamente 6 pulgadas de agua, la cual fluía a través de todas las áreas pantanosas del humedal. Mediante tuberías, esta agua era dirigida hacia arriba, alcanzando una concentración de sal de alrededor de 32°, convirtiéndose en materia prima para la producción de sulfato hidratado. Esta materia prima era exportada a diversas industrias químicas y otros sectores. Además, las aguas residuales de las piscinas termales de Paipa también se vertían en el humedal, aunque se les proporcionaba un tratamiento separado. Sin embargo, durante las lluvias, el agua se diluía, volviéndose dulce y perdiendo su concentración de sal, lo que dificulta su uso industrial. Por lo tanto, estas aguas debían ser desechadas gradualmente en el río Chicamocha.

Actualmente el nacimiento de agua no tiene la misma presión de agua con la que salía anteriormente y sale con hierro y aluminio, lo que le ha dado una coloración roja al sedimento y demás lugares por donde pasa como se muestra en la Figura 27.

Figura 27. Nacimiento natural de agua salina en el humedal Salpa

Descripción visitas de campo

- *Mediciones y observaciones de campo*

En este punto se hacen observaciones por parte de los estudiantes en compañía de Giovany Rafael Viasus Quintero siendo Subdirector de Planeación y Sistemas de Información de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá) y encargado del acompañamiento del proyecto, con el fin de recopilar la información suministrada por las entrevistas realizadas y tener criterios de búsqueda para identificar patrones o tendencias de la calidad del agua en el humedal.

Realizando así salidas técnicas con actividades específicas como se ve en la Tabla 14 particularmente para generar el espacio de trabajo y conocimiento, así como trabajar en el humedal con ciertas bases, porque como se mencionó anteriormente es algo que nunca ha sido documentado o estudiado según la entidad regulatoria (Corpoboyacá).

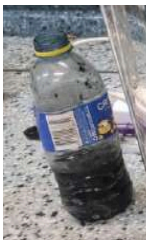
Tabla 14. Actividades realizadas en campo

Fechas	Actividad realizadas	Tiempo
8 de octubre de 2022	Medición en puntos con multiparametro	Cuatro horas
25 de febrero de 2023	Toma de muestras para análisis en centro	Tres horas

	de biosistemas	
15 de abril de 2023	Observación de características organolépticas en cada punto de muestreo	Dos horas y media

Por lo tanto, se realizaron mediciones inicialmente con un multiparámetros para ver variables iniciales del humedal, así como tomar muestras para ser estudiadas en un centro más especializado de análisis de aguas como se manifiesta y evidencia en el análisis ecológico de estas muestras y por consiguiente muestras de agua con el fin de observar cómo variaba sus propiedades organolépticas de color, olor, temperatura en cada uno de los puntos de muestreo como se ve en la Tabla 15.

Tabla 15. Propiedades organolépticas del agua en cada punto de monitoreo

Puntos de muestreo	Propiedad	Observación	Imagen
EH	Vista	Presencia de residuos sólidos; el agua tenía una coloración amarilla oscura	
	Olfato	Olor a agua termal	
	Tacto	Se siente una temperatura climatizada y textura líquida con partículas (granulada)	
IH	Color	El agua tiene una coloración verde y se observa presencia de lo que podrían ser algas	
	Olfato	Olor fuerte de azufre	
	Tacto	Se siente más tibia que en el punto anterior y una textura líquida más transparente como un espejo	
SH	Vista	Color negro con presencia de lodo	
	Olfato	Olor desagradable	
	Tacto	Temperatura con sensación mayor a las dos anteriores con textura viscosa	

Evidenciando así que la muestra del punto (EH) era líquida, pero tenía sólidos disueltos y un olor muy fuerte debido a que en este punto suele ser donde hay la mayor parte de tránsito de personas, residuos orgánicos y escombros y por el sulfuro de hidrógeno presente en el agua. En la muestra (IH) del punto dos siendo el intermedio y de mayor complejidad para su acceso, se ve el agua en un color verde oscuro transparente, pero de cierta forma el agua se aprecia translúcida y con menos cantidad de sólidos en ella, siendo su color característico por el azufre y por lo mismo un olor muy fuerte a azufre, en este punto el agua se ve natural a lo que se espera del humedal de su estado original debido al acceso del punto y finalmente la última muestra del punto (SH) donde se ve un color oscuro negro evidenciando mayor cantidad de solidos disueltos, de logra apreciar turbidez y con una mayor densidad.

Apoyo técnico y logístico de Corporación Autónoma Regional de Boyacá

Teniendo en cuenta los puntos de selección para el monitoreo y las entrevistas y revisiones bibliográficas para conocer el área de forma geográfica estableciendo límites y recopilando la información recolectada se pudieron identificar características únicas del humedal Salpa,

En este punto se recibió la respuesta (anexo 6) por parte de la corporación el día 8 de abril de 2024 donde se propone una visita al humedal el día 12 de abril del mismo año a las 10 am en el humedal Salpa con el acompañamiento del profesional de SIRAB Andrés Felipe Santana Ingeniero ambiental y el ingeniero geológico Jhon Michel Fonseca Rodríguez.

Se realizó la salida a campo el día sugerido con los ingenieros donde se expresó el desarrollo de objetivos que se le dio al proyecto y la realización del sistema de monitoreo, en tiempo real y automático; reunión en la cual expresaron su agrado hacia el funcionamiento de dicho sistema y la función que desempeña.

A continuación, se muestran las Figuras 27-30 donde se observa el montaje del sistema en uno de los puntos (EH) de monitoreo y el acompañamiento de los profesionales de la corporación.

Figura 28.
Acompañamiento de la corporación en el montaje del sistema de monitoreo SCADA. en el punto (EH).

Figura 29.
Visita punto (IH).

Figura 30.
Datos observados del funcionamiento del sistema de monitoreo.

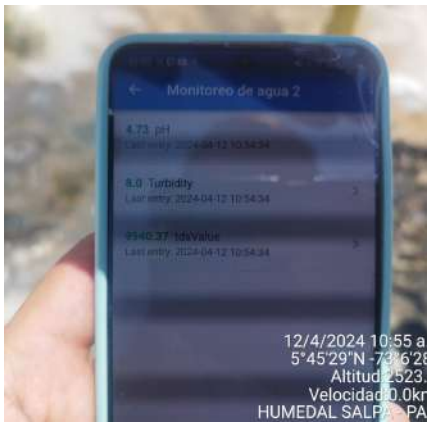


Figura 31.
Visita punto (SH).

Seguido de esta parada se realizó un recorrido por el humedal Salpa ubicados en los tres puntos de monitoreo, así mismo revisando y orientando las condiciones ambientales dentro del humedal. Se hizo un acta donde se plasmó la información mencionada la cual corrobora las actividades que se realizaron en campo (anexo 7).

Por último, se recibió una carta (anexo 8) por parte de la corporación el día 29 de mayo de 2024, donde expresan que este proyecto es de gran importancia para toma de decisiones en los procesos de planificación y protección de los ecosistemas de humedales termominerales presentes en el Distrito Regional de Manejo Integrado Lago Sochagota y la cuenca que lo alimenta.

Teniendo en cuenta lo anterior, la corporación considera como viable, eficiente e innovador este proyectó, el cual facilita avanzar en procesos de monitoreo de manera automática y remota dentro de este ecosistema léntico; lo cual permitiría tener conocimiento en tiempo real de las variaciones físicos - químicas que puedan tener el espejo de agua.

- *Relación del estudio de variables sociales con la elección de parámetros y el diseño del dispositivo.*

Las entrevistas contribuyeron para la investigación cualitativa de información donde se dio conocimiento de posibles contaminantes en la fuente hídrica por residuos sólidos, condiciones climáticas, la ausencia de monitoreos regulatorios como lo estipula la ley 99 de Minambiente en lo que respecta a la calidad del agua; por tal razón se planteó la realización de un monitoreo para una primera revisión de la calidad del agua con ciertos parámetros fisicoquímicos y tecnología Scada que mejore el rendimiento y tiempo de la toma de datos.

Las observaciones en campo de las características organolépticas en cada punto de muestreo aportaron en la elección de parámetros físico químicos debido al análisis de cada una de las propiedades sensoriales como la presencia de sólidos disueltos, sal, el color característico en cada uno de los puntos, la ausencia de vida en el agua, así como sensación de partículas y el olor particular a azufre.

Por último; con el acompañamiento de Corpoboyacá se relacionaron características de importancia con el uso de sensores y tecnología seleccionada, la cual brinda facilidad, mejora rendimiento y tiempos de monitoreo sin la presencia de expertos y la comprensión de datos en tiempo real y remoto.

Ya que el proyecto como se mencionó anteriormente da una ayuda en cuanto a facilitar el proceso de recolección de información para la corporación, especialmente para los planes de manejo que se vayan a realizar en el municipio de Paipa Boyacá, en el caso del proyecto, brindará apoyo a un plan de manejo que se va a realizar en el humedal Salpa, específicamente para el cuidado de los humedales.

Los profesionales también mencionaron que los resultados recolectados brindan apoyo en el componente de línea base, de los distintos elementos que se tiene en cuenta para un plan de manejo del departamento (componente de ordenamiento y componente estratégico), específicamente en el proceso de cuidado del humedal Salpa del municipio de Paipa, por lo que el componente de línea base es de vital importancia, ya que hace parte de los monitoreos que se vayan a realizar en el área del humedal siendo relevante observar en qué estado se encuentra, utilizando la información que se recolectó con el sistema de monitoreo con SCADA.

8.1.3. Estudio de variables ecológicas

Análisis de muestras centro de biosistemas.

Este análisis evalúa los cationes que estos tenían como parte la cantidad de potasio, sodio, calcio, magnesio y amonio. También los aniones que en este caso hacen referencia a nitrato, cloruro, azufre, hidroxilos y carbonato.

- *Análisis muestra 1(EH).*

Los resultados en este punto indican que hay salinidad Moderada del Agua (anexo 9), es decir, que esta clasificación de agua contiene una cantidad moderada de sales disueltas, es decir, es necesario un cierto grado de lavado para minimizar la acumulación de sales en el suelo. En la mayoría de los casos pueden crecer plantas con moderada tolerancia a sales, sin necesidad de hacer prácticas especiales para el control de la salinidad.

El alto contenido de sodio en el agua puede ser problemático para la mayoría de las plantas, ya que el sodio puede afectar la estructura del suelo y la absorción de nutrientes por parte de las raíces (lopez, *Agua de riego agrícola-Parámetros a tener en cuenta-Acumulación de sales-(II)* 2023). Específicamente, el sodio puede causar la dispersión de arcillas en el suelo, lo que resulta en la obstrucción de los poros y la reducción de la permeabilidad del suelo (Guzmán, E., 2009). Esta agua no es satisfactoria para fines de irrigación, a menos que tenga un moderado índice de salinidad.

Finalmente cuenta con riesgo de acumulación de cloruro en el suelo, esto puede contribuir a la salinización del suelo, lo que resulta en la reducción de la productividad de las plantas.

- *Análisis muestra 2 (IH)*

La muestra 2 presenta un contenido muy alto de sodio, lo que generalmente sería desfavorable para la irrigación debido a sus efectos negativos en el suelo y los cultivos. Sin embargo, se indica que, bajo condiciones específicas, como en suelos con baja y mediana salinidad o con la presencia de alto nivel de calcio soluble, esta agua podría ser utilizada para la irrigación de manera más segura, lo que sugiere la posibilidad de mitigar sus efectos adversos (INSTITUTO ANDALUZ DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA, PESQUERA, ALIMENTARIA Y DE LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA (IFAPA), 2008.). Además, la muestra también se caracteriza por tener una salinidad baja, lo que normalmente la haría adecuada para la irrigación en una variedad de suelos y cultivos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que incluso con una baja salinidad, existe el riesgo de alcalinización del suelo, especialmente en ciertos contextos como cultivos intensivos y bajo cubierta (INSTITUTO ANDALUZ DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA, PESQUERA, ALIMENTARIA Y DE LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA (IFAPA), 2008.).

- *Análisis muestra 3 (SH)*

Esta agua presenta una salinidad moderada, lo que significa que contiene una cantidad significativa de sales disueltas, pero aún es utilizable para la irrigación si se lleva a cabo un lavado moderado del suelo. Se puede emplear en la mayoría de los casos donde las plantas tienen una tolerancia moderada a las sales, sin necesidad de realizar prácticas especiales para controlar la salinidad. Aunque es utilizable, la acumulación gradual de sales en el suelo puede ser un problema si no se realiza un adecuado lavado del suelo. Esto puede afectar la disponibilidad de nutrientes para las plantas y comprometer su crecimiento y rendimiento a largo plazo (Quispe, J., 2016).

Por otro lado, el agua muy alta en sodio presenta desafíos adicionales debido a su impacto negativo en la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, bajo condiciones específicas, como la presencia de alto nivel de calcio soluble o el uso de enmiendas adecuadas, esta agua puede ser utilizada con precaución (Quispe, J., 2016).

Revisión bibliográfica de Avifauna.

Para la revisión de este punto de estudio se tuvo en cuenta el proyecto de grado:

AVIFAUNA ASOCIADA AL LAGO 1 TERMOPAIPA III Y AL HUMEDAL DE LA VEREDA LA ESPERANZA, DEL MUNICIPIO DE PAIPA-BOYACÁ de la autora Angela María Bohórquez Gutiérrez de la universidad pedagógica y tecnológica de Colombia.
La revista NaturalistaCo del instituto Humboldt donde en la cual se encontraron cinco especies de aves en zonas cercanas al humedal y con la misma composición de agua.

En el área de estudio del trabajo de grado, un 40% aproximado está cubierto por *Poaceas* y un 25% aprox por un alga (indeterminada) que ofrecen alimentación y sitios de anidación entre otros recursos para la mayoría de las aves identificadas de las familias registradas, las cuales fueron:

- *Furnaridae* (1 especie)
- *Turdidae* (1 especies)
- *Tyranidae* (4 especies) (Bohorquez, A. G., 2017).

En la figura 32 se da evidencia de las aves encontradas en relación a las familias de aves que menciona la autora, las cuales se nombran a continuación:

- *Porzana Carolina*
- *Actitis macularia*
- *Tringa Melanoleuca*
- *Gallinitis melanops*
- *Sicalis luteola*
- *Anas discors*
- *Vanellus chilensis*
- *Tyrannus melancholicus*

Figura 32.
Avifauna encontrada en el humedal Salpa (Bohorquez, A. G., 2017).

Siguiendo esta información y haciendo la búsqueda en la revista NaturalCo de aves encontradas dentro de la zona del humedal o en cercanas a él, se encontraron cinco especies de aves que se ven representadas en las Figura 33-37.

Figura 33. *Tringa solitaria* (Monroy C, 2021)	**Figura 34.**

	Chrysomus icterocephalus (Chris, 2023)
Figura 35. *Orochelidon murina* (Silva J, 2023) 	**Figura 36.** *Turdus fuscater* (Silva J, 2023)
Figura 37. *Mimus Gilvus* (Silva J, 2023) 	

En base a los resultados obtenidos se realiza una matriz de análisis Tabla 17 para conocer el origen o endemismo en el país, hábitat y riesgo asociado.

Tabla 17. Matriz de análisis cualitativo de avifauna presente en el humedal Salpa

Especie	Nombre	Hábitat	Estado de	Riesgo

	común		endemismo	asociado
Porzana Carolina	Sora	Humedales, pantanos	Endémica	Medio
Actitis macularia	Playero Manchado	Orillas de ríos y lagos de agua dulce y salada	Endémica	Medio
Tringa Melanoleuca	Playero alas blancas	Manglares, zonas intermareales	Endémica	Medio
Gallinitis melanops	Gallina Ciega Negra	Bosques húmedos tropicales y subtropicales	Endémica	Medio
Sicalis luteola	Semillero coronigualdo	Matorrales, pastizales altos	Endémica	Medio
Anas discors	Carceta Ala Azul	Lagos, humedales de agua dulce, pantanos	Endémica	Medio
Vanellus chilensis	Terutero Austral	Praderas, pastizales, zonas agrícolas	Endémica	Medio
Tyrannus melancholicus	Tirano melancólico	Bordes de bosques, zonas semiabiertas con árboles dispersos	Endémica	Medio
Tringa solitaria	Playero solitario	Humedales de agua dulce, pantanos, orillas de ríos y lagos	Endémica	Medio
Chrysomus icterocephalus	Tangara dorada	Bosques húmedos tropicales y subtropicales	Endémica	Medio
Orochelidon murina	Golondrina tijereta	Ambientes urbanos y rurales con construcciones	Endémica	Medio
Turdus fuscater	Mirla negra	Zonas semiabiertas arboladas, zonas urbanas con parques	Endémica	Medio
Mimus Gilvus	Sinsonte común	Matorrales, bosques secundarios, zonas semiabiertas con arbustos	Endémica	Medio

Según se observa en la Tabla 17 y con la información recolectada en su búsqueda, ninguna de las aves se clasifica como en peligro crítico o en peligro de extinción según la Lista Roja de la UICN; y conforme a la Unión Internacional para la conservación de la naturaleza quien determina el grado de amenaza en el que se encuentra la especie, que en este caso se clasifica como medio en todas las aves presentes. Aunque independientemente de esto todas las especies se enfrentan a amenazas potenciales de su hábitat y población. En base a lo mencionado anteriormente y a la exploración de la zona previa de forma analítica y revisando información bibliográfica, visitas de campo y entrevistas con la comunidad, se puede cuestionar que en este humedal pueden emerger posibles daños en su hábitat, como por ejemplo:

- La conversión de hábitats naturales a usos agrícolas, urbanos o industriales
- El cambio climático por la alteración en los patrones de temperatura y precipitación, lo que puede afectar la distribución y abundancia de las aves. (IUCN., n.d.)

Aunque el trabajo no está basado en la avifauna, es una parte importante para el humedal debido a que juega un papel crucial en el mantenimiento de la calidad de agua de esta fuente hídrica; como control de poblaciones e indicadores de salud ambiental.

Vertimientos al humedal y residuos sólidos.

En resumen, la avifauna y los residuos sólidos en el humedal están interconectados y dependen uno del otro para mantener la calidad del agua. La protección de las aves, la gestión adecuada de los residuos sólidos y la conservación de la calidad del agua son esenciales para garantizar la salud y el equilibrio del humedal.

Sin embargo, estas características se están realizando de forma inversa, ya que los residuos sólidos están afectando el hábitat de las aves y con ello la calidad del agua en el humedal. Por ello se presenta la siguiente información.

El humedal dispone de una dársena cerca al segundo punto de acceso de muestreo (IH), la cual usaban para verter el agua residual de las piscinas del Instituto Termal de Paipa (ITP), así como las aguas residuales de las piscinas hoteleras, las cuales hacen parte del complejo turístico de Paipa; esto conlleva a variaciones en los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua, como se observa en la tabla 16.

Por otra parte, en el primer punto de acceso (EH) al humedal, se encuentran desechos de botellas plásticas, recipientes, paquetes como se observa en la Figura 38 y escombros de construcciones, provenientes de la nueva piscina olímpica construida al lado del humedal,

así como de reparaciones para la reapertura del aeropuerto Juan José Rondón. Los cuales llevan más de un año sin ser recogidos como se ve en la Figura 39. Debido a esta problemática observada, se buscó la información de expertos para conocer su punto de vista respecto a las figuras anteriormente mencionadas en forma de entrevistas no estructuradas, donde hablaron abiertamente de su perspectiva con la información suministrada.

Figura 38. Residuos sólidos arrojados al costado derecho del humedal.

Figura 39. Residuos sólidos arrojados dentro del humedal en el primer punto de muestreo EH.

Tabla 18. Matriz de análisis para la información suministrada por los profesionales. Calidad del agua

	Nombre	Formación	Interpretación	Riesgo

				para la calidad del agua
1	Carlos Felipe Sanabria	Biólogo	Contaminantes para la calidad del agua en base a generación de sólidos disueltos por los residuos arrojados Depende del tiempo que lleven esos residuos dentro del agua, ya que a mayor tiempo, se irán descomponiendo todos los aditivos químicos dentro del agua.	Medio
2	Viviana Osorno Acosta	Bióloga	Ataque al paisaje, ya que visualmente no es nada agradable ver esta cantidad de residuos y escombros dentro del agua. Irresponsabilidad de la población al dejar residuos sabiendo que hay mecanismos y lugares donde depositar este material. Pobladores sin conciencia crítica al creer que un humedal sea un depósito de residuos. Afectación a la biodiversidad porque las especies necesitan un ecosistema natural y agradable donde poder persistir, y con estos cambios y la pérdida de la calidad del agua muchos son vulnerables a morir o desaparecer del humedal	Alto

La presencia de residuos sólidos arrojados en el agua del humedal representa un grave riesgo para la calidad del agua y las especies que dependen de ella. En base a la información obtenida en la Tabla 18 se mencionan algunos de los riesgos asociados a esta problemática:

- Deterioro de la calidad del agua por contaminación física y química debido a los residuos sólidos que pueden obstruir el flujo del agua, acumular sedimentos y liberar sustancias tóxicas alterando la fuente hídrica.

- Eutrofización por la descomposición de materia orgánica presente en residuos como alimentos o restos vegetales ya que puede generar un exceso de nutrientes en el agua, provocando el crecimiento descontrolado de algas.
- Descomposición del plástico lo cual conlleva a posibles variaciones en el pH del agua, ya que libera dióxido de carbono, lo cual puede contribuir en la acidificación del humedal. (ramsar.org., 1971)

Identificación de parámetros.

En consideración a los resultados obtenidos por el multiparámetro, el análisis de muestras en el centro de biosistemas, las observaciones en campo, el interés del servidor por cierta predilección de parámetros fisicoquímicos y por el conocimiento de bases técnicas de los estudiantes, se expone lo siguiente:

En la Tabla 19 se tienen en cuenta los parámetros fisicoquímicos que tuvieron mayor variación de resultados entre cada punto de monitoreo con el multiparámetro.

Tabla 19. Datos de los parámetros con mayor variación entre punto y punto

Parámetros	Punto 1 (EH)	Punto 2 (IH)	Punto 3 (SH)
pH	10.39	10.39	9.11
Salinidad (mS/cm)	39.2	10.8	23.0
Turbidez (NTU)	1000	1000	349
Oxígeno disuelto (mg/L)	3.28	8.83	5.76
Total, sólidos disueltos (g/L)	23.9	6.70	14.3
TDS (ppt)	25.09	6.12	13.89

En esta tabla se descarta la variable de salinidad por su complejidad para el desarrollo y construcción del dispositivo, ya que este sensor es costoso y por comentario del cliente no fue tan indispensable el medir esta variable, ya que de por sí se sabe que el humedal es de agua salada y aunque en unas partes es mayor la salinidad por la posible evaporación o entrada de agua dulce, no se demerita que es una variable importantes para comprender la calidad del agua en el humedal; sin embargo no se tendrá en cuenta para el desarrollo del trabajo.

De igual modo se descarta la variable oxígeno disuelto por la concentración de sólidos disueltos en forma de sales que hace que haya una disminución en la concentración de oxígeno disuelto como se puede evidenciar en la Tabla 19, sin embargo, al ser más caliente el agua (ya que presenta características de aguas termominerales) tendrá una menor capacidad para disolver oxígeno. En la tabla 19 el aumento de sólidos disueltos y la disminución de la concentración de oxígeno disuelto puede indicar una calidad de agua deficiente. Lo cual hace una tendencia a que el oxígeno disuelto habitualmente sea menor, debido a las características mencionadas.

Teniendo en cuenta esta información y las visitas de campo realizadas; en los puntos de monitoreo donde se encontrará el sistema; se busca seleccionar los parámetros fisicoquímicos que puedan tener algún problema superficialmente, de tal modo los parámetros seleccionados son los siguientes:

pH: El pH, junto con la salinidad, proporciona información sobre las condiciones fisicoquímicas del agua. Su medición permite identificar posibles desequilibrios que podrían afectar la calidad del (agua waterboards.ca.gov, n.d.)

Un aumento en la salinidad del humedal tiende a elevar el pH del agua. Esto se debe a la presencia de iones como el carbonato y el bicarbonato, que actúan como buffers naturales y neutralizan los ácidos.

Turbidez: La turbidez indica la cantidad de partículas suspendidas en el agua, lo que puede afectar la transparencia y la penetración de la luz solar. Un aumento en la turbidez puede estar relacionado con la erosión del suelo, la descarga de aguas residuales o la proliferación de algas (agua waterboards.ca.gov, n.d.).

Sólidos disueltos: Los sólidos disueltos representan la cantidad de sales y minerales disueltos en el agua. Su medición permite evaluar la salinidad total del humedal y detectar posibles fuentes de contaminación (agua waterboards.ca.gov, n.d.).

En la tabla 20. Se evidencian los sólidos disueltos en cada uno de los puntos de muestreo con el análisis de aguas del centro de biosistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Tabla 20. Sólidos disueltos en los puntos de muestreo del centro de biosistemas.

Sólidos disueltos		
	Aniones	**Cationes**
Muestra 1 (EH)	1923	1928
Muestra 1 (EH)	1829	1861
Muestra 1 (EH)	1633	1637

Los cationes y aniones en los sólidos disueltos del agua representan una ventana hacia su composición química, origen, estado y potencial impacto ambiental. Su análisis y comprensión profunda son herramientas indispensables para la evaluación de la calidad del agua, la identificación de la contaminación y la gestión sostenible de este recurso vital (agua waterboards.ca.gov, n.d.).

Revisión bibliográfica de la circulación subterránea presente en el humedal.

Este humedal tiene nacimiento de aguas salinas del cual llegan aguas subterráneas de la quebrada del corregimiento de Vargas y quebrada Toibita y por la cual pasa el río Chicamocha como se ve en la Figura 40, esta información se inferencia del mapa de cuencas hidrográficas y de la información compartida por la corporación y el profesor Alfonso Avellaneda.

Figura 40.
Cuencas hidrográficas que hacen parte del municipio de Paipa, haciendo referencia a las que pasan por el humedal.

Seguido de esto el Servicio Geológico Colombiano menciona que el municipio de Paipa tiene un sistema geotérmico en los manantiales termales, de los cuales nombran el manantial del humedal Salpa y de los cuales se conforman de la siguiente manera Figura 41.

Introducir figura más detallada del humedal señalando usos del suelo en el entorno

Figura 41. Formación del sistema térmico geotermal (SGC (SISTEMA GEOTÉRMICO HIDROTERMAL DE PAIPA) 2018).

1	RECARGA	Zona de recarga conformada por rocas permeables que permiten la circulación y penetración profunda del agua de la lluvia
2	FUENTE DE CALOR	Fuente de calor, originada en las rocas calientes del subsuelo desde donde el calor se transfiere al agua circulante
3	RESERVORIO	Reservorio o zona permeable de almacenamiento y circulación lenta
4	CAPA SELLO	Capa sello o zona impermeable que aísla el reservorio y permite conservar la masa y el calor del agua caliente y finalmente
5	DESCARGA	La zona de descarga o área permeable de la superficie en donde el agua caliente que escapa del reservorio regresa a la superficie en fase líquida o vapor

El tipo de rocas que domina el área son sedimentarias (son rocas formadas por acumulación de sedimentos o fragmentos de otras rocas) con capas permeables (o penetrables) por el agua. Estos niveles tienen la posibilidad de almacenar y permitir la circulación de agua. Es decir, pueden servir como un reservorio de agua.

En el humedal Salpa hay una circulación de agua salada (rica en sulfato de sodio) que se mezcla con el agua termal y le cambia completamente su composición (concentración de minerales disueltos). Por evaporación del agua, la sal se acumula en la superficie dejando un depósito blanco, teniendo una máxima concentración de sulfato de sodio y abundante descarga de gases, como se observa en la figura 42 (*SGC (SISTEMA GEOTÉRMICO HIDROTERMAL DE PAIPA)* 2018).

Figura 42. Sulfato de sodio concentrado cerca de la superficie

Servicios ecosistémicos

Como se pudo observar en el desarrollo metodológico de las variables sociales y ecológicas; el humedal como fuente hídrica está compuesto por la interacción de seres vivos y su entorno, brindando a la comunidad una variedad de beneficios esenciales para el bienestar y el desarrollo. Estos beneficios, conocidos como **servicios ecosistémicos**, son fundamentales para la vida en la Tierra y abarcan una amplia gama de funciones que sostienen la existencia humana; haciendo una síntesis de la información recopilada en los estudios anteriores del proyecto, se establecieron los siguientes servicios asociados en el humedal y su problemática ecológica, como se observa en la Tabla 21.

Tabla 21. Servicios ecosistémicos

Categoría	Bienes y servicios	Humedal Salpa
Abastecimiento	Provisión de alimento	**No**
	Madera y fibra	Sí
	Combustible (leña)	Sí
	Recursos genéticos	Sí
	Medicinas naturales	Sí
	Suministro de agua	Sí
Regulación	Sujeción de suelo (prevención y control de Procesos erosivos)	No
	Regulación hídrica	Sí
	Control de plagas	Sí
	Calidad de agua	No
	Regulación de nutrientes	Sí
Provisiones (soporte)	Función de refugio (provisión de hábitat, mantenimiento de interacciones biológicas)	Sí
	Mantenimiento de la biodiversidad	Sí
Cultural	Inspirativo	Sí
	Herencia cultural	Sí
	Ecoturismo	Sí
	Educación y sensibilización ambiental	No
	Disfrute estético (belleza escénica)	Sí
	Investigación	No

En este sentido, las poblaciones urbanas son grandes consumidores de servicios ecosistémicos y una fuente relevante de impactos ambientales globales en una época en que los ecosistemas están en rápido declive (Millennium Ecosystem Assessment - MEA, 2005).

8.1.4. Estudio de variables económicas

Ecoturismo

Paipa, la "Capital Turística de Boyacá", que hace parte de la región turística Andina Central, tiene un gran desafío para su próximos años de desarrollo, ya que por su crecimiento turístico y hotelero estará produciendo beneficios para la comunidad en general, por el aumento de ingresos o ganancias al municipio debido al turismo y así seguir destacando como un municipio con mayores empleos, sin dejar de lado el sector transporte ya que es el medio de conexión entre el turista y los atractivos (GÓMEZ, J. D., n.d.).

En la figura 43 se contempla el paisaje salino del humedal Salpa el cual es único a pesar de estar pasando por afectaciones en su calidad de agua.

Figura 43. Paisaje salino (humedal Salpa)

Teniendo en cuenta que el humedal Salpa se encuentra dentro del área protegida al DRMI Lago Sochagota, la cual cuenta con un plan de manejo ambiental definido en el acuerdo 004 de 2019 donde es importante la participación de los actores públicos y privados, la Corporación Autónoma de Boyacá como un actor público cuyas acciones y actividades

económicas y sociales están encaminadas a la investigación contribuye a dar cumplimiento a los objetos de conservación del DRMI establecidos en dicho acuerdo.

Corpoboyacá como principal beneficiario de este proyecto, se favorece por una parte en el ámbito investigativo, ya que es un ente corporativo encargado de ejercer y adelantar un control policivo y administrativo en la preservación del ambiente y del aprovechamiento de los recursos naturales renovables en todas las áreas delimitadas de protección ambiental y por lo cual deben realizar un plan de manejo en el humedal Salpa, el cual está en proceso de planificación. Lo cual va de la mano con favorecer o aumentar el ecoturismo en el municipio de Paipa.

Sin embargo un factor turístico importante es ir de la mano con el respeto y manejo adecuado de reservas naturales del municipio, tal como lo es en este caso el humedal salino, del cual deberán implementarse campañas para generar más conciencia del cuidado que se debe tener en áreas naturales desprotegidas por el mismo gobierno para lograr un aprovechamiento de un paisaje natural tan característico y único del país, de tal forma generar en la comunidad iniciativas que apoyen y se incentiven a recuperar lo que queda del humedal, creando senderos ecológicos, charlas de caracterización del humedal, para que conozcan las propiedades que se pueden utilizar de él y no seguir llenándolo de residuos.

Disponibilidad del recurso hídrico

Para evaluar la disponibilidad del recurso hídrico en el humedal salpa, se tienen en cuenta las entrevistas realizadas y la identificación de los posibles contaminantes, lo cual afecta el ciclo hidrológico del agua, como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Matriz de factores interdependientes que determinan la cantidad, calidad y dinámica del agua (Toro, Humedales, Guardianes de La Biodiversidad 2024).

Aportes de agua	Precipitaciones irregulares, lo que limita la disponibilidad de agua dulce.
	Manantial de agua, lo cual contribuye a mantener los niveles de agua en el humedal, especialmente durante períodos de sequía (Martínez-Cruz et al., 2006).
Evaporación	Reduce la disponibilidad de agua en el humedal. Así como la temperatura elevada, la baja humedad ambiental y la acción del viento intensifican la evaporación del agua superficial y contribuyen a una mayor salinización del humedal.
Infiltración	La presencia de materia orgánica y la salinidad del agua influyen en la tasa de infiltración
Salinidad	Factor determinante para la composición de las comunidades biológicas que allí habitan.
Impacto humano	Las actividades de los pobladores, como la agricultura, la extracción de agua subterránea y los residuos sólidos, pueden alterar significativamente la disponibilidad del recurso hídrico, independiente que no sea bueno para los agricultores, como se menciona en las entrevistas.
Cambio climático	El aumento de las temperaturas, la intensificación de eventos climáticos extremos y los cambios en los patrones de precipitación aumentan la salinización y evaporación del agua (ramsar.org., 1971).

8.2 Fase 2: Objetivo específico 2. Diseño

Comparación con otros sistemas SCADA (académicos, comerciales, entre otros)

El sistema SCADA es primordial por su utilidad para sistemas de monitoreo (como se mencionó anteriormente) por la característica de la recolección y almacenamiento de datos mediante la comunicación de distintos dispositivos.

En el presente trabajo se utilizará SCADA enfocado en un humedal, por lo que siguiendo esta característica se comparó con otros productos (comerciales, trabajos de grado, etc.)

para evidenciar el beneficio que trae el proyecto utilizando la información del estado del arte del marco teórico.

En cada uno de los artículos encontrados, se destaca el uso del sistema Scada utilizado para diferentes situaciones reales, incluido el potencial para monitorear diferentes subconjuntos y las formas en que los datos SCADA se usan realmente para predecir, diagnosticar y pronosticar fallas, de los cuales se hace evidente el cambio de un sistema a otro, ya que lo suelen utilizar en diferentes condiciones ambientales como por ejemplo embalses, humedales así como en condiciones de viento con turbinas eólicas, específicamente en este último combinan Scada con monitoreo de condición (CM) el cual puede prevenir fallas, maximiza vida útil, entre otros: Finalmente hacen combinación de diferentes tecnologías con Scada para ayuda y dar eficacia a los proyectos.

8.2.1. Diseño detallado

Sensores utilizados:

- pH

Se utilizó el sensor de pH (Tabla 3), el Módulo PH PH-4502C (Figura 44), ya que en comparación con el sensor SKU:SEN0161 tienen iguales propiedades o características, pero la diferencia es la humedad que puedan resistir, especialmente en el tiempo, ya que el sensor SKU:SEN0161 se verá afectado algo la medición del pH ya que no resiste mucho en el tiempo la humedad.

Figura 44. Módulo PH PH-4502C.

- *Turbidez*

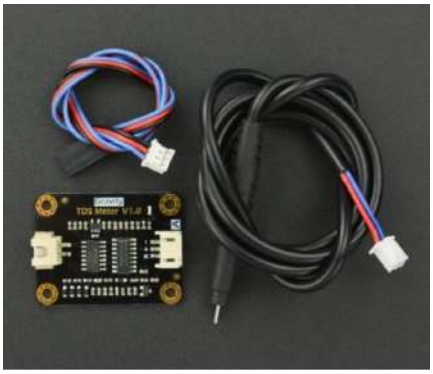
En el caso del sensor de turbidez (Tabla 4) se utlizo el sensor SEN0189 (Figura 45), por su precio especialmente, ya que tiene características similares al módulo de turbidez TSW-10

Figura 45. Sensor de turbidez SKU SEN0189.

- *Sólidos disueltos (TDS)*

Para el caso del sensor de sólidos disueltos (TDS) (Tabla 5), se utilizó el sensor SKU: SEN0244 (Figura 46), ya que la mayoría de los sensores que trabajan con microcontroladores son de la referencia anteriormente mencionada (SKU: SEN0244), es el sensor especializado para los sólidos disueltos.

Figura 46. Sensor de turbidez SKU SEN0244.



Microcontrolador

Según la tabla 6 y como se mencionó el microcontrolador utilizado fue el ESP-32 (Figura 47), compuesto por 2 variables importantes, las cuales son las que tienen más porcentaje en la ponderación. Como la variable o característica "sistema receptor/emisor", el cual hace referencia a adicionales que tenga el microcontrolador que le ayudan a conectarse a

bluetooth o a la señal de internet a la cual está expuesta, siendo un aspecto muy importante para un sistema SCADA para la emisión y recepción de información.

Además, la otra característica según la ponderación más importante es la memoria Flash, ya que esta memoria, a comparación de una memoria RAM, se puede programar dependiendo de la situación de la que se está trabajando, y según la ponderación el microcontrolador ESP-32 tiene una de las memorias Flash más grandes a comparación de los otros microcontroladores.

Figura 47. Microcontrolador escogido (ESP32).

Esquemáticos electrónicos

En esta etapa se realizaron los esquemáticos correspondientes del sistema, teniendo en cuenta las tablas de decisión de los componentes electrónicos que se escogieron previamente.

Figura 48. Esquemático montaje sensores 1.

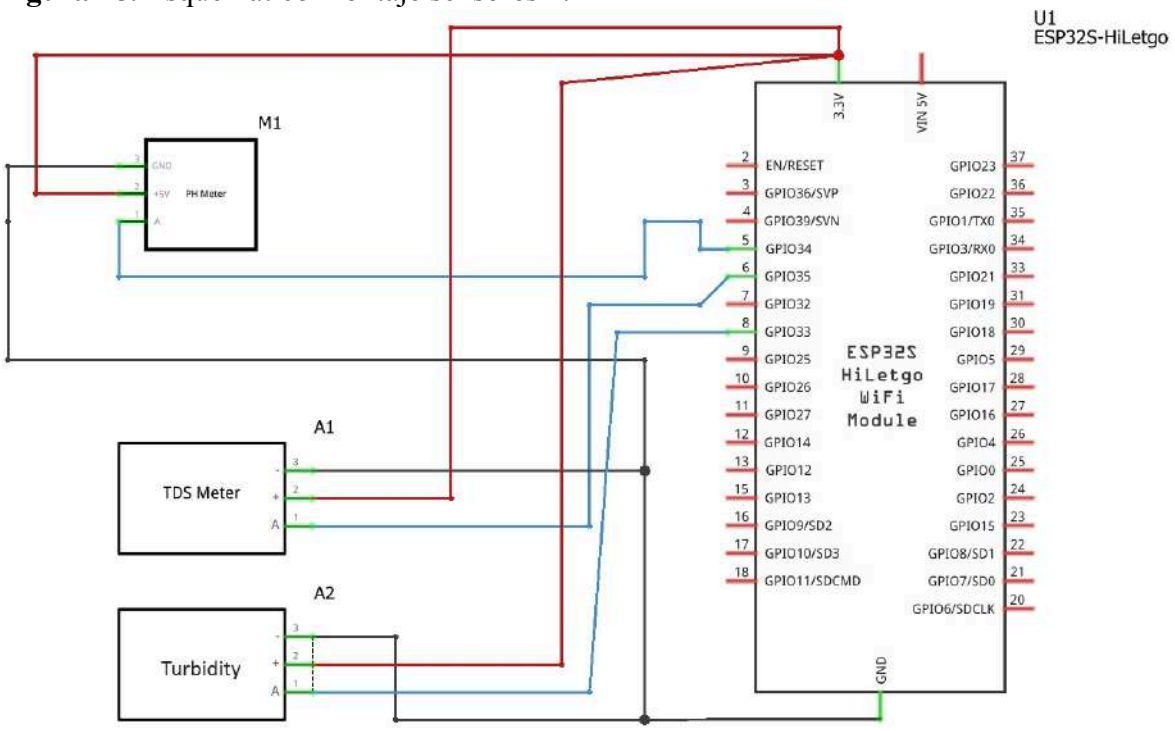
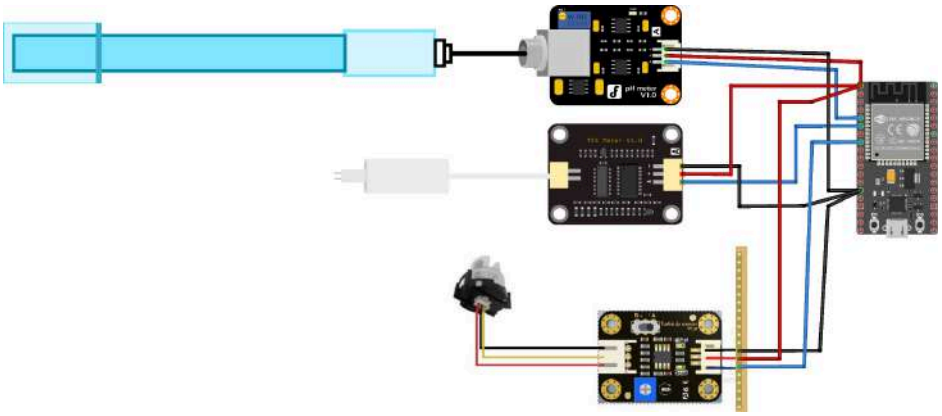


Figura 49. Esquemático montaje de sensores.



En el esquemático electrónico (figuras 48 y 49) se conectan todos los sensores en 3.3 V, el cual es el voltaje mínimo que trabajan los sensores, aunque para algunos sensores, como el sensor de pH, recomendación alimentarlo con 5 V para evitar pérdida de datos en las lecturas; por lo que siguiendo lo mencionado anteriormente, se decidió utilizar una bornera de expansión según las características de consumo y/o alimentación que tenga los sensores y microcontrolador (fase de diseño industrial).

8.2.2. Diseño industrial

Material de cobertura de parte electronica

Según la tabla 8 (tabla de decisión) se utilizó un plástico (polímero), ya que el plástico es un material bastante resistente a las condiciones climáticas y especialmente duradero, ya que la madera en promedio (si es una buena madera) dura unos 2 - 3 años, y el metal es muy duradero, pero se oxida fácilmente al estar al contacto en tiempo continuo con el agua.

Se utilizó PVC (cloruro de polivinilo)(Figura 50), un derivado del plástico el cual también es aislante eléctrico y resistente a varias condiciones ambientales, específicamente un tubo de PVC de 3 “82 mm

Figura 50. Tubo de PVC.

Software para almacenar y visualizar datos

Como se observa en la Tabla 7, el software utilizado fue el software ThingSpeak, especialmente por su retención de datos, ya que a comparación de Thingsboard y de Arduino SCADA Cloud, ThingSpeak ofrece servicios de visualización y de retención de datos sin necesidad de pagar la licencia y además los datos siempre se mantendrán guardados, por lo que es un software resulta más asequible a comparación de los demás software para monitoreos de tipo SCADA (IoT) para manejar la comunicación de los datos que se vayan a recolectar en el sistema de monitoreo. Aunque el sistema esté definido como un sistema SCADA, el sistema principalmente realizara la parte de la recolección de información, por tal razón la elección previamente de los sensores y del tipo de microcontrolador a usar, ya que de momento el control no es viable (incluso para el uso del microcontrolador escogido) por la poca información que se encuentra del humedal a evaluar, por lo tanto el microcontrolador escogido será eficiente en la parte de la recolección de datos por las características que tiene en cuanto a memoria y a compatibilidad con varios software para el almacenamiento de los valores o datos.

Material de cobertura de planta solar

Para esta tabla de decisión (Tabla 9) se tomaron en cuenta los mismos parámetros de evaluación que se usaron en la tabla de decisión, para el caso de la caja de cobertura de la planta, se decidió por madera principalmente por el factor económico (aun teniendo la característica de la impermeabilidad), pero para este caso se recomienda utilizar una caja con material similar a una cerámica o un metal que no se oxide.

Red de internet

Se utilizó un dispositivo móvil principalmente por el uso continuo de su señal aun cuando este mismo se está descargando, ya que si se utiliza un módulo de sim o un módem (los cuales prácticamente comparten las mismas funciones solo que el módulo variara su señal

también dependiendo de su antena), ya que continuamente el sistema debe de estar conectado a internet, por lo que si fuera el caso de utilizar modem o módulo de sim podría variar la señal cuando se descargue la alimentación o por la antena que se esté utilizando y con esto ocasionar una pérdida de datos cuando el sistema haga las lecturas, además de que puede haber la posibilidad de que se desconecte de internet, algo que con el celular no ocurriría a menos de que se descargue totalmente; además se escogió un celular con Android mayor a un sistema operativo de 2.3 Android, ya que los celulares con este Android tienen la opción llamada "hotspot" el cual permite compartir datos móviles a otros dispositivos.

8.3. Fase 3: Objetivo específico 3. Construcción

Planos y construcción de la cobertura de planta solar

En esta parte de los resultados se realizaron los planos básicos como se muestran en las Figuras 51 y 52, realizados en el software SolidWorks, y posteriormente la construcción de la cobertura de la planta solar como se ve en la Figura 53 según el material seleccionado en la fase de diseño previamente mencionado.

Figura 51. Figura de diseño de cobertura de planta solar (con el material de madera).

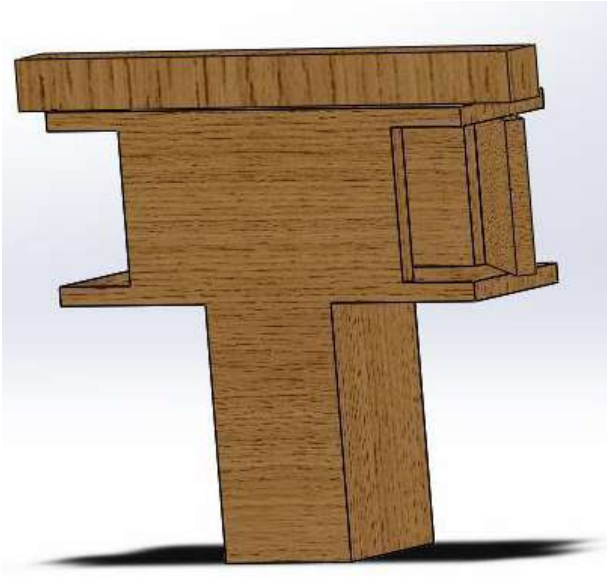
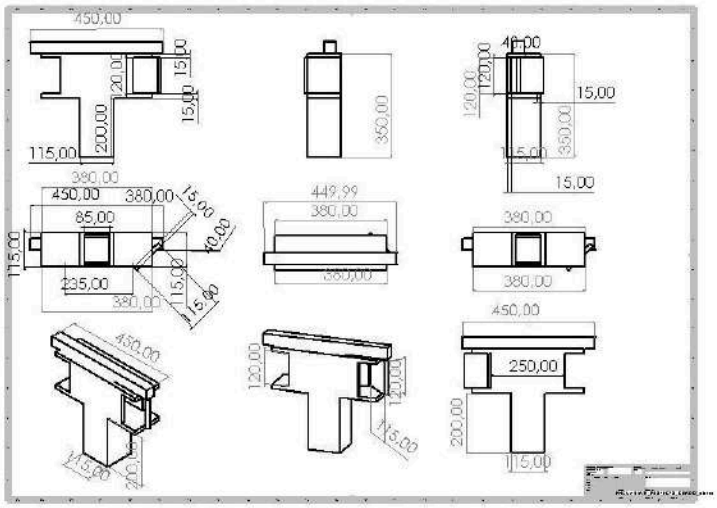


Figura 52. Planos cobertura de planta solar.



Cabe recalcar que las medidas de los planos de las vistas de la cobertura de la planta están en mm, además el tamaño de la caja depende exclusivamente del tamaño de la planta solar que se adquirió, según la Figura 52 de los planos.

Figura 53. Cobertura de planta solar imagen #1.

Se debe de tener en cuenta que la cobertura realizada se le realizaron unas aberturas o huecos para ingresar la conexión del microcontrolador a la planta solar, además de un

hueco en la parte superior de la cobertura junto con un pequeño apoyo para los paneles solares como se observa en la figura 53.

Ensamblaje sistema de monitoreo

En el ensamblaje se realizó el montaje electrónico primero (Figura 54 - 55), para posteriormente ensamblarlo en un pedazo de tabla que tuviera un diámetro un poco menor al del tubo de PVC para encajarlo dentro del tubo.

Finalmente, según los cálculos que se realizaron para hallar la alimentación, el cual se prefirió por usar un kit de alimentación solar el cual usa una planta (batería) de 6 V/4.5 AH junto con sus paneles correspondientes (Figura 56 - 57)

El montaje se realizó como muestra la figura 57, ya que se necesitaba un almacenamiento para el celular y la planta a utilizar, para protegerlos de las condiciones climáticas cuando se está realizando el monitoreo en los puntos del humedal, además como se mencionó anteriormente se prefirió por escoger un tubo de PVC para la protección del cableado eléctrico y además para evitar alguna fuga de agua que afecten los sensores. Se realizaron 2 montajes de monitoreo para medir cada punto

Figura 54. Ensamblaje de parte electrónica junto con el tubo de pvc

Figura 55. Sistema de monitoreo (parte de sensores y ensamblaje con tubo) completa.

Figura 56. Kit alimentación solar para el sistema (el kit contiene plantas y 2 paneles, uno para cargar el celular y el otro panel junto con la planta para dar alimentación a la parte electrónica del sistema).

Figura 57. Sistema de monitoreo completo-1 (parte electrónica y alimentación ensamblados).

8.4. Fase 4. Implementación

Figura 58. Preparación del dispositivo para la instalación en los puntos de monitoreo.

Para la realización de la implementación del sistema, primero se ubicó el lugar del punto de medición (**ver anexo K y L**) y luego se realizó el montaje usando un tipo de base (en este caso una estaca) para sostener el sistema y colocarlo en la profundidad adecuada para evitar cualquier entrada de agua al sistema (Figura 59 - 62)

Figura 59. Base (estaca) para montar el sistema en los puntos seleccionados.

Luego de ya agregar la base se añadió todo el sistema (incluido la alimentación con paneles solares y la red móvil dentro de la base de madera)

El sistema completamente instalado en los tres puntos de medición se puede observar en las figuras 60 - 62.

Figura 60. Montaje del sistema en el primer punto escogido (EH).

Figura 61. Montaje del sistema en el segundo punto escogido (IH).

Figura 62. Montaje del sistema en el tercer punto escogido (SH).

Para observar el sistema implementado en uno de los puntos, se puede ver en el siguiente video anexado (**ver anexo 12.7**)

8.5. Fase 5. Pruebas

Para la fase de pruebas se primeramente se probó el tema del envío de datos con internet al software para revisar el almacenamiento y visualización:

Almacenamiento y visualización de los datos (primer funcionamiento)

Se adaptó todo el código con las funciones respectivas para conectarse a internet y para manejar el sistema con todos los sensores de manera inalámbrica (OTA), luego ya se hizo la comunicación con ThingSpeak mediante internet para que se almacenen y muestren los datos

Para el funcionamiento primero se corre el código de la función del OTA para poder usar el microcontrolador inalámbricamente mediante el uso del internet que provee el celular, luego se corre el código de la comunicación para que los datos se almacenen y se visualicen en el software de ThingSpeak (Fig. 63 y 64). El sistema debe de estar siempre conectado y con el voltaje necesario para que no haya alteraciones en las mediciones y se desconecte de ThingSpeak, por lo que no debe de tener alteraciones en la alimentación (**Anexos 12.1 A y B**).

Figura 63. Visualización de los datos en el primer momento que está monitoreando, almacenados el software ThingSpeak (los datos mostrados corresponden a uno de los canales del sistema).

Figura 64. Visualización de los datos en el momento que el sistema está monitoreando vistos desde la aplicación móvil en el software ThingSpeak (ThingViewer) (los datos mostrados corresponden a uno de los canales del sistema).

El código OTA (Anexo A) es el primer código que se carga para el uso inalámbrico del microcontrolador, se debe de tener en cuenta que el computador con el que se está usando para cargar el código debe de estar conectado a la misma red de internet

Teniendo ya el ensamblaje completo y la comunicación del sistema, posteriormente se realizaron varias pruebas para calibrar los sensores, los cuales es importante que den los valores cercanos o exactos de las mediciones que se están realizando (pH, turbidez y TDS).

Calibrados sensores

Luego se calibraron los sensores, especialmente los sensores de turbidez y pH, en el caso del pH se utilizaron uno sobres de pH para diluir en agua y así realizar la calibración, y en el de turbidez se ha como un rango de valores analógicos para luego realizar varias mediciones en varios líquidos revisando los valores de turbidez (revisar anexos. protocolo de pruebas).

Funcionamiento sistema

Finalmente se probó el funcionamiento de todo el sistema ya realizando las mediciones en los puntos correspondientes y con pruebas del agua de los puntos del humedal (**revisar anexos - protocolo de pruebas funcionamiento y revisar anexo 12.8**)

8.6. Fase 6. Objetivo específico 4. Evaluación (análisis de puntos de muestreo)

8.6.1 Análisis primer punto de muestreo

Para la realización de las gráficas primeramente se realizó un filtrado de los datos (Anexos C,) arrojados por el sistema, usando el promedio de datos por día (media estadística) ya que el sistema arroja datos cada 15 segundos por lo que habían alrededor de casi 4 medidas por minuto, además de eliminar los datos que estaban saturados (datos que superan el rango de medición o en algunas ocasiones no información, es decir datos con un valor de 0, dados por la no actualización de la interfaz) para que cargara la lectura. Se hizo ese primer paso para que posteriormente se promediaron los datos que se obtuvieron por todos los días de monitoreo, para posteriormente encontrar la medida promedio por cada parámetro (**pH, TDS y turbidez**) y poderlos comparar con las mediciones previamente hechas del agua del humedal.

Además se presentaron datos saturados o en algunos días no hubo lectura, por lo que a esos días con esos problemas en los valores de lectura se les agregó el valor de la medición del día o días anteriores.

pH

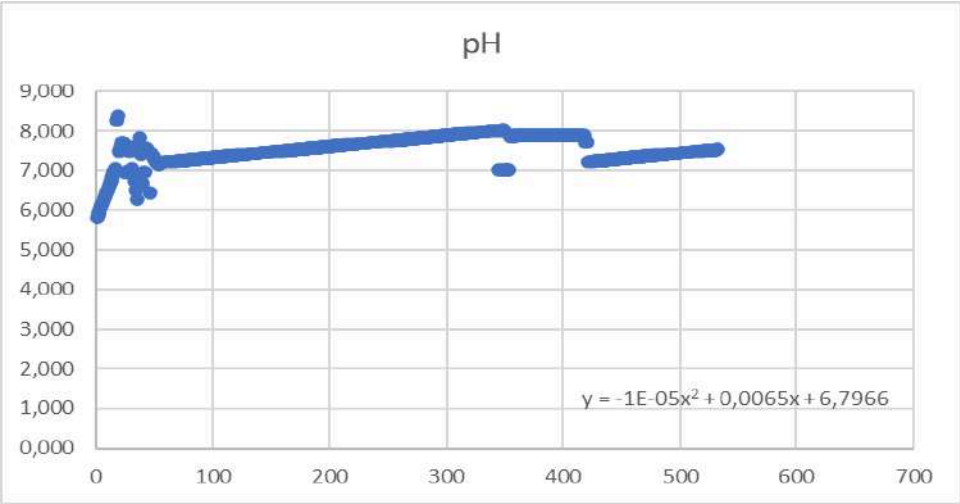


Figura 65. Gráfica pH (ejemplo de lectura de un periodo (primer día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas)

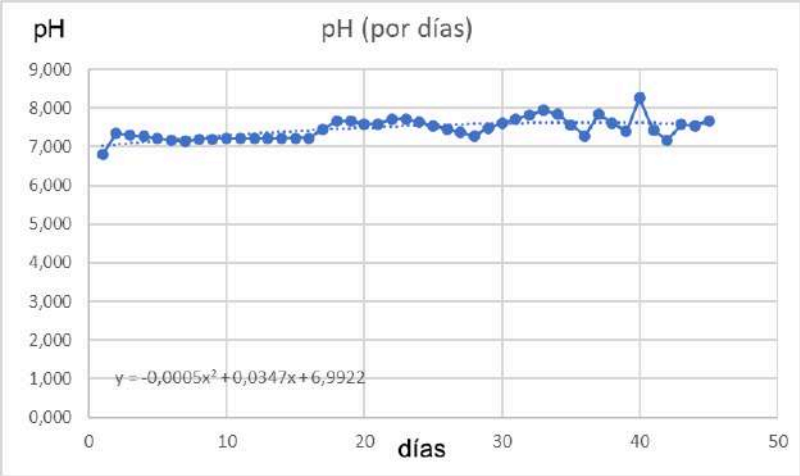


Figura 66. Gráfica pH (en general por días).

En la gráfica de las figuras 66 se utiliza una media estadística para saber el dato promedio

que se obtuvo en ese día en específico, esto se realiza con todos los días de monitoreo realizadas, luego se grafican estos promedios para conocer el comportamiento del pH a lo largo de los días.

Tabla 23. *Tabla de comparación datos pH punto 1.*

pH sistema (promedio)	pH análisis Tadeo	pH multiparámetro
7,6	7,8	10.39

En el caso de las imágenes de las gráficas 65 y 66 (en general por días) de pH tiene un comportamiento lineal, aunque las primeras mediciones los cuales se pueden ver puntos desordenados se pueden observar que indica los momentos iniciales de la medición, luego el sistema acoge ya el comportamiento lineal.

Finalmente comparando los valores de la tabla de datos (Tabla 23) de pH medidos por el sistema y previamente en el análisis de pH, ambos valores son muy cercanos, por lo que en cuanto al pH en el tiempo que se tomó el primer diagnóstico del agua y luego el medido por el sistema no hubo mucha diferencia. Mostrando que el pH de este punto de monitoreo no ha sufrido grandes cambios o alteraciones.

Si se compara el valor de pH (promedio) de este punto junto con el valor de pH del análisis que se realizó en el centro de biosistemas, no hubo mayores cambios, concluyendo que en este punto el pH no ha cambiado por mucha diferencia. Pero si se realiza la comparación de pH del sistema de monitoreo y el valor del pH del análisis en el centro de biosistemas respecto con el valor de pH del multiparámetro hay un gran cambio. Tener en cuenta que el monitoreo (**para todos los puntos de medición definidos**) realizado con el sistema se hizo en las épocas entre Septiembre a Noviembre del año 2023 a comparación de las fechas de las otras mediciones realizadas, ya que el análisis de agua del centro de biosistemas se realizó en las épocas de 31 de Marzo del 2023 y el análisis con multiparámetro se hizo en el 8 de Octubre del 2022, dando como causa probable las lluvias presentadas en ese periodo de tiempo (Septiembre - Noviembre del 2023), siendo época de lluvias en todo el país según también el reporte de precipitaciones del IDEAM en esos meses (Boletín de predicción climática y recomendación sectorial SEP - NOV 2023), siendo la zona cundiboyacense una de las regiones con altas precipitaciones o lluvias.

El material particulado suspendido en el aire se compone de fragmentos de minerales, cenizas, residuos de combustión de carbón, hollín, producto de combustión de fuel oil, desechos orgánicos, granos de polen, esporas, materiales sintéticos, aerosoles de aceites, gotas de rocío de lluvias ácidas y líquidos diversos, los cuales presentan composiciones químicas y físicas diferentes (Cuchills et al., 1970).

Siendo el material particulado producido por la termoeléctrica de Paipa, el mal cuidado de

las personas del humedal desechando contaminantes, y otros factores que hacen que se produzca alteraciones en el ambiente, entre ellas la alteración a la lluvia, produciendo un cambio en el pH, que puede afectar también el pH del humedal salino de SALPA; este mismo análisis de la lluvia al afectar el pH de todo el humedal, también provocará cambios en los demás puntos de medición.

Las afectaciones del pH también pueden deberse a la fotosíntesis y la respiración en el agua. El grado de cambio depende de la alcalinidad del agua. El dióxido de carbono es la causa más común de la acidez del agua. La fotosíntesis, la respiración y la degradación afectan las fluctuaciones del pH porque afectan las concentraciones de CO2 (referencia). También tener en cuenta que el humedal salino de SALPA presenta variedad de plantas, incluyendo las algas.

Químicamente lo que sucede de este fenómeno de cambio de pH, es que el dióxido de carbono (probablemente producido por la termoeléctrica de Paipa como se mencionó anteriormente, desechos de las personas y demás) reacciona con el agua para generar ácido carbónico (*Ph ¿qué es y cómo afecta en el agua? Purificación* 2022).

$$CO_2\ (dióxido\ de\ carbono)\ +\ H_2O\ (agua)\ <=>\ H_2CO_3\ (ácido\ carbónico)$$

Luego el ácido carbónico pierde dos iones de hidrógeno:

$$H_2CO_3 <=>\ HCO_{3^-}\ +\ H\ +$$

$$HCO_{3^-}\ (bicarbonato)-\ <=>\ Co_{3^{2-}}(trióxido\ de\ carbono)\ +\ H\ +\ (ion\ hidrógeno)$$

Los iones de hidrógeno liberados reducen el pH del agua. Pero siempre hay que tener en cuenta el pH de la sustancia que se está midiendo, ya que la reacción del desprendimiento de iones puede variar. A un pH más alto, este sistema (de bicarbonato) se desplazará hacia la izquierda y el CO3^2- absorberá el ion de hidrógeno libre, tornando a un comportamiento más ácido. Por lo que con una mayor presencia de ácido carbónico la sustancia probablemente tendrá un comportamiento más ácido hacia lo ácido (*Ph ¿qué es y cómo afecta en el agua? Purificación* 2022).

Este mismo análisis de pH, sucede en los otros dos puntos de medición, ya que también varían los valores de pH, especialmente del valor del análisis de multiparámetro en comparación con los valores de pH del sistema y del análisis de agua del centro de biosistemas.

- *Error de datos Medido por el sistema según la comparación con los datos del centro de biosistemas y el multiparámetro*

En este caso al tener un dato sacado por tres maneras diferentes (multiparámetro, sistema

de monitoreo y análisis de agua en un centro especializado). Por tal razón en los siguientes parámetros a analizar (TSD y turbidez), al no tener algunas de estas mediciones en las otras dos maneras que se realizaron los análisis de agua (multiparámetro y análisis en centro específico) no se va a realizar una comparación como el caso del pH. Esto mismo se realizará en el pH de los demás puntos que se realizaron las mediciones

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se procede a realizar el error de medición para observar que tanto variaron los datos:

Para sacar el error de medición se debe de tener en cuenta que el error (absoluto) es la diferencia entre el valor medido respecto al real:

Error absoluto = X medido - X real

Por lo que siguiendo las referencias bibliográficas en cuanto el rango de pH para un humedal salino que debe tener, debe de estar en un rango alrededor de 7 - 10 (Acosta et al., DECIMOSÉPTIMO ENCUENTRO DEL CENTRO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA 2023).

Teniendo en cuenta el rango de pH, el valor real alternará entre 7 a 10, siendo un error el que habría que calcular teniendo en cuenta el valor que se obtuvo de pH del sistema de monitoreo, el cual es de 7.6, por lo que a este valor se compararía el error con el valor de pH más cercano, el cual sería un pH de ocho

- Error absoluto: 7,6 - 8 = -0,4

Luego de sacar el error absoluto del rango de pH, se procede a calcular el error relativo para saber el porcentaje de error de medición que se encuentra el sistema

- Error relativo: -0,4/8 = -0,05 = 5%

El error corresponde con el requerimiento que se mencionó del 5%, ya que el pH de 7,6 se encuentra en el rango de medición de un pH de 8, correspondiente al rango salino.

- *Desviación estándar de datos*

La desviación estándar **σ** (para el primer punto) = 0,364370302

Por lo que siguiendo la desviación estándar de las mediciones de este punto para el pH, se obtuvo una desviación estándar de 0,36 , siendo un valor de desviación no tan grande o muy poca, concluyendo que entre los datos en cada medición no hubo un gran cambio o desviación, siguiendo el comportamiento lineal en las gráficas mencionado anteriormente

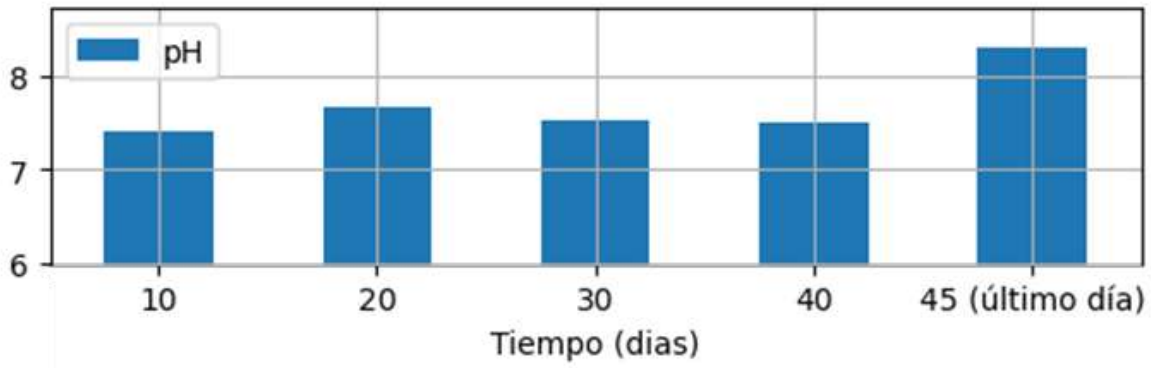


Figura 67. Diagrama de barras del pH del primer punto a lo largo de los días de monitoreo

En el diagrama de barras se puede observar unos varios cambios en los días de monitoreo, especialmente según la gráfica de la figura 67 del diagrama de barras del pH, hubo un cambio de pH entre el día 40 a 45, mientras que los otros días tuvieron variaciones, pero no tan notorias como la de los días mencionados anteriormente.

Turbidez

Según la información de las referencias encontradas acerca de este parámetro (turbidez). La turbidez del agua se genera por la presencia de partículas en suspensión. La velocidad de sedimentación de las partículas pequeñas (menores al micrón de diámetro) es muy baja, por lo que requieren tratamiento para lograrla en tiempos útiles. Las mayores a un micrón se sedimentan espontáneamente. Mientras algunas son de naturaleza inorgánica (arcillas, fangos y óxidos minerales), que provienen de la erosión del suelo, otras son de naturaleza orgánica (bacterias, parásitos, algas, zooplancton, ácidos fúlvicos y coloides húmicos). También las actividades humanas generan efluentes cargados de estas partículas y el aporte de otras sustancias que pueden combinarse con ellas (virus entéricos, contaminantes químicos, cloro, etc…) tanto en el cuerpo de agua como en las plantas y redes de distribución (Marco et al., *La Turbidez Como indicador Básico de Calidad de Aguas ...* 2004).

Por lo que, como se mencionó en el análisis anterior del pH, la turbidez del agua puede verse alterada por el material particulado probablemente causado por la termoeléctrica de Paipa, los hoteles aledaños que desechan sus aguas en el humedal y las personas que desechan sus residuos. La turbidez al estar estrechamente relacionado con la cantidad de TDS, al ser aguas de un humedal salino lo que se analiza, el comportamiento se torna de un pH más alcalino (como se menciona en el análisis de TDS, las aguas subterráneas tienen un comportamiento de agua de mar - revisar patrón de flujo del comportamiento de las aguas subterráneas en el análisis de TDS), la turbidez empieza a aumentar por la cantidad de material orgánico e inorgánico que puedan presentar, siendo un ambiente estable para el crecimiento o propagación de organismos vegetales o animales que viven en zonas muy salinas

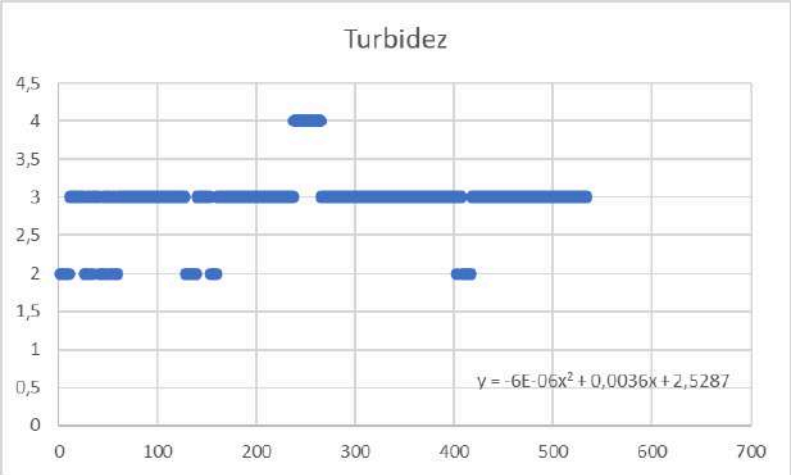


Figura 68. Gráfica turbidez (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas)

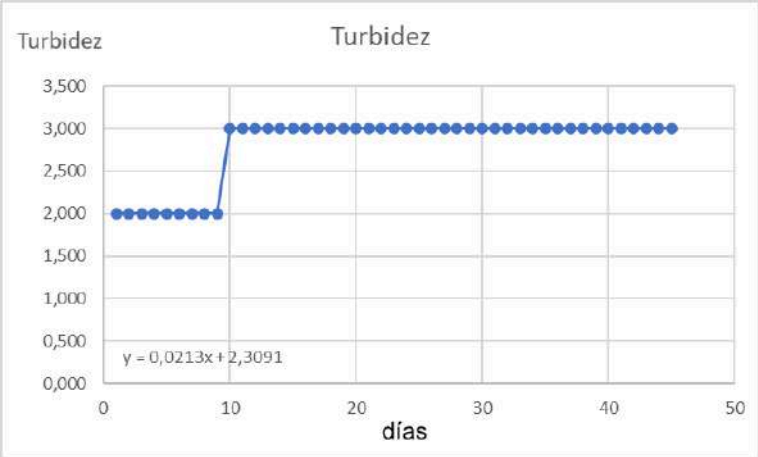


Figura 69. Gráfica turbidez (en general por días)

En la gráfica de las figuras 69 se utiliza una media estadística para saber el dato promedio que se obtuvo en ese día en específico, esto se realiza con todos los días de monitoreo realizadas, luego se grafican estos promedios para conocer el comportamiento de la turbidez a lo largo de los días.

En el caso de la turbidez de este punto de medición, se pudo evidenciar con las gráficas 68-69 (en general por todos los días), que la turbidez tuvo un comportamiento lineal, independiente de que algunos datos variarán, la lectura que más arrojaba el sistema era una turbidez de 3, la cual evidencia (siguiendo los rangos del sensor), una turbidez de 3 corresponde entre 800 - 1000 NTU, mostrando la alta turbidez que tiene este punto debido a su alto contenido en sólidos disueltos.

- *Desviación estándar de datos*

La desviación estándar **σ** (para el primer punto) = 0

Por lo que siguiendo la desviación estándar de las mediciones de este punto para el pH, se obtuvo una desviación estándar de 0 , observando que no tuvo grandes cambios en las mediciones, siempre se tuvo el mismo comportamiento en la turbidez.

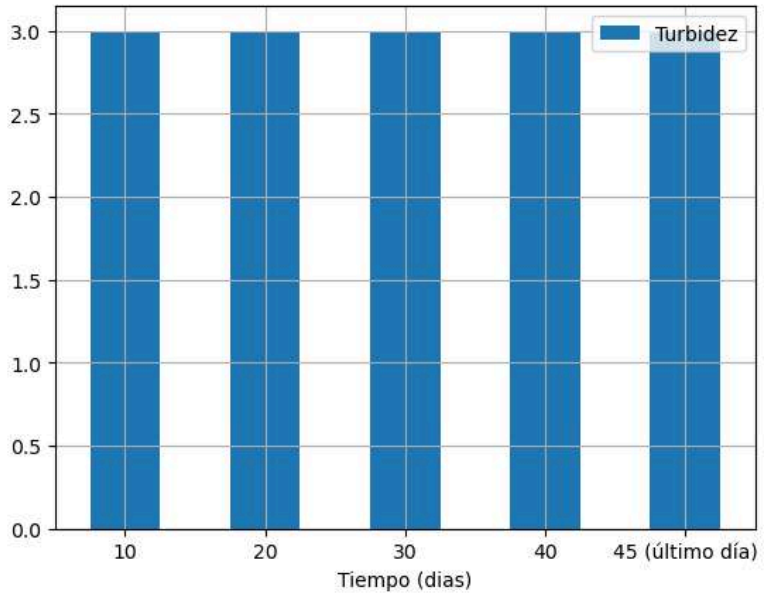


Figura 70. Diagrama de barras de la turbidez del primer punto a lo largo de los días de monitoreo

Además se puede observar en el diagrama de barras hecho el comportamiento que tuvo también el humedal en los días de monitoreo, el comportamiento siempre fue lineal con una turbidez de 3, evidenciando el mismo comportamiento en las gráficas, mostrando. Para la realización del diagrama de barras (figura 70) se realizó una moda estadística (**dato que más se repite**) por cada diez días de monitoreo de todos los días que se realizó la medida de variables, este mismo procedimiento se hizo con los demás puntos de medición en el parámetro de la turbidez.

TDS

Como se mencionó anteriormente en el análisis de pH y turbidez, los sólidos disueltos están relacionados también directamente con la turbidez, por lo que sí aumenta los sólidos la turbidez aumenta.

Los sólidos disueltos hacen alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso,

expresados en unidades de mg por unidad de volumen de agua ($\frac{mg}{L}$), también conocidos como partes por millón (ppm) (Pérez & Rodríguez, 2008; Silva et al., 1970). Para el caso de las unidades de este parámetro del sistema de monitoreo, los sólidos disueltos **están en** $\frac{mg}{L}$

Al aumentar los sólidos disueltos, como se puede observar en algunos de los días de medición según las gráficas a analizar (Figura 70, 71 y 72).

A medida de que el agua subterránea (correspondientes para aguas de humedales salinos) se mueve en la zona saturada de acuerdo con su patrón de flujo, desde las zonas de recarga hasta las de descarga, generalmente incrementa su contenido de sólidos totales. Está bien establecido que el agua en las zonas de recarga (en donde la componente de movimiento principal del agua en la zona saturada es hacia abajo), tiene menos sólidos totales disueltos que el agua más profunda del mismo sistema, y estas a su vez poseen menos sólidos disueltos que el agua en la zona de descarga (porción de la cuenca geohidrológica en la que el flujo en la zona saturada es directamente hacia el nivel freático - superficie que toma los puntos donde la presión del agua y la presión atmosférica son iguales), teniendo a evolucionar químicamente hacia la composición del agua de mar (alto contenido en TDS), teniendo cambios en sus aniones (Benavides, A., 1990).

$$HCO_3^- \ (bicarbonato) \Rightarrow HCO_3^- \ + \ SO_4^{-2} (sulfato) \Rightarrow SO_4^{-2} + HCO_3^- \Rightarrow SO_4^{-2} + Cl^- (cloro) \Rightarrow Cl^- + S$$

(patrón de flujo de cambio del agua a un comportamiento de agua salada, (Benavides, A., 1990).)

Por lo que ya teniendo un nivel de sólidos disueltos previamente, por tener origen en las aguas subterráneas (en este caso las áreas alrededor del humedal de SALPA), si le adicionamos las actividades de las lluvias presentadas (en las fechas que se monitoreo - mencionadas en el análisis de pH de este mismo punto) además de los cambios de pH presentados y la alta turbidez, se presencia que este punto junto con los otros (que son más turbios y con mas sólidos disueltos), los sólidos disueltos aumentarán a medida de los días (Benavides, A., 1990).

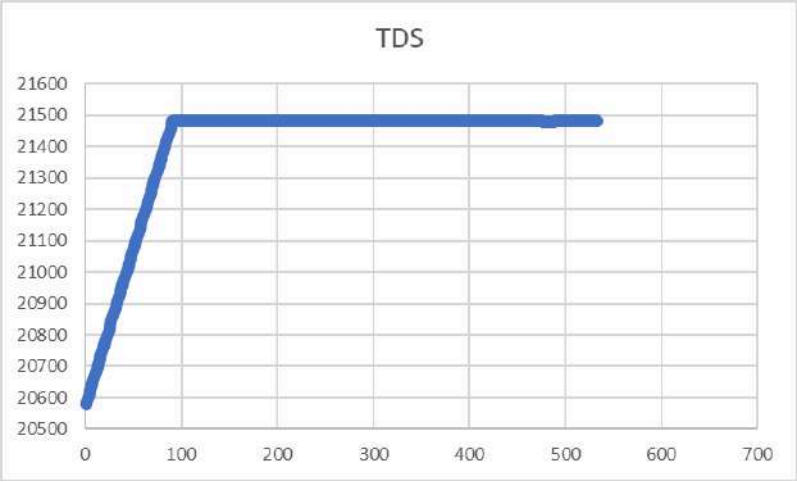


Figura 71. Gráfica sólidos disueltos (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas).

Figura 72. Gráfica sólidos disueltos (en general por días)

En la gráfica de las figuras 72 se utiliza una media estadística para saber el dato promedio que se obtuvo en ese día en específico, esto se realiza con todos los días de monitoreo realizadas, luego se grafican estos promedios para conocer el comportamiento de los TDS a lo largo de los días.

Como se puede observar en las 2 gráficas (Figura 71 y 72 - en general por días), los sólidos disueltos van variando en un inicio, el cual para luego tener un comportamiento también lineal. Los momentos iniciales varían por influencia del sensor de sólidos disueltos, ya que

por la función que se definió en la programación, esa se toma un tiempo mientras calcula exactamente el valor de los sólidos, por lo que van variando las lecturas hasta que del valor correspondiente: 21481 mg/L.

El valor al estar en mg/L se realiza una conversión para tener el dato en g/L, por lo que ya convertido el dato sería: 21,481 g/L. Siendo 21,481 g/L un valor alto en sólidos disueltos, siendo un valor normal para las aguas con condiciones saladas (mares, humedales salinos, aguas salobres, etc.) (Gobierno de México. (n.d.)).

- *Desviación estándar de datos*

La desviación estándar **σ** (para el primer punto) = 3525,688819

Por lo que siguiendo la desviación estándar de las mediciones de este punto para el pH, se obtuvo una desviación estándar de 3525,688819, observando un gran cambio entre las mediciones, especialmente en los treinta días de medición (día 20 - día 40 de medición), que incluso se puede observar en la figura del diagrama de barras 73. siendo uno de los probables motivos el tema de las lluvias como se mencionó en el cambio del pH, ya que las lluvias no solo pueden cambiar el pH, sino también traer otros materiales particulados que hacen que aumente los sólidos en el humedal

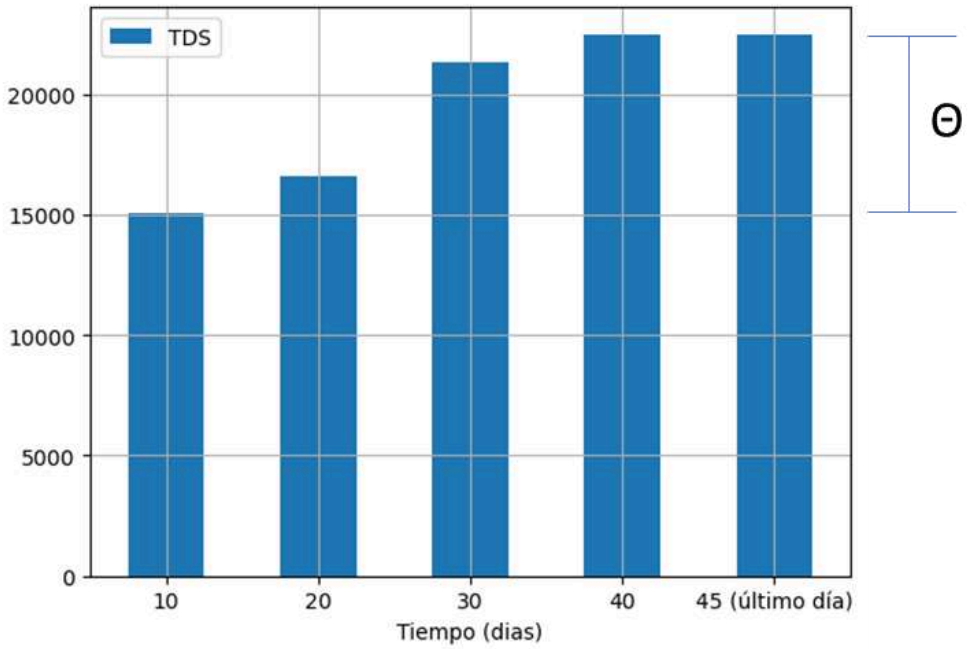


Figura 73. Diagrama de barras de los TDS del primer punto a lo largo de los días de monitoreo (el símbolo Θ representa la variación de los datos de TDS de los días de

medición).

8.6.2 Análisis segundo punto de muestreo

pH

Para el análisis de pH de este punto se debe de tener en cuenta el por qué y demás del cambio de valores de pH mencionados en el análisis del punto de medición 1, ya que para este punto sucede el mismo fenómeno de cambio de valores, especialmente los valores del sistema análisis de agua del centro de biosistemas con respecto al valor del análisis de multiparámetro realizado

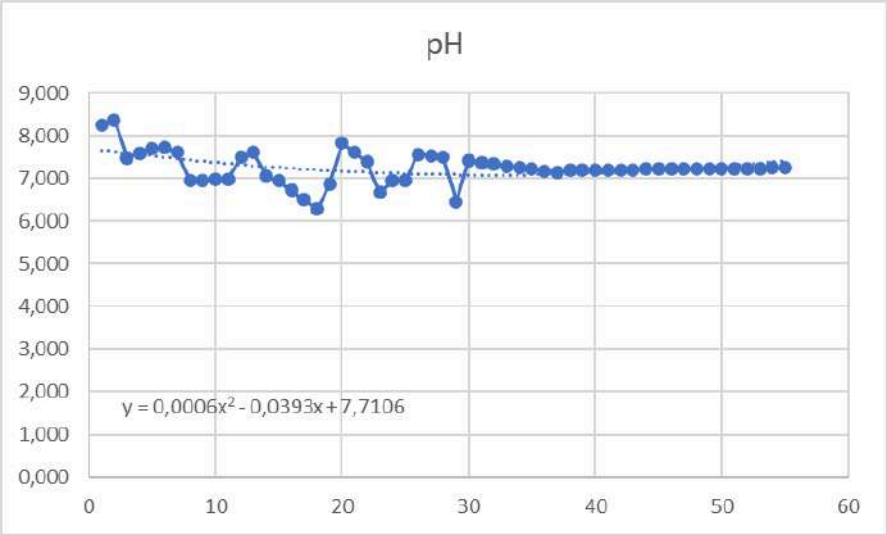


Figura 74. Gráfica pH (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas)

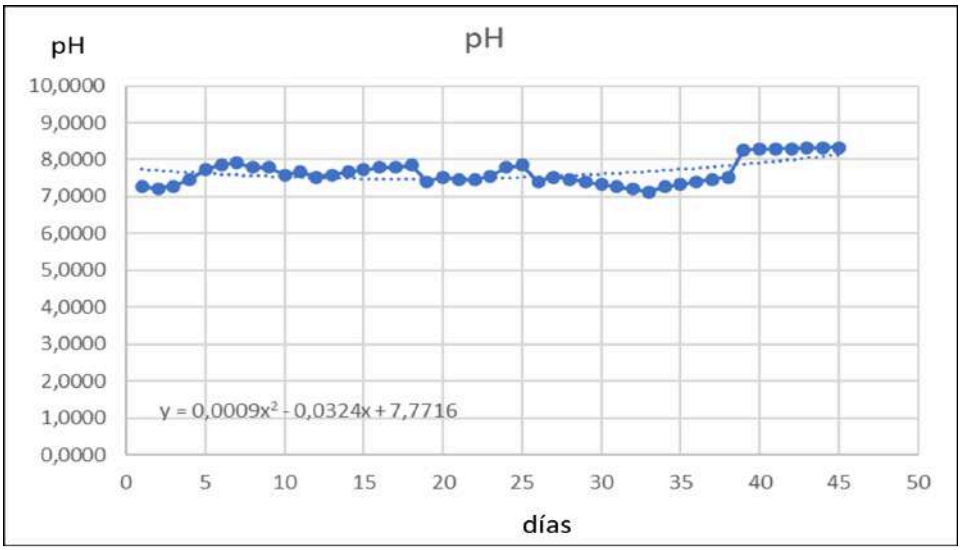


Figura 75. Gráfica pH (en general por días)

En la gráfica de las figuras 75 se utiliza una media estadística para saber el dato promedio que se obtuvo en ese día en específico, esto se realiza con todos los días de monitoreo realizadas, luego se grafican estos promedios para conocer el comportamiento del pH a lo largo de los días.

En cuanto al comportamiento del pH de este punto, tiende a ser lineal, pero como pasó en el primer punto de monitoreo, al inicio de las medidas empieza con un valor menor o desordenado al de las demás lecturas, y esto se da por influencia del sensor de pH mientras empieza a almacenar el valor de pH correspondiente.

Tabla 24. Tabla comparación pH punto 2

pH sistema (promedio)	pH análisis Tadeo	pH multiparámetro
7,70	7,80	10.39

Al final de la gráficas de pH (figuras 74 y 75 - en general por días), se puede observar un cambio un poco mayor al de los demás valores de pH, ya que en esos últimos días hubo condiciones de lluvia en el municipio, por lo que influyó en el valor de pH, siguiendo lo que se mencionó en el análisis de pH del punto anterior de medición, para este segundo punto sucede el mismo fenómeno de lluvias que provocaron la diferencia entre los valores del sistema y el análisis del centro de biosistemas (Tadeo) con respecto al multiparámetro (Tabla 24), que se describió en el análisis de pH del primer punto de medición.

- *Error de datos Medido por el sistema según la comparación con los datos del centro de biosistemas y el multiparámetro*

Como se mencionó en el análisis del pH del primer punto de medición, para este caso sería el mismo análisis realizado previamente en ese punto de medición.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se procede a realizar el error de medición para observar que tanto variaron los datos:

Para sacar el error de medición se debe de tener en cuenta que el error (absoluto) es la diferencia entre el valor medido respecto al real:

Error absoluto = X medido - X real

Por lo que siguiendo las referencias bibliográficas en cuanto el rango de pH para un humedal salino que debe tener, debe de estar en un rango alrededor de 7 - 10 (Acosta et al., DECIMOSÉPTIMO ENCUENTRO DEL CENTRO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA 2023).

Teniendo en cuenta el rango de pH, el valor real alternará entre 7 a 10, siendo un error el que habría que calcular teniendo en cuenta el valor que se obtuvo de pH del sistema de monitoreo, el cual es de 7.7, por lo que a este valor se compararía el error con el valor de pH más cercano, el cual sería un pH de ocho

- Error absoluto: 7,7 - 8 = -0,3

Luego de sacar el error absoluto del rango de pH, se procede a calcular el error relativo para saber el porcentaje de error de medición que se encuentra el sistema

- Error relativo: -0,3/8 = -0,0375 = 3,75%

El error corresponde con el requerimiento que se mencionó de datos de error inferior al 5%, ya que el pH de 7,7 se encuentra en el rango de medición de un pH de 8, correspondiente al rango salino.

- *Desviación estándar de datos*

La desviación estándar **σ** (para el primer punto) = 0,339571289 = 0,34

Por lo que, siguiendo la desviación estándar de las mediciones de este punto para el pH, se obtuvo una desviación estándar de 0,34, siendo un valor de desviación no tan grande o muy poca, concluyendo que entre los datos en cada medición no hubo un gran cambio o desviación, siguiendo el comportamiento lineal en las gráficas mencionado anteriormente

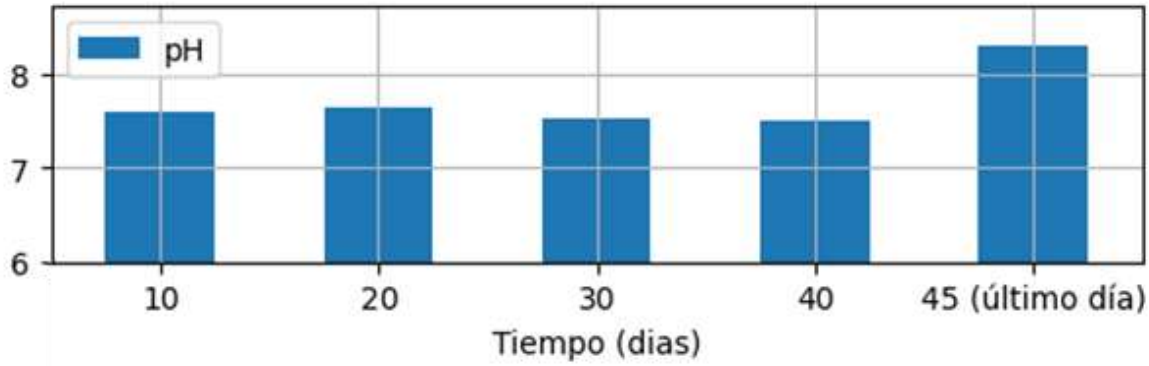


Figura 76. Diagrama de barras del pH del segundo punto a lo largo de los días de monitoreo.

En el diagrama de barras se puede observar unos varios cambios en los días de monitoreo, especialmente según la gráfica de la figura 76 del diagrama de barras de pH, hubo un cambio de pH entre el día 40 a 45, mientras que los otros días tuvieron variaciones, pero no tan notorias como la de los días mencionados anteriormente.

Turbidez

Para el análisis de turbidez de este punto se debe de tener en cuenta el por qué y demás del cambio de valores que se presentaron algunos días de medición, mencionados en el análisis del punto de medición 1 - turbidez.

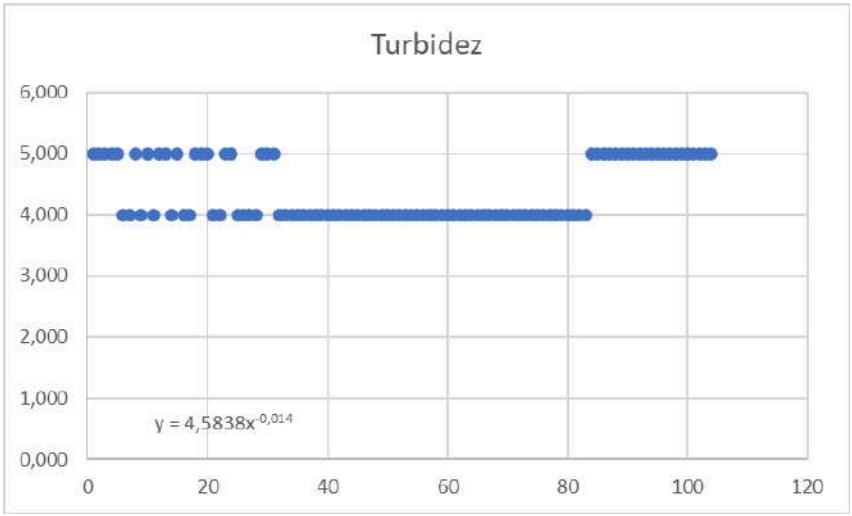


Figura 77. Gráfica turbidez (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas)

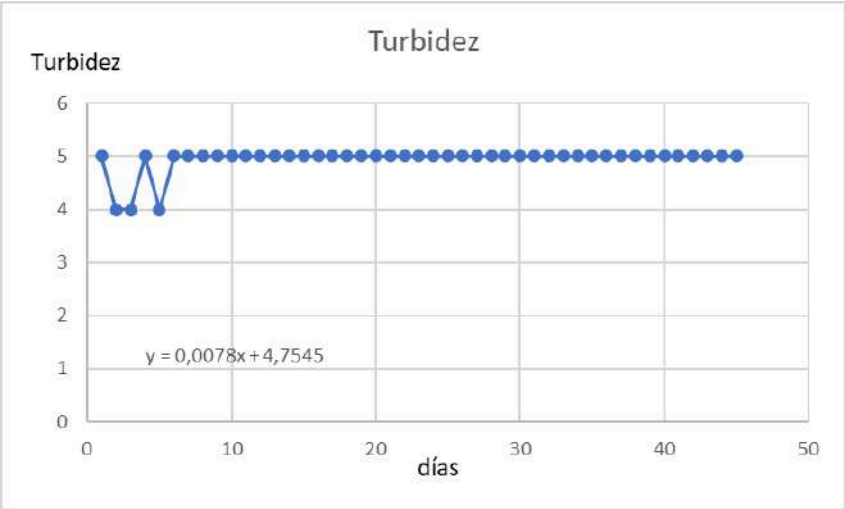


Figura 78. Gráfica turbidez (en general por días)

En la gráfica de las figuras 78 se utiliza una media estadística para saber el dato promedio que se obtuvo en ese día en específico, esto se realiza con todos los días de monitoreo realizadas, luego se grafican estos promedios para conocer el comportamiento de la turbidez a lo largo de los días.

En cuanto al comportamiento de la turbidez siguiendo las 2 gráficas resultantes (Figura 77 – 78) de los datos obtenidos, se puede observar un comportamiento lineal hacía el valor de 5 en cuanto a turbidez, significando que es el máximo de turbidez en cuanto a los rangos (1000 NTU).

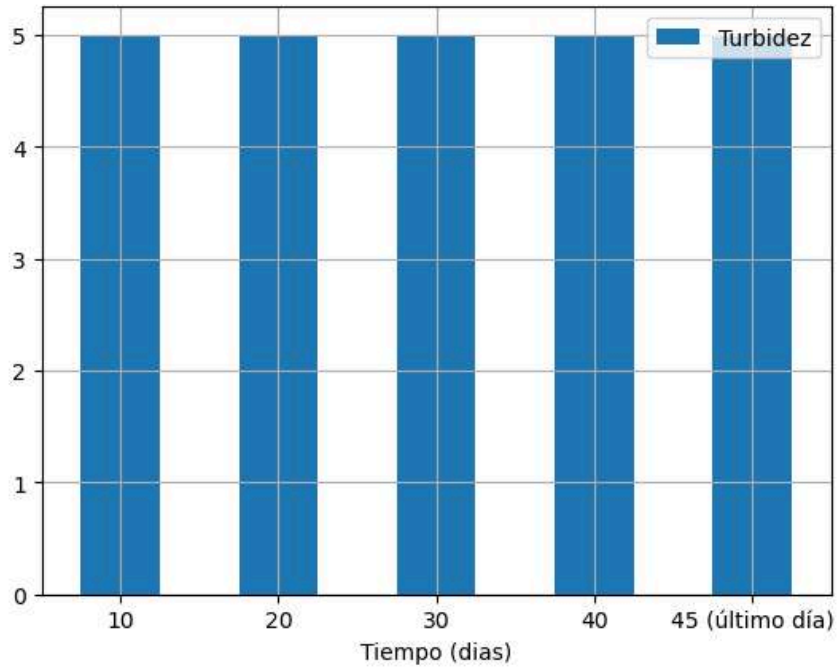


Figura 79. Diagrama de barras de la turbidez del segundo punto a lo largo de los días de monitoreo.

Además, se puede observar en el diagrama de barras (figura 79) hecho el comportamiento que tuvo también el humedal en los días de monitoreo, el comportamiento siempre fue lineal con una turbidez de 3, evidenciando el mismo comportamiento en las gráficas, mostrando. Para la realización del diagrama de barras se realizó una moda estadística (**dato que más se repite**) por cada diez días de monitoreo de todos los días que se realizó la medida de variables, este mismo procedimiento se hizo con los demás puntos de medición en el parámetro de la turbidez.

- *Desviación estándar de datos*

La desviación estándar **σ** (para el primer punto) = 0

Por lo que siguiendo la desviación estándar de las mediciones de este punto para el pH, se obtuvo una desviación estándar de 0, observando que no tuvo grandes cambios en las mediciones, siempre se tuvo el mismo comportamiento en la turbidez.

TDS

Para el análisis de TDS de este punto se debe de tener en cuenta el por qué y demás del cambio de valores que se presentaron algunos días de medición, mencionados en el análisis del punto de medición 1 - TDS.

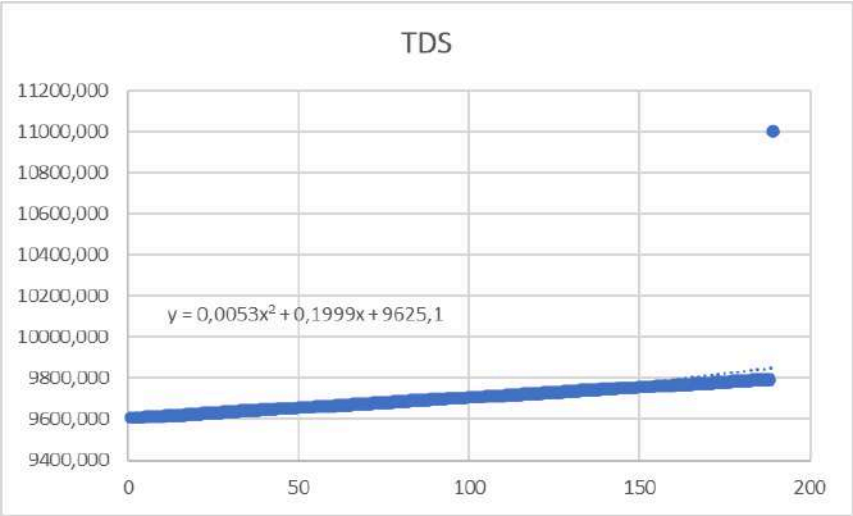


Figura 80. Gráfica sólidos disueltos (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas)

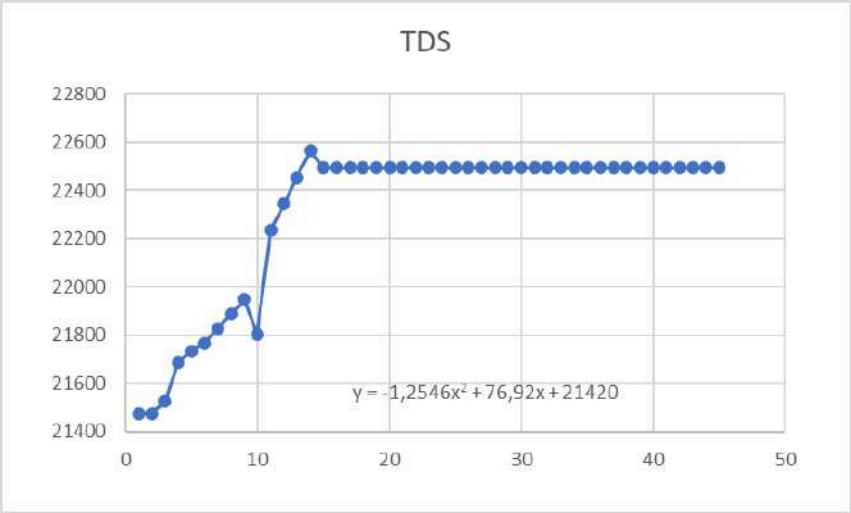


Figura 81. Gráfica sólidos disueltos (en general por días).

En la gráfica de las figuras 81 se utiliza una media estadística para saber el dato promedio que se obtuvo en ese día en específico, esto se realiza con todos los días de monitoreo realizadas, luego se grafican estos promedios para conocer el comportamiento del TDS a lo largo de los días.

En cuanto a los sólidos disueltos, observando principalmente la gráfica que va por los días (figura 81 - por días, figura 80 - por solo un día), los TDS van subiendo hasta que se

estabilizan en un valor, el cual es 22496 mg/L, evidenciando que en este punto hay alta cantidad de sólidos disueltos, cumpliendo con el estándar para las aguas salinas (las cuales se mencionaron en el análisis del primer punto de monitoreo). Estando además relacionado con la turbidez, ya que en este punto fue uno de los más turbios, principalmente por la cantidad de sólidos que están en ella.

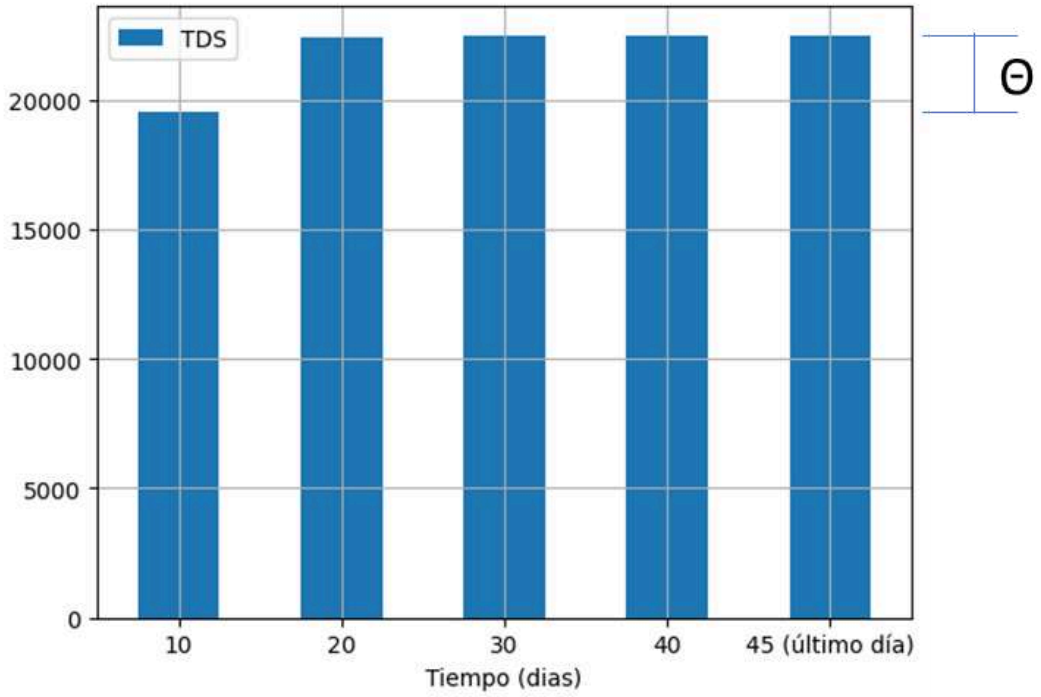


Figura 82. Diagrama de barras de los TDS del segundo punto a lo largo de los días de monitoreo (el símbolo Θ representa la variación de los datos de TDS de los días de medición).

- *Desviación estándar de datos*

La desviación estándar **σ** (para el primer punto) = 1313,867859

Por lo que siguiendo la desviación estándar de las mediciones de este punto para el pH, se obtuvo una desviación estándar de 1313,86785, observando un gran cambio entre las mediciones, especialmente en los primeros veinte días, ya que no se observó grandes cambios desde el día veinte hasta el último día de monitoreo, por lo que el gran cambio fueron los primeros veinte días, siendo uno de los probable motivos el tema de las lluvias como se mencionó en el cambio del pH, ya que las lluvias no solo pueden cambiar el pH, sino también traer otros materiales particulados que hacen que aumente los sólidos en el humedal (se puede observar el cambio en la figura 82 del diagrama de barras de TDS).

8.6.3 Análisis tercer punto de muestreo

pH

Para el análisis de pH de este punto se debe de tener en cuenta el por qué y demás del cambio de valores de pH mencionados en el análisis del punto de medición 1, ya que para este punto sucede el mismo fenómeno de cambio de valores, especialmente los valores del sistema análisis de agua del centro de biosistemas con respecto al valor del análisis de multiparámetro realizado

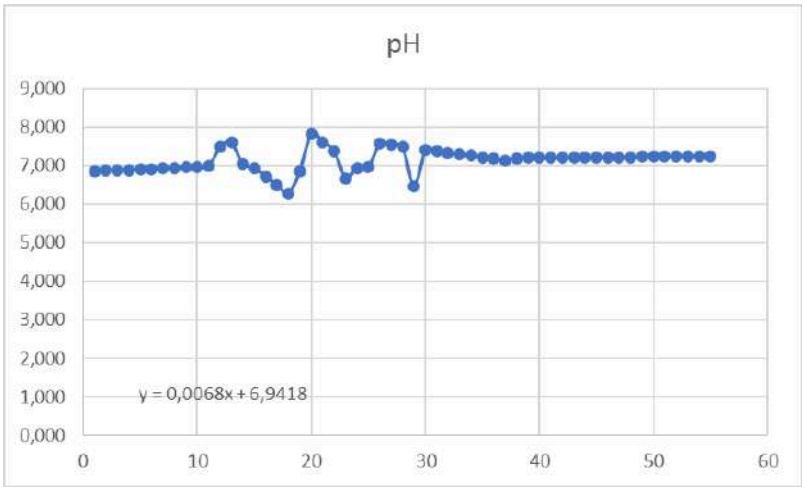


Figura 83. Gráfica pH (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas).

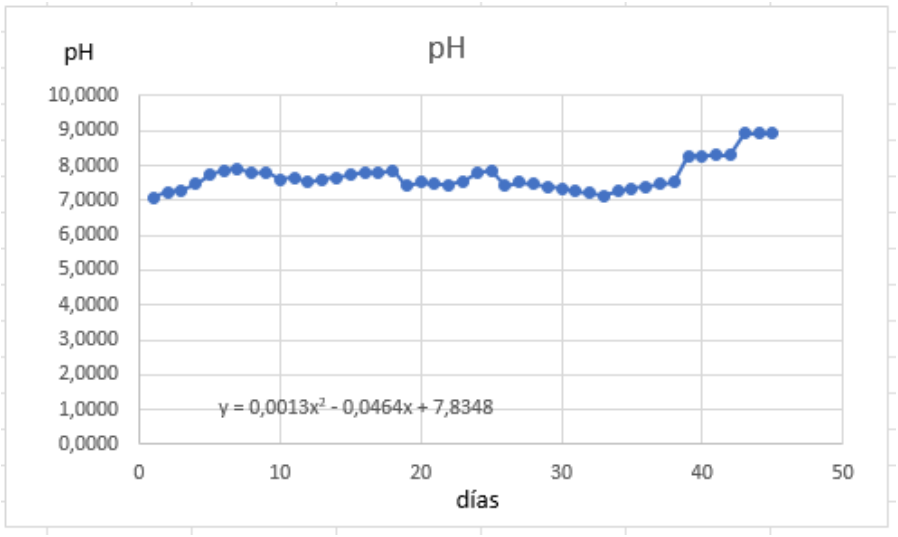


Figura 84. Gráfica pH (en general por días).

En cuanto al comportamiento del pH en este punto de monitoreo, se puede observar principalmente en la gráfica del pH (en general por días), que tiene un comportamiento muy similar al del segundo punto, sin embargo, en los últimos días (días 39-45) se puede ver una subida del pH cercano a 9.

En la gráfica de las figuras 84 se utiliza una media estadística para saber el dato promedio que se obtuvo en ese día en específico, esto se realiza con todos los días de monitoreo realizadas, luego se grafican estos promedios para conocer el comportamiento del pH a lo largo de los días.

Tabla 25. Tabla comparación pH punto 3

pH sistema (promedio)	pH análisis Tadeo	pH multiparámetro
7,30	7,20	9.11

Si se compara el dato (promedio de pH) junto con el pH dado por el análisis previo en el centro de biosistemas, se puede ver que no hubo grandes cambios en el pH. Solo, como se mencionó anteriormente, en los últimos días de monitoreo los cuales sí se pudieron observar cambios en el pH, más sin embargo no fueron grandes alteraciones en este parámetro fisicoquímico.

Al final de la gráfica de pH (figura 84) en general por días, se puede observar un cambio un poco mayor al de los demás valores de pH (figura 83 y figura 84), ya que en esos últimos días hubo condiciones de lluvia en el municipio, por lo que influyó en el valor de pH,

siguiendo lo que se mencionó en el análisis de pH de los puntos de medición anteriores, para este punto de medición sucede el mismo fenómeno de lluvias que provocaron la diferencia entre los valores del sistema y el análisis del centro de biosistemas (Tadeo) con respecto al multiparámetro (Tabla 25), que se describió en el análisis de pH del primer punto de medición.

- *Error de datos Medido por el sistema según la comparación con los datos del centro de biosistemas y el multiparámetro*

Como se mencionó en el análisis del pH del primer punto de medición, para este caso sería el mismo análisis realizado previamente en ese punto de medición.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se procede a realizar el error de medición para observar que tanto variaron los datos:

Para sacar el error de medición se debe de tener en cuenta que el error (absoluto) es la diferencia entre el valor medido respecto al real:

Error absoluto = X medido - X real

Por lo que siguiendo las referencias bibliográficas en cuanto el rango de pH para un humedal salino que debe tener, debe de estar en un rango alrededor de 7 - 10 (Acosta et al., DECIMOSÉPTIMO ENCUENTRO DEL CENTRO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA 2023).

Teniendo en cuenta el rango de pH, el valor real alternará entre 7 a 10, siendo un error el que habría que calcular teniendo en cuenta el valor que se obtuvo de pH del sistema de monitoreo, el cual es de 7.30, por lo que a este valor se compararía el error con el valor de pH más cercano, el cual sería un pH de ocho

- Error absoluto: 7,30 - 7 = 0,3

Luego de sacar el error absoluto del rango de pH, se procede a calcular el error relativo para saber el porcentaje de error de medición que se encuentra el sistema

- Error relativo: 0,3/7 = 0,042 = 4,2%

El error corresponde con el requerimiento que se mencionó de datos de error inferior al 5%, ya que el pH de 7,30 se encuentra en el rango de medición de un pH de 7, correspondiente al rango salino.

- *Desviación estándar de datos*

La desviación estándar **σ** (para el primer punto) = 0,499075204 = 0,5

Por lo que siguiendo la desviación estándar de las mediciones de este punto para el pH, se obtuvo una desviación estándar de 0,5, siendo un valor de desviación no tan grande o muy poca, concluyendo que entre los datos en cada medición no hubo un gran cambio o desviación, pero el valor de la desviación si es mayor con respecto a los dos valores de desviación estándar de pH de los puntos anteriores, siendo la desviación estándar de este punto el más grande entre los tres puntos de medición.

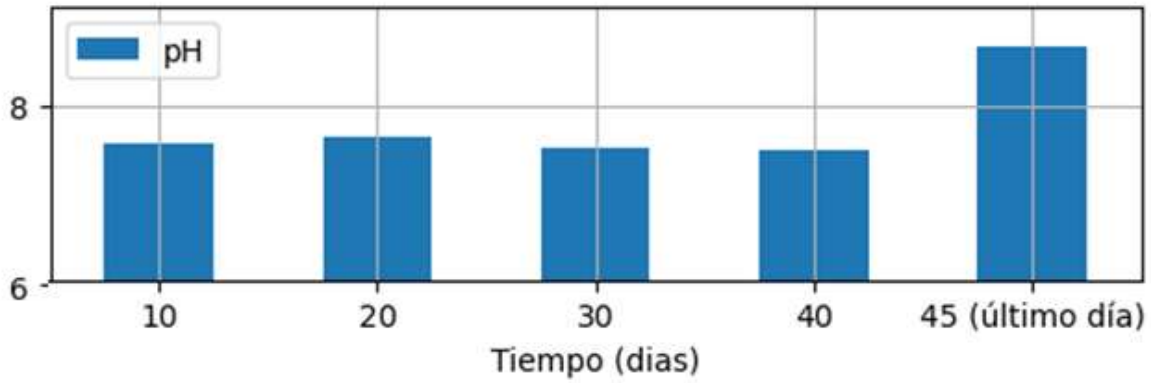


Figura 85. Diagrama de barras del pH del tercer punto a lo largo de los días de monitoreo.

En el diagrama de barras se puede observar unos varios cambios en los días de monitoreo, especialmente según la gráfica de la figura 85 del diagrama de barras de pH, hubo un cambio de pH entre el día 40 a 45, mientras que los otros días tuvieron variaciones, pero no tan notorias como la de los días mencionados anteriormente. Sin embargo, a diferencia de los puntos de medición anteriores en cuanto al pH, se puede observar que este punto siguiendo los diagramas de barras 67 y 76, fue uno de los puntos de medición con menor pH entre todos los puntos.

Turbidez

Para el análisis de turbidez de este punto se debe de tener en cuenta el por qué y demás del cambio de valores que se presentaron algunos días de medición, mencionados en el análisis del punto de medición 1 - turbidez.

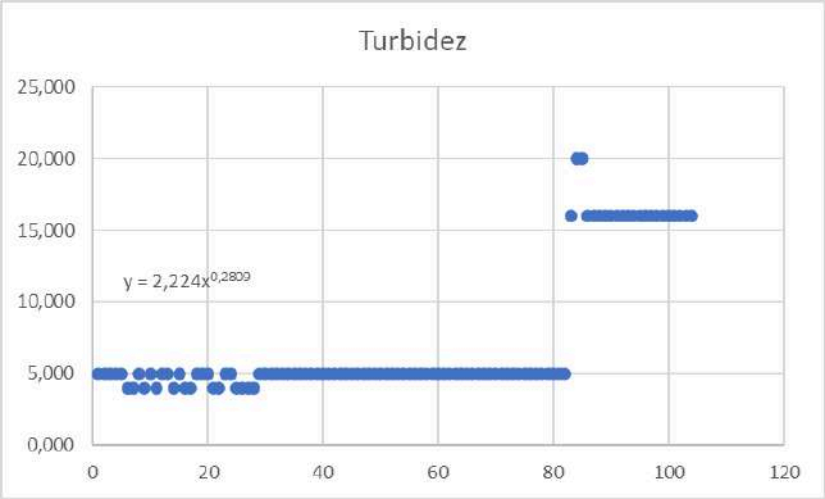


Figura 86. Gráfica Turbidez (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas).

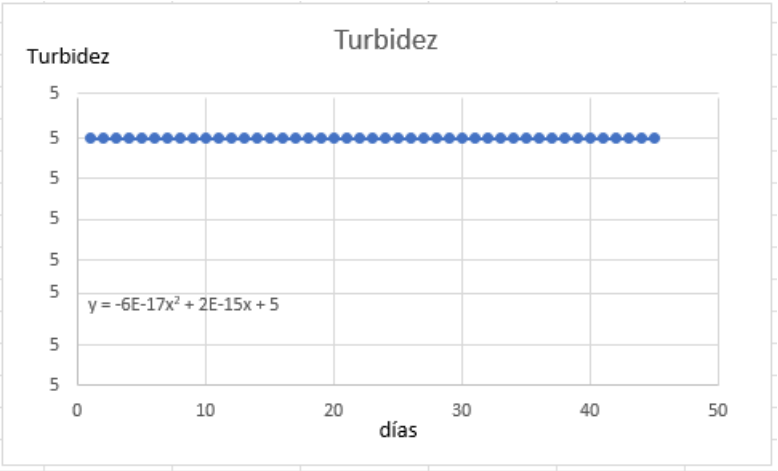


Figura 87. Gráfica Turbidez (en general por días).

En la gráfica de las figuras 87 se utiliza una media estadística para saber el dato promedio que se obtuvo en ese día en específico, esto se realiza con todos los días de monitoreo realizadas, luego se grafican estos promedios para conocer el comportamiento de la turbidez a lo largo de los días.

En general la turbidez para todos los días (figuras 86 y 87) fue de 5 (1000 NTU), aunque algunas lecturas superan el valor de 5, ya que se en esos momentos se presentaron saturaciones en las medidas por influencia del sensor de turbidez y su programación, porque el sensor da valores análogos (máximos entre 25000 a 28000) siendo el rango de

valores análogos que se establece es de 25000 a 28000, siendo que, en los casos que supera el valor de 28000, son casos en los que el sensor presentaba alguna falla en las conexiones, falla en la conexión con la red o la sonda del sensor estaba quemada.
Por lo que al momento de realizar la estadística para el análisis con las gráficas se asume el valor de 5 para esas medidas saturadas.

- *Desviación estándar de datos*

La desviación estándar **σ** (para el primer punto) = 0

Por lo que siguiendo la desviación estándar de las mediciones de este punto para el pH, se obtuvo una desviación estándar de 0 , observando que no tuvo grandes cambios en las mediciones, siempre se tuvo el mismo comportamiento en la turbidez.

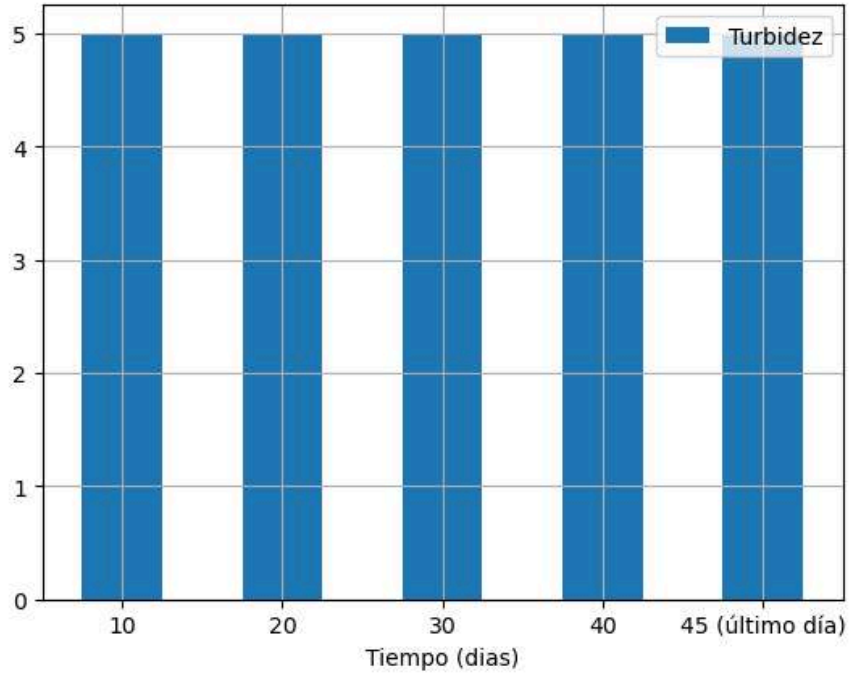


Figura 88. Diagrama de barras de la turbidez del tercer punto a lo largo de los días de monitoreo.

Además se puede observar en el diagrama de barras hecho (Figura 87) el comportamiento que tuvo también el humedal en los días de monitoreo, el comportamiento siempre fue lineal con una turbidez de 3, evidenciando el mismo comportamiento en las gráficas, mostrando. Para la realización del diagrama de barras se realizó una moda estadística (**dato que más se repite**) por cada 10 días de monitoreo de todos los días que se realizó la medida de variables, este mismo procedimiento se hizo con los demás puntos de medición en el

parámetro de la turbidez.

TDS

Para el análisis de TDS de este punto se debe de tener en cuenta el por qué y demás del cambio de valores que se presentaron algunos días de medición, mencionados en el análisis del punto de medición 1 - TDS.

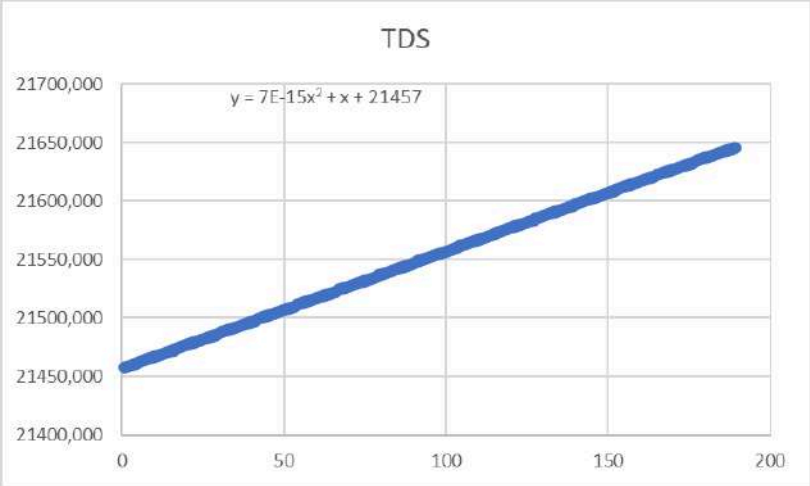


Figura 89. Gráfica TDS (ejemplo de lectura de un periodo (un día) con el sistema de monitoreo, específicamente primeros días de monitoreo, Eje Y es el valor del parámetro y eje X las horas).

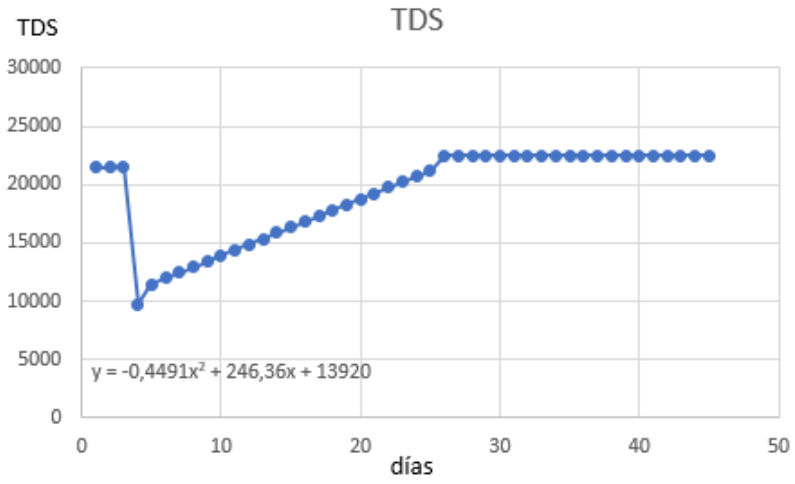


Figura 90. Gráfica TDS (en general por días).

En la gráfica de las figuras 89 se utiliza una media estadística para saber el dato promedio que se obtuvo en ese día en específico, esto se realiza con todos los días de monitoreo realizadas, luego se grafican estos promedios para conocer el comportamiento de los TDS a lo largo de los días.

El efecto de las medidas iniciales de los sólidos se debe al tiempo de lectura del sensor de tds mientras se calcula y muestra el valor correcto de los sólidos que se encuentren hasta que se halle el valor correspondiente.

En cuanto a los sólidos disueltos presenta un comportamiento como los otros puntos anteriores, al inicio de las medidas empieza a subir el valor de sólidos (Fig 89) y luego ya se mantiene constante o lineal (Figura 90 - gráfica general por días).

El valor dado de TDS (promedio) es de: 16381 mg/L, convertido a g/L corresponde a un valor final de: 16,381 g/L

- *Desviación estándar de datos*

La desviación estándar **σ** (para el primer punto) = 4040,200881

Por lo que, siguiendo la desviación estándar de las mediciones de este punto para el pH, se obtuvo una desviación estándar de 4040,200881, observando un gran cambio entre las mediciones, especialmente en los 20 días de medición (día 20 - día 45 de medición), el gran cambio se observó en el día 20 y el día 30.

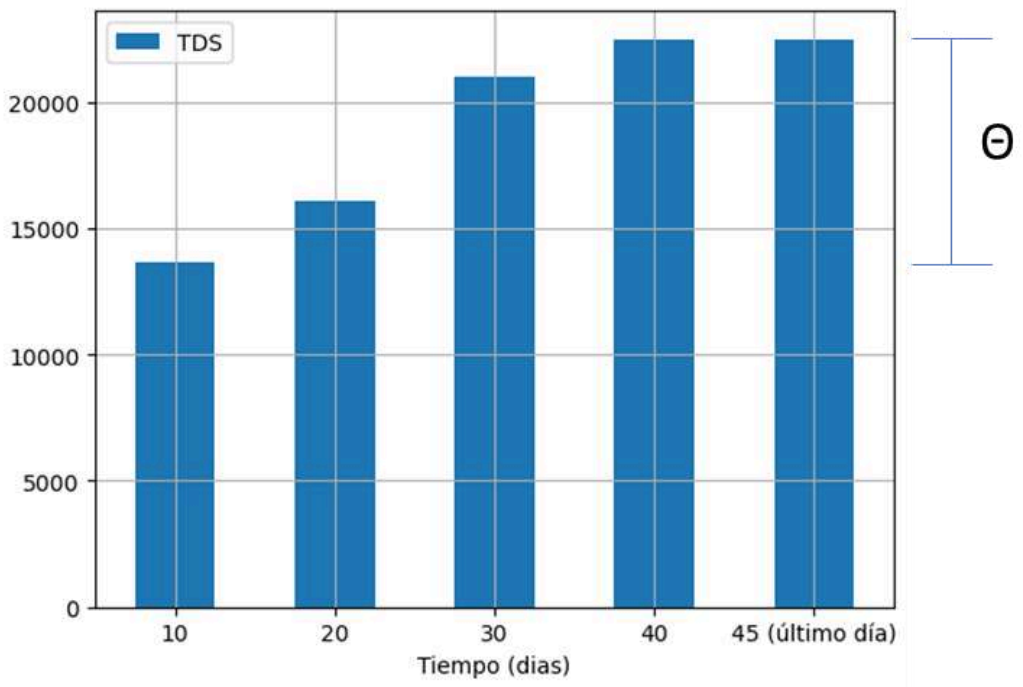


Figura 91. Diagrama de barras de los TDS del tercer punto a lo largo de los días de monitoreo (el símbolo Θ representa la variación de los datos de TDS de los días de medición).

Siguiendo la figura 91 del diagrama de barras de TDS, se puede concluir que de los primeros 30 días, el valor de sólidos tuvieron un comportamiento exponencial, es decir que a lo largo de cada día crecían los sólidos, sin embargo, desde el día 40 hasta el último día de medición (día 45) siempre se obtuvo el mismo valor de TDS. Se observa un gran cambio entre las mediciones, especialmente en los 30 días de medición (día 20 - día 40 de medición), que incluso se puede observar en la figura 91 del diagrama de barras de TDS. siendo uno de los probables motivos el tema de las lluvias como se mencionó en el cambio del pH, ya que las lluvias no solo pueden cambiar el pH, sino también traer otros materiales particulados que hacen que aumente los sólidos en el humedal

9. CONCLUSIONES

- La ausencia de protección del humedal en el municipio, presencia de desechos inorgánicos, evaporación de agua debido al cambio climático, los vertimientos directos e indirectos son temas de controversia que se percibieron en el desarrollo del proyecto.

- Examinar las variables económicas, ecológicas y sociales del humedal proporcionó una comprensión completa de su importancia y funcionalidad en un contexto más amplio. El humedal ofrece varios servicios ecosistémicos desde un punto de vista económico, como la protección, infiltración en sistema de aguas subterráneas, hábitat de especies endémicas, entre otras; que son vitales para el bienestar humano y el desarrollo sostenible. Además, contribuye a generar oportunidades económicas mediante el ecoturismo de la región. También juega un papel vital en la estabilización de los ciclos hidrológicos y nutrientes, lo que lo convierte en un elemento esencial para la salud y adaptación a situaciones adversas resiliencia de la calidad del agua en el humedal.

- El estudio de variables sociales, económicas y ecológicas permitió recopilar información característica de la fuente hídrica para la escogencia de los parámetros físico químicos, materiales y sensores que se adecuarán a las condiciones de agua del humedal Salpa y con esto mejorar una tecnología existente con una innovadora y mejorada que reduce tiempos de monitoreo y brinda facilidad en la recopilación de datos.

- Siguiendo el diseño realizado de la caja de cobertura y las otras metodologías de diseño en elección de material, se pudo lograr el objetivo de dar cobertura a la parte electrónica y demás componentes (celular y sistema solar), protegiéndolos de los factores ambientales que pudiesen afectar la medición del sistema de monitoreo.

- La selección del protocolo fue importante ya que permitió la comunicación a esta ubicación remota. Esto debido a que este protocolo de red tipo MQTT, el cual se utiliza frecuentemente en sistemas SCADA, es útil para la recepción y envío de los datos para sistemas que se ubican en lugares remotos con red de internet limitada (generalmente el protocolo MQTT funciona en sistemas con redes 3G en adelante), por lo que este protocolo de red ayudará en gran medida a la recolección y almacenamiento de datos que se vayan a recolectar por la

ubicación remota en la que se utilizará el sistema (humedal de Salpa).

- Se cumplió con lo establecido en cuanto a la construcción del sistema, teniendo en cuenta los parámetro físico químicos a analizar, que mediante la comunicación de los sensores escogidos, los cuales ayudan a la recolección de información, y con el microcontrolador ESP-32 junto con el software llamado "ThingSpeak" se almacenó y visualizó la información recolectada, que ayudaron al posterior análisis de agua del humedal de SALPA, observando que el sistema es efectivo y eficaz para la toma de datos.

- Los conocimientos teóricos y las habilidades experimentales adquiridas durante la carrera de bioingeniería fueron la base para la realización del sistema de monitoreo que permite apoyar el manejo y conservación del agua del humedal de Salpa. Dichos conocimientos y habilidades fueron obtenidos principalmente en las materias relacionadas con circuitos electrónicos, programación, y materias con contenido en cuanto a química, biología y ecosistemas. Enfocado el proyecto primordialmente manejo y conservación del agua (calidad de agua), ya que con ayuda de este, se pretende analizar cómo se encuentra el humedal y que afectaciones podría tener en el ambiente y la salud de las personas de alrededor del municipio, por lo que mediante el uso de tecnologías como el tipo SCADA, con el uso de sensores y demás electrónica-programación establecida, se realizó el sistema para cumplir con el principio del proyecto, el cual es un monitoreo que ayude a facilitar el análisis de las condiciones del humedal a nuestro cliente CORPOBOYACÁ.

- La información recolectada para Corpoboyacá cumplió con lo establecido en cuanto al acta de compromiso cuyo objetivo fue el análisis de los parámetros fisicoquímicos usando el sistema de monitoreo y sus variables ecológicas, económicas y sociales , brindando al cliente, una ayuda en los procesos de recolección de información disminuyendo tiempo y costos que tiene la Corporación, especialmente para los desarrollos de los planes de manejo que se vayan a realizar próximamente en el departamento de Boyacá, en este caso la información les brindaría la ayuda para el plan de manejo en el municipio de Paipa para el humedal de Salpa.

- El sistema pudo cumplir con la funcionalidad inalámbrica facilitando la recolección de información para la corporación (Corpoboyacá) donde ellos afirman que es un sistema innovador para la recolección de datos en tiempo real.

10. RECOMENDACIONES

- El sistema de monitoreo puede mejorar su alimentación en caso de que no se encuentre alguna fuente directa de corriente, aumentando o creando algún tipo de banco de baterías que aumente la utilidad del sistema (recomendación que sea mayor a 6 V, pero menor a 16 V)

- Para la cobertura de la planta solar se puede incluir otro tipo de material más resistente al agua y a otros factores externos, la recomendación sería buscar un material de tipo cerámica, ya que este material no se oxida como los metales o se descompone como la madera.

- Se puede incluir paneles de un tamaño un poco mayor, para aprovechar mucho más la radiación solar para la generación de la energía eléctrica que cargaría la planta o banco de baterías en su caso

- Para el sistema de monitoreo, especialmente para el caso de los sensores, se puede cambiar el tamaño de las sondas para que sean un poco más largas en el caso que se requiere hacer mediciones en sitios de bastante profundidad.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Administrador. (n.d.). Municipios - Paipa. EL PORTAL CULTURAL DE BOYACÁ. Retrieved October20, 2022, from http://www.boyacacultural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=833&Itemid=44

- Aghenta, L. O., & Iqbal, M. T. (2019, July 24). *Low-cost, open source IOT-based SCADA system design using Thinger.IO and ESP32 thing*. Low-Cost, Open Source IoT-Based SCADA System Design Using Thinger.IO and ESP32 Thing. https://www.mdpi.com/2079-9292/8/8/822

- Acosta, R., Carol, E., Francisco Cellone, G. B., & Alvarez, M. del pilar. (n.d.). *DECIMOSEPTIMO ENCUENTRO DEL CENTRO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA*. HIDROQUÍMICA DE HUMEDALES LAGUNARES HIPERSALINOS DEL OESTE DE BUENOS AIRES, ARGENTINA. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/42073/CONICET_Digital_Nro.4a6838bc-2506-478a-9b71-dfb40bdf0c19_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

- Goel , A., & Mishra , R. S. (2009, March). *(PDF) Remote Data Acquisition Using Wireless - SCADA system*. Remote Data Acquisition Using Wireless - Scada System. https://www.researchgate.net/publication/41845945_Remote_Data_Acquisition_Using_Wireless_-_Scada_System

- Avegno, G. P. (2023, May 30). *La Inteligencia artificial en el tratamiento de aguas residuales*. LinkedIn. https://www.linkedin.com/pulse/la-inteligencia-artificial-en-el-tratamiento-de-aguas-pino-avegno/?originalSubdomain=es

- Bohorquez, A. G. (2017). *AVIFAUNA ASOCIADA AL LAGO 1 TERMOPAIPA III Y AL HUMEDAL DE LA VEREDA LA ESPERANZA, DEL MUNICIPIO DE PAIPA-BOYACÁ* (thesis).

- Benavides, A. (1990). *Químico y Origen de los Sólidos disueltos en el agua* . CARACTERIZACION FISICO-QUIMICO Y ORIGEN DE LOS SOLIDOS Di SUELTOS £N EL AGUA SUBTERRANEA DEL VALLE DE SAN LUIS POTOSI; SU RELACiON CON EL SISTEMA DE FLUJO. . http://eprints.uanl.mx/7208/1/1020091193.PDF

- *2023 - Predicción climática a Corto, mediano y Largo Plazo sobre el Territorio Nacional - IDEAM*. Boletín de predicción climática y recomendación sectorial . (n.d.). http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/prediccion-climatica-a-corto-mediano-y-largo-plazo-sobre-el-territorio-nacional/-/document_library_display/4VxHJWLWDhGo/view/125356886

- Cattlin, N. (2006). Mosca de la Costa o Mosca de los Hongos (Scoella stagnalis) pupa sobre la malla de la glasshouse. Las Moscas de la costa Contaminan Los cultivos de Lechuga fotografía de stock. Retrieved March 28, 2023, from https://www.alamy.es/mosca-de-la-costa-o-mosca-de-los-hongos-scoella-stagnalis-pupa-sobre-la-malla-de-la-glasshouse-las-moscas-de-la-costa-contaminan-los-cultivos-de-lechuga-image350759771.html

- Corrales, L. (2007, Diciembre). Interfaces de Comunicación Industrial - SISTEMAS SCADA. Recuperado en Noviembre 20, 2022, de https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10020/2/PARTE%202.pdf

- Análisis Dafo del Diagnóstico ambiental - cacabelos. (2003). Retrieved October 19, 2022, from https://www.cacabelos.org/ficheros/diagnosticocacabelos/al21_8.pdf

- Analog_ec_meter_sku_dfr0300. (n.d.). Retrieved November 13, 2022, from https://wiki.dfrobot.com/Analog_EC_Meter_SKU_DFR0300

- Aponte, L. (2019). ANÁLISIS DEL APORTE CONTAMINANTE GENERADO POR EL VERTIMIENTO TERMOMINERAL DEL HOTEL PANORAMA (PAIPA) SOBRE LA FUENTE RECEPTORA RÍO CHICAMOCHA. Retrieved 27 September 2022, from https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25530/1/PROYECTO%20FINAL%2021-12.pdf

- Ayme, C. (2018). Plan Estratégico de la Industria del Mueble de Madera en Perú. Obtenido de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/11639/AYME_GARCIA_PLAN_MADERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Barba-Álvarez, R., Lanza-Espino, G., Contreras-Ramos, A., & González-Mora, I. (2015, Abril 20). Insectos acuáticos indicadores de Calidad del Agua en méxico: Casos de Estudio, Ríos Copalita, Zimatán y Coyula, Oaxaca. Recuperado Noviembre 15, 2022, de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870345313728550

- Berkeley library. (n.d.). *Library guides: Research methods--quantitative, qualitative, and more: Qualitative research*. Qualitative Research - Research Methods--Quantitative, Qualitative, and More - Library Guides at UC Berkeley. https://guides.lib.berkeley.edu/c.php?g=1262657&p=9256361

- Carriazo Regino, Y. (2021). Sistema de monitoreo de la calidad del agua basado en IOT, utilizando técnicas de analítica de datos para la detección de anomalías, en los acueductos ejecutados por el plan departamental de aguas (PDA) de Córdoba. Retrieved 26 September 2022, from https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/15481

- Carrera, C., & Fierro, K. (n.d.). Los macro-invertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Retrieved November 15, 2022, from https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=56374

- Chamorro-Atalaya, O., Arce-Santillan, D., Diaz-Leyva, T., & Diaz-Choque, M. (2021, January). *(PDF) supervision and control by SCADA of an automated fire system*. Supervision and control by SCADA of an automated fire system. https://www.researchgate.net/publication/348281595_Supervision_and_control_by_SCADA_of_an_automated_fire_system

- Chaparro, M. (2018, Noviembre 19). Diagnóstico Ambiental de Alternativas para el Aprovechamiento del ... Retrieved October 24, 2022, from https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/3314/Chaparro_Guevara_Mar%C3%ADa_Juliana_2018.pdf

- Caldera, Y.; Gutierrez, E.; Luengo, M.; Chavez, J.; & Ruesga L. 2010. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas Residuales de industria avícola. Revista Científica. Vol. 20, Num. 4, pp. 409 – 416.

- Cuchills, M. S. R., Negrón, J. J. Z., & Vilca, B. J. R. (1970, January 1). *Estudio del Ph del Agua de Lluvia en la subcuenca huatanay 2019-2020, Departamento de Cusco, Perú.* Guacamaya. http://portal.amelica.org/ameli/journal/212/2124037005/html/

- Corpoboyacá socializa en Paipa el proceso de homologación del Distrito de Manejo Integrado Lago Sochagota. (2022). Retrieved 22 September 2022, from https://www.corpoboyaca.gov.co/noticias/corpoboyaca-socializa-en-paipa-el-proceso-de-homologacion-del-distrito-de-manejo-integrado-lago-sochagota/

- Córdova, S.; Gaete, H.; Aránguiz, F.; & Ricardo Figueroa. 2009. Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. Lat. Am. J. Aquat. Res., Vol. 37, Núm. 2, pp. 199-209.

- _____. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia – uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín

- Cuaran Cuaran, S. (2020). Sistema de Internet de las Cosas (IoT) de bajo costo con JavaScript y ESP8266. Retrieved 27 September 2022, from https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80549

- Castillo, R., Alvarado, E., Laurent, A., & Huamantinco, A. (2021, September 17). Dípteros acuáticos de dos Humedales de la Costa Central de Perú y obtención de adultos a partir de pupas en el laboratorio. Retrieved March 29, 2023, from https://www.researchgate.net/publication/354657786_Dipteros_acuaticos_de_dos_humedales_de_la_costa_central_de_Peru_y_obtencion_de_adultos_a_partir_de_pupas_en_el_laboratorio

- DFR0300-H. (2022, August 02). Retrieved November 13, 2022, from https://www.sigmaelectronica.net/producto/dfr0300-h/

- DOBRICEANU, M., BITOLEANU, A., POPESCU, M., ENACHE, S., & SUBTIRELU, E. (2008, October). *(PDF) SCADA system for Monitoring Water Supply Networks*. SCADA System for Monitoring Water Supply Networks. https://www.researchgate.net/publication/228417935_SCADA_system_for_monitoring_water_supply_networks

- Espinoza Paz, R. (2010, Abril 05). *Planta de tratamiento de Aguas Residuales en san juan de miraflores*. DSpace Repository. https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1478

- *Folleto Informativo ph*. waterboards.ca.gov. (n.d.). https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf

- Guzmán, E. (2009.). *(PDF) Estabilización de un Suelo Dispersivo Mediante ...* Estabilización de un suelo dispersivo mediante zeolita micronizada. https://www.researchgate.net/publication/283425330_Estabilizacion_de_un_suelo_dispersivo_mediante_zeolita_micronizada

- SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. (2018). *SGC (SISTEMA GEOTÉRMICO HIDROTERMAL DE PAIPA)*. SISTEMA GEOTÉRMICO HIDROTERMAL DE PAIPA.

https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadas/Documents/Geotermia-en-paipa.pdf

- Silva, W. F., Castillo, F. C., & Sierra, C. S. (1970, January 1). *Evaluación de la Precisión y exactitud para la Determinación gravimétrica de sólidos disueltos totales en aguas*. Dialnet. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8742422

- Suárez, A.; García, C.; & Vaca, M. 2012. Identificación y evaluación de la contaminación del agua por curtiembres en el municipio de Villapinzón. Revista Tecnura, Vol. 16, pp. 185-193.

- Código Alimentario Argentino. 1994. Buenos Aires. Espigares García M. and Moreno Abril O. 1999. Caracteres microbiológicos, aguas envasadas, usos recreativos del agua. In Estudio sanitario del agua. Pérez López J. A. and Espigares García M. (eds). Editorial Universidad de Granada, Granada (España), pp. 115-127

- FAO. 2009. Monitoreo y Evaluación de los Recursos Forestales Nacionales – Manual para la recolección integrada de datos de campo. Versión 2.2. Documento de Trabajo de Monitoreo y Evaluación de los recursos Forestales Nacionales, NFMA 37/S. Roma.

- Fierro Ortiz, E., & Caballero Rodríguez, L. (2015, Enero 1). Evaluación de la Calidad del Agua del Humedal de Santa María del Lago mediante el uso de índices biológicos y fisicoquímicos para su implementación en otros humedales. Retrieved October 24, 2022, from https://repository.usta.edu.co/handle/11634/1700

- Fiorella, A., & Farfan, S. (2022). *"Mejoramiento del sistema de saneamiento y planta de tratamiento con uso de control remoto de procesos en Sancos, Ayacucho 2022*. Diagnóstico de la Planta de tratamiento de Agua residual. https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14554/1/Diagnostico de la planta de tratamiento de agua PTAR residual de Tunja - Boyacá.pdf

- Fundación Orinoquia Biodiversa, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2014). Flora y fauna del municipio de Paipa, Boyacá. 289 registros, aportados por: García, H. (Contacto del recurso), González, M. (Creador del recurso, Autor), Díaz, A. (Proveedor de metadatos, Autor), Mesa, L. (Autor), Acevedo, O. (Autor), Grégory, J. (Autor), Calonge, B. (Autor), Fajardo, F. (Autor), Moreno, R. (Autor), Rodríguez, M. (Autor).Versión 10.0. http://i2d.humboldt.org.co/ceiba/resource.do?r=paipa_faunaflora_2014

- Flowen. (2020, October 5). *Ph Y oxígeno en el agua potable*. pH y oxígeno en el agua potable. https://flowen.com.pe/ph-y-oxigeno-en-el-agua-potable/

- Gobierno de México. (n.d.). *Secretaría de Educación de Veracruz*. III. El agua: de la sierra a la planicie. https://www.sev.gob.mx/servicios/publicaciones/colec_veracruzsigloXXI/VeracruzTierraCienagas/Capitulo02.pdf

- Gonzales, C., & Maestre, J. (n.d.). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. https://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/M%C3%A9todos-de-Colecta-identificaci%C3%B3n-y-an%C3%A1lisis-de-comunidades-biol%C3%B3gicas.compressed.pdf

- GOMEZ, J. D., GONZALES, J. M., BERMUDEZ, A. C., RODRIGUEZ, E. P., & CORTES, D. M. (n.d.). *ESTUDIO DE CALIDAD HIDRICA Y BIOTICA DEL LAGO SOCHAGOTA-MUNICIPIO DE PAIPA*.

- Gualdrón, L. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos. Retrieved 27 September 2022, from https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/15263

- Gutiérrez-Bohórquez, A. M. (2010). Gutiérrez-Bohórquez, Angela María. 2009. Avifauna asociada al Lago 1 Termopaipa III y al humedal de la vereda La Esperanza del Municipio de Paipa, Boyacá: Pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Ornitología Colombiana, (9), 76-76.

- Grupos de investigación Gestión de Recursos Hídricos, G. A. (2020). RESILIENCIA Y GESTIÓN DE SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS ESTRATÉGICOS PARA LA ACTIVIDAD. Tunja.

- H. A. Muhlhauser, 6. Generalidades sobre el uso de índices de cambios ecológicos en ecosistemas acuáticos temperados [en línea], Santiago de Chile, 2014. Disponible en Internet: http://www.fao.org/docrep/008/ad773s/AD773S07.htm.

- Índice de Calidad del Agua en Corrientes Superficiales (ICA) - IDEAM. (n.d.). Recuperado en Noviembre 22, 2022, de http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031

- Internet de las cosas desde abajo: Dispositivos y controladores físicos. (1970, January 01). Retrieved October 24, 2022, from http://techdatatsmex.blogspot.com/2019/02/internet-de-las-cosas-desde- abajo.html

- Introducción al Termalismo. (n.d.). Retrieved October 24, 2022, from https://es.scribd.com/doc\textbf{ument/252129968/Introduccion-Al-Termalismo

- INSTITUTO ANDALUZ DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA, PESQUERA, ALIMENTARIA Y DE LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA (IFAPA). (2008.). *Plataforma de Asesoramiento y transferencia del conocimiento agrario y pesquero en andalucía*. La salinidad del agua de riego y del suelo | SERVIFAPA - Plataforma de asesoramiento y transferencia del conocimiento agrario y pesquero en andalucía. https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/80d4684b-9ca2-4e96-9370-5ffb4e098b53

- Isaac, C. et al. (2017). La integración de herramientas de gestión ambiental como práctica sostenible en las organizaciones. Scielo, 1.

- Lista de verificación de Paipa. Lista de verificación de Paipa - Aves (2018-2023). (n.d.). https://colombia.inaturalist.org/check_lists/31241-Paipa-Check-List?commit=Filtro&establishment_means=any&iconic_taxon=3&observed=any&occurrence_status=any&page=1&rank=all&taxonomic_status=all&threatened=any&view=photo

- lopez. (2023, March 23). *https://plantae.garden/agua-de-riego-agricola/* . Agua de riego agrícola-Parámetros a tener en cuenta-Acumulación de sales-(II). https://plantae.garden/agua-de-riego-agricola/

- Martínez Mora, C. Diagnóstico ambiental preliminar de la Central Termoeléctrica de Paipa. Retrieved 23 September 2022, from https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjjjsDZi6r6Ah

- Marco, L., Azario, R., Metzler, C., & García, M. del carmen. (n.d.). *La Turbidez Como indicador Básico de Calidad de Aguas ...* La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf

- Martínez-Cruz, P., Hernández-Martínez, A., Soto-Castor, R., Esquivel Herrera, A., & Rangel Levario, J. (2006). Empleo de Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas

de un canal experimental de Xochimilco, México. Hidrobiológica. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972006000300001&script=sci_abstract

- Mateus Acero, D. (2016, noviembre 23). Diagnóstico del Proceso de impacto ambiental en el humedal de techo, Localidad de Kennedy - Bogotá D.C (Periodo 1994-2016). Recuperado el 24 de octubre, 2022, de https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/15464

- Máximo Gutiérrez, M. (2020, December 01). Diseño en sensores de conductividad eléctrica para medida de Calidad del Agua en soluciones de suelo. Retrieved October 24, 2022, from https://repositorio.upct.es/handle/10317/9038

- CAR, (2018). Metodologías de Toma de muestras para degradación de Suelos y Envío a Retrieved October 31, 2022, de https://www.car.gov.co/uploads/files/5bdc6f1761897.pdf

- OMS. (2006). Guidelines for drinking- water quality

- *iucn*. IUCN. (n.d.). https://www.iucn.org/es

- DS18B20 sensor de temperatura Para líquidos Con Arduino. (2022, Enero 13). Retrieved Noviembre 13, 2022, de https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/

- Pérez, A.; & Rodríguez, A. 2008. Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. Rev. Biol. Trop.,Vol. 56, Num. 4, pp. 1905-1918.

- Perez, E. (2015, Octubre). *Los sistemas SCADA en la automatización industrial*. Scielo. https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v28n4/0379-3982-tem-28-04-00015.pdf

- *Ph ¿qué es y cómo afecta en el agua? Purificación*. Carbotecnia. (2022, April 18). https://carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/que-es-el-ph-del-agua/

- Pontificia Universidad Javeriana, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (n.d.). Libro-Rojo-de-Aves-de-Colombia-Volumen-I. ... Libro rojo de aves de Colombia - VOLUMEN I. BOSQUES HÚMEDOS DE LOS ANDES YLA COSTA PACÍFICA. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Libro-Rojo-de-Aves-de-Colombia-Volumen-I.pdf

- QUINTANA, B., & SARABIA, J. (2018). ARQUITECTURA PARA EL SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS CAÑOS Y LAGOS INTERNOS DEL DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS SOPORTADA EN TECNOLOGÍAS DE INTERNET DE LAS COSAS. Repositorio.unicartagena.edu.co. Retrieved 19 October 2022, from https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/8500/TESIS%20QUINTANA%20-%20SARABIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Quiroga, E. M. (n.d.). *Valoración económica del humedal Jaboque mediante la aplicación de la metodología de precios hedónicos*.

- Quispe, J. (2016). *Evaluacion de la Calidad Fisico Quimica y ...* repositorio.umsa.bo. https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/6781/T-2215.pdf?sequence=1

- RESOLUCIÓN No. (3617 - 30 oct 2019). (2022). Retrieved 27 September 2022, from http://file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/Resolucion-No-3617-de-2019%20permiso%20vertimientos%20ITP.pdf

- Reyes, T. (2018). *DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR), DEL MUNICIPIO DE MADRID - CUNDINAMARCA.* ucatolica.edu.co. https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/4dbb3e9e-0522-4386-a27c-ccf3dd151bc2/content

- Ricardo, G., Jimenez, R., Patricia, C., & Jimenez, J. (2021). Atenuación natural inducida por represamiento de aguas hidrotermales por dilución de agua dulce de escorrentía y transformaciones biogeoquímicas de sedimentos (Lago Sochagota, Colombia. Recuperado en 27 September 2022, de

- Reid, W., Mooney, H., & Crooper, A., et al., (2007, March 30). Evaluación de los Ecosistemas del Milenio - Informe de Síntesis. Retrieved November 21, 2022, from https://www.millenniumassessment.org/es/About.html

- Roldan, G. (6 de abril de 2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Obtenido de Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v40n155/v40n155a07.pdf

- Ruiz, A., Jiménez, J., Abad, I., & Jiménez, R. (2019). Registro de eventos contaminantes en los sedimentos del humedal salino de Laguna Honda (Jaén, España). Semineral.es. Retrieved 27 September 2022, from

http://www.semineral.es/websem/PdfServlet?mod=archivos&subMod=publicaciones&archivo=MACLA%2024%20RONDA%202019-79-80.pdf

- Saenz, J., & Matías, I. (2015, June 26). Medidor de pH. Retrieved October 24, 2022, from https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/19226/TFG%20Jorge%20Montiel%20Saenz.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Saravanan, K., Anusuya, E., Kumar, R., & Son, L. H. (2018, August 29). *Real-time water quality monitoring using internet of things in SCADA - environmental monitoring and assessment*. SpringerLink. https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-018-6914-x

- Sensores de Temperatura. (n.d.). Retrieved October 24, 2022, from https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14092/mod_resource/content/0/temper atura.pdf

- Setter. L. Y cols. 1959. Radioactivity of surface waters in the United States. J.Am.Water Works Assoc., 53:704

- Senhadji-Navarro, K., Ruiz-Ochoa, M. A., & Rodríguez Miranda, J. P. (2017). Estado ecológico de algunos humedales colombianos en los últimos 15 años: una evaluación prospectiva. Colombia forestal, 20(2), 191-200.

- SECRETARIA DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (REPUBLICA FEDEREAL DE MÉXICO). (n.d.). *(PDF) Introducción a los servicios ambientales*. Introducción a los servicios ambientales. https://www.researchgate.net/publication/304629727_Introduccion_a_los_servicios_ambientales

- Sanchez, L., & Torres, Y. (2020, Noviembre 20). ESTUDIO AMBIENTAL PRELIMINAR DE LAS MICROALGAS DE ORIGEN TERMÓFILO SALINO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL. ESTUDIO DE CASO AGUAS TERMOMINERALES DE PAIPA-BOYACÁ. Retrieved Noviembre 15, 2022, de https://repositorio.unbosque.edu.co/

- Tautz-Weinert, J. (2006). Using SCADA data for wind turbine condition monitoring – a review. https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/iet-rpg.2016.0248

- Toro, M. (2024, January 4). *Humedales, Guardianes de La Biodiversidad*. Ethic. https://ethic.es/2024/01/humedales-guardianes-de-la-biodiversidad/

- n.d. (n.d.). UNIDAD 4: Aguas Subsuperficiales y Subterráneas. https://www.ugr.es/~elenasb/teaching/tema_flujomedioporoso.pdf

- Nuwater. (2023, July 9). *Gestión del Agua: Aprovechar El Poder de la ia para las operaciones*. NuWater Water Treatment Solutions South Africa. https://nuwater.com/es/revolutionizing-water-management-harnessing-the-power-of-artificial-intelligence-for-sustainable-and-efficient-operations/#:~:text=La%20IA%20puede%20analizar%20patrones,equitativo%20a%20los%20recursos%20h%C3%ADdricos.

- Waterproof_ds18b20_digital_temperature_sensor_. (n.d.). Retrieved November 13, 2022, from https://wiki.dfrobot.com/Waterproof_DS18B20_Digital_Temperature_Sensor_

- *What are wetlands?*. ramsar.org. (1971). https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/info2007-01-e.pdf

- Valdez, C., & Ruiz, L. (2011). MARCO CONCEPTUAL Y CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS. Retrieved 27 September 2022, from https://www.researchgate.net/publication/235985361_Marco_conceptual_y_clasif icaci

- Valiente, N., Sanz, D., Castaño, S., & Gomez, J. (2015). *Humedales en zonas continentales áridas y semiáridas: lagos salados*. PONENCIA TEMA 1 HUMEDALES EN ZONAS CONTINENTALES ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS: LAGOS SALADOS. https://www.researchgate.net/publication/356629805_Hidropolitica_en_las_zonas_aridas_y_semiaridas_de_los_Andes_de_America_del_Sur

- VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO DE ESPAÑA. (n.d.). *Plan estratégico de Humedales a 2030*. Plan Estratégico de Humedales a 2030. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/planes-y-estrategias/planestrategicodehumedalespublicacionoficial_tcm30-548431.pdf

- Weatherspark.com. El clima en Paipa, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia) - Weather Spark. (n.d.). Retrieved October 20, 2022, from https://es.weatherspark.com/y/24335/Clima-promedio-en-Paipa-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o

- Zaev, E., Babunski, D., & Tuneski, A. (2016, December 6). *SCADA system for real-time measuring and evaluation of river water ...* SCADA System for Real-time Measuring and Evaluation of River Water Quality . https://ieeexplore.ieee.org/document/7525708

- Zúñiga, M.C y W. Cardona. (2009). Adaptación del BMWP para ríos de Colombia. Simposio de Macroinvertebrados Acuáticos. Congreso de la sociedad Colombiana de Entomología. Memorias.

12. ANEXOS

12.1 Anexo A. Código OTA (para conexión inalámbrica)

```
#define ESP32_RTOS  // Librería en caso de utilizarse la función OTA
para otra referencia de ESP 32

#include "OTA.h"

#define mySSID "Moto E (4) Plus 6627" // Nombre de la red de internet
#define myPASSWORD "AfEf2020*"        // Clave de la red de internet

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Booting");

  setupOTA("RAKESP32-1", mySSID, myPASSWORD); // Ajuste del OTA
colocando (Nombre de la red OTA, Usuario de red de internet, Clave red
de internet)
}

void loop() {
#ifdef defined(ESP32_RTOS) && defined(ESP32)
#else // If you do not use FreeRTOS, you have to regulary call the
handle method.
  ArduinoOTA.handle();
#endif
}
```

12.2 Anexo B. Código comunicación y funciones de sensores

```
//WiFi
#include "ThingSpeak.h"
#include "WiFi.h"
#include "OTA.h"

#define mySSID  "Moto E (4) Plus 6627" //nombre red
#define myPASSWORD  "AfEf2020*" //contraseña

unsigned long channelID = 2242805; // ID de canal de ThingSpeak
```

```
const char* WriteAPIKey = "ESZJRGY6HDYDRN1R"; // APIKEY del canal de
ThingSpeak

WiFiClient  cliente;

//TDS
#define TdsSensorPin  25 // pin donde se conecta el sensor
#define VREF 3.3     // referencia de voltaje del sensor
#define SCOUNT  30           // suma de los puntos que muestras
int analogBuffer[SCOUNT];    // guardar el valor análogo sacado en la
matriz
int analogBufferTemp[SCOUNT];
int analogBufferIndex = 0,copyIndex = 0;
float averageVoltage = 0,tdsValue = 0,temperature = 25;
//////////////
//Turbidity
int sensorPin = 33; //A0 FOR ARDUINO/ 33 FOR ESP// pin donde se
conecta el sensor
/////////////
//pH
const int potPin=32; // pin donde se conecta el sensor
float ph; // variable definida
float Value=0; // segunda variable definida
/////////////

void setup()
{
Serial.begin(115200); // comunicación serial, para el esp el valor
serial sería de 115200
setupOTA ("ESP1",mySSID, myPASSWORD); // Ajuste del ota previamente
usado en el código anterior anexo A

//WiFi (función para conexión a internet)


WiFi.begin(mySSID, myPASSWORD);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
```

```
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("Wifi conectado!");

  ThingSpeak.begin(cliente); // enlace con los servidores de
ThingSpeak

/////

//TDS
    pinMode(TdsSensorPin,INPUT); // ajuste sensor para valores que
entren al sensor
 ////////////
 //Turbidity

    pinMode(sensorPin,INPUT); // ajuste sensor para valores que entren
al sensor
 ////////////
 //pH

    pinMode(potPin,INPUT); // ajuste sensor para valores que entren al
sensor
/////////////
}

void loop()
{

 #ifdef defined(ESP32_RTOS) && defined(ESP32) // función para usar OTA
 #else
 ArduinoOTA.handle();
 #endif

//pH // función para sensor pH
Value= analogRead(potPin);
    Serial.print(Value);
    Serial.print(" | ");
    float voltage=Value*(3.3/4095.0);
```

```
    ph=(3.3*voltage);
    Serial.println(ph);
    delay(500);
    ThingSpeak.setField (1,ph);
////////////
//Turbidity // Función para sensor de turbidez, se define un rango de
valores analogicos entre 208 a 300 que es un rango aproximado para la
medición de líquidos
int sensorValue = analogRead(sensorPin);
  Serial.print(sensorValue);
  int turbidity = map(sensorValue, 0, 208, 300, 0);
   Serial.println(turbidity);
   ThingSpeak.setField (2,turbidity);

//TDS  // Función de sólidos disueltos
   static unsigned long analogSampleTimepoint = millis();
   if(millis()-analogSampleTimepoint > 40U)     //every 40
milliseconds,read the analog value from the ADC
   {
     analogSampleTimepoint = millis();
     analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(TdsSensorPin);
//read the analog value and store into the buffer
     analogBufferIndex++;
     if(analogBufferIndex == SCOUNT)
         analogBufferIndex = 0;
   }
   static unsigned long printTimepoint = millis();
   if(millis()-printTimepoint > 800U)
   {
      printTimepoint = millis();
      for(copyIndex=0;copyIndex<SCOUNT;copyIndex++)
        analogBufferTemp[copyIndex]= analogBuffer[copyIndex];
      averageVoltage = getMedianNum(analogBufferTemp,SCOUNT) *
(float)VREF / 4096.0; // lee el valor analogo mas estable por el
algoritmo del filtro de la media, y lo convierte en un valor de
voltaje
```

```
      float compensationCoefficient=1.0+0.02*(temperature-25.0);
//formula para la compensación de temperatura (si es necesario):
fFinalResult(25^C) = fFinalResult(current)/(1.0+0.02*(fTP-25.0));
      float
compensationVolatge=averageVoltage/compensationCoefficient;
//compensación de temperatura

tdsValue=(133.42*compensationVolatge*compensationVolatge*compensationV
olatge - 255.86*compensationVolatge*compensationVolatge +
857.39*compensationVolatge)*0.5; //convert voltage value to tds value
      //Serial.print("voltage:");
      //Serial.print(averageVoltage,2);
      //Serial.print("V   ");
      Serial.print("TDS Value:");
      Serial.print(tdsValue,0);
      Serial.println("ppm");
      ThingSpeak.setField (3, tdsValue);

   }

     ThingSpeak.writeFields(channelID,WriteAPIKey);
       Serial.println("Datos enviados a ThingSpeak!");
       delay(14000);

}

int getMedianNum(int bArray[], int iFilterLen)
{
      int bTab[iFilterLen];
      for (byte i = 0; i<iFilterLen; i++)
      bTab[i] = bArray[i];
      int i, j, bTemp;
      for (j = 0; j < iFilterLen - 1; j++)
      {
      for (i = 0; i < iFilterLen - j - 1; i++)
          {
        if (bTab[i] > bTab[i + 1])
            {
```

```
        bTemp = bTab[i];
            bTab[i] = bTab[i + 1];
        bTab[i + 1] = bTemp;
         }
      }
      }
      if ((iFilterLen & 1) > 0)
    bTemp = bTab[(iFilterLen - 1) / 2];
      else
    bTemp = (bTab[iFilterLen / 2] + bTab[iFilterLen / 2 - 1]) / 2;
      return bTemp;


}
```

12.3 Datos de parámetros de los monitoreos realizados a los puntos de muestreo (filtrados y demás).

Turbidez datos:

Turbidez base de datos - 3.xlsx

Turbidez base de datos - 2.xlsx

Turbidez base de datos - 1.xlsx

TDS datos:

TDS base de datos - 1.xlsx

TDS base de datos - 3.xlsx

TDS base de datos - 2.xlsx

pH datos:

pH proyecto base de datos - 1.xlsx

Ph base de datos - 3.xlsx

Ph base de datos - 2.xlsx

12.4 Protocolo de pruebas

12.4.1 Prueba 1: verificación de encendido del sistema.

Procedimiento:

1. Conectar el sistema a la alimentación, preferiblemente con mínimo 5 V, en este caso conectar utilizando una planta solar mediante un cable de tipo USB.

2. Oprimir el botón de encendido de la planta, verificando que el led de la planta solar y del equipo de monitoreo estén encendidos.

12.4.2 Prueba 2: verificación de toma de datos al software.

Procedimiento:

1. Verificar que el sistema esté conectado a internet ya sea con un celular compartiendo redes móviles mediante la opción “mobile hotspot” o en caso de utilizar un modem revisar que esté encendido, verificando que se encuentre una óptima señal de internet con el uso de otro dispositivo externo.

2. Finalmente revisar en el software ThingSpeak (para computador) o ThingViewer (para dispositivos móviles) que se esté cargando los datos, recargando cada 15 segundos en las aplicaciones aproximadamente.

12.4.3 Calibración de sensores (sensor de pH).

Procedimiento:

1. Para la calibración del sensor de pH se debe de primero se solubiliza en varios vasos con agua destilada de varios sobres con distintos pH.

2. Se empieza a realizar varias mediciones con el sensor, ajustándose el potenciómetro que lo compone, para que alcance un valor aproximado al valor de pH que le corresponde a cada sobre.

12.4.4 Calibración de sensores (sensor de turbidez).

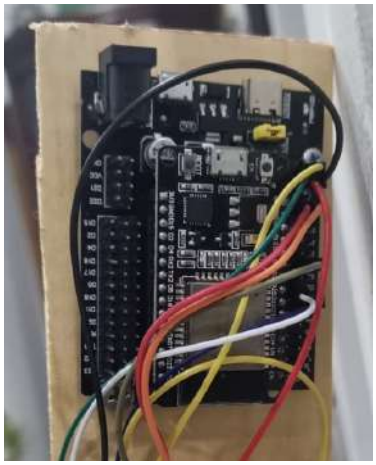
Procedimiento:

1. Mediante programación usando la función “map” en Arduino, se limita el rango de valores analógicos que recibirá (datos de entrada) el sensor de turbidez, y comprobar que el sensor de como datos de salida un rango entre 0 a 5, en caso tal que de un valor por fuera del rango (que generalmente es un valor mayor a 5) es debido a la excesiva turbidez que se encuentra el líquido a medir, por lo que el sensor se satura y da algunos datos superiores a 5.
2. Probar en varios líquidos, uno con poca turbidez (puede ser agua potable), y otro con mucha turbidez (agua contaminada y o con barro), el agua potable debe de dar un valor entre 0 a 2 y el agua turbia (sucia y/o contaminada) debe de dar un valor entre 3 a 5.

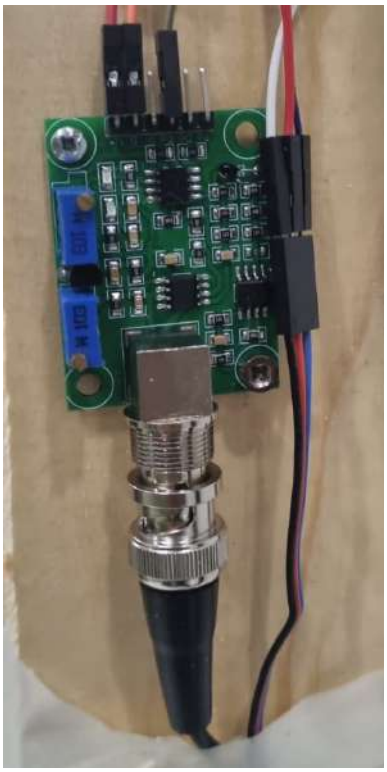
12.4.5 Calibración de sensores (sensor de tds).

Para el caso del sensor de tds, simplemente con el código definido previamente es suficiente, ya que no hay necesidad de limitar rangos específicos que los otros sensores si necesitaban de ajustarse, aunque hay una función de código para usarse en Arduino llamado “cal:tds value”, el cual hace referencia a calibración y el número de tds el cual se va aprobar (agua, líquidos ácidos, entre otros) , por lo que si el sensor de tds falla y da datos erróneos según el líquido que se está midiendo usar la función “cal:tds value”.

12.5. Anexos de componentes electrónicos ensamblados y demás imágenes del sistema

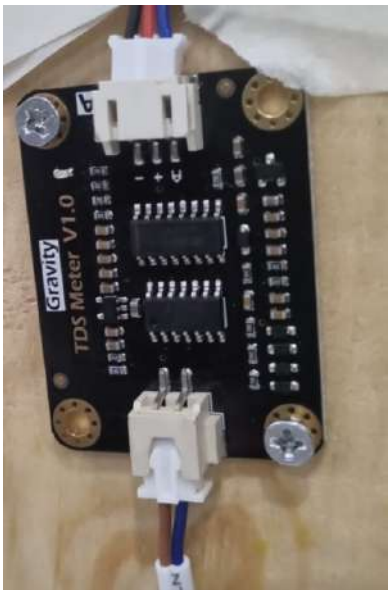


Anexo D. Microcontrolador ensamblado (ESP-32)



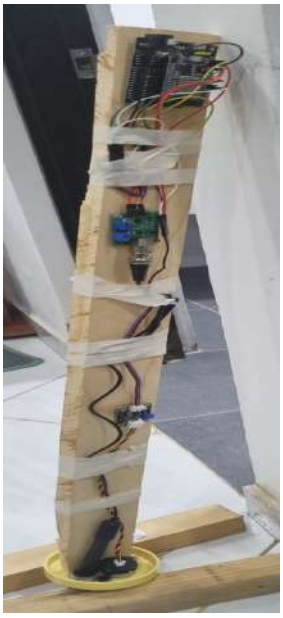
Anexo E. Sensor de pH ensamblado

Anexo F. Sensor de turbidez ensamblado



Anexo G. Sensor de TDS ensamblado

Anexo H. Sondas de los sensores (turbidez, pH y TDS) ensamblados.



Anexo I. Ensamblaje eléctrico del sistema (sensores y microcontrolador).

Anexo J. Ensamblaje de parte electrónica junto con el tubo de pvc

Anexo K. Foto 1 con sistema en uno de los puntos

Anexo L. Foto 2 con sistema en uno de los puntos

12.6 Video donde se observa el sistema en uno de los puntos (SH) de monitoreo:

https://youtu.be/RTg75biqzhA?si=PzU893TaqnFpOHzp

12.7 Video explicativo de funcionamiento (prueba del sistema):

https://youtu.be/zOMUHv2Sc5o?si=sy7OdIOJWtzu4yJL

12.8 Anexo link excel comparativo:
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1PNjr8HFYbg3v6wn-AuoSeA9bwsMFK9Wf/edit?usp=sharing&ouid=113438281043055373181&rtpof=true&sd=true

12.9 Manual de usuario

Manual de usuario sistema de monitoreo mediante el uso de tecnología SCADA

Introducción

Bienvenido al manual de usuario del sistema de monitoreo mediante uso de tecnología SCADA, el fin del manual de usuario es dar a conocer las ventajas y uso del sistema de monitoreo, el cual fue creado con el fin de facilitar la tarea de recolección de información en los momentos que se requiera un monitoreo continuo. El sistema de monitoreo, como su nombre lo dice, utiliza la tecnología tipo SCADA, el cual envía la información mediante el uso de una señal de internet que luego es almacenado y visualizado en un software que funciona para el uso de SCADA (en este caso en específico se utiliza el software ThingSpeak, sin embargo, se pueden encontrar varias opciones con sus respectivas características específicas).

Requisitos del Sistema

1. Asegurese antes del primer encendido del sistema, que la fuente de alimentación cumpla con los requerimientos establecidos para el sistema, las características que debe de tener la fuente de alimentación para que funcione, mínimo debe de tener 5 V con 4 AH, ya que si no está en el rango de consumo mencionado el sistema no ejecutará sus funciones. Por lo que es preferible alimentar el sistema de monitoreo en el sistema eléctrico local, en caso contrario de estar en algún lugar remoto, usar una batería o planta con las características de consumo mencionadas anteriormente.

2. Asegúrese de que la parte electrónica siempre esté cubierta para evitar cortos y/o quemas en los sensores.

3. Asegúrese que los sensores en caso de realizar un monitoreo en algún lugar nuevo, siempre se debe de hacer una limpieza con agua destilada a las sondas para evitar malas lecturas.

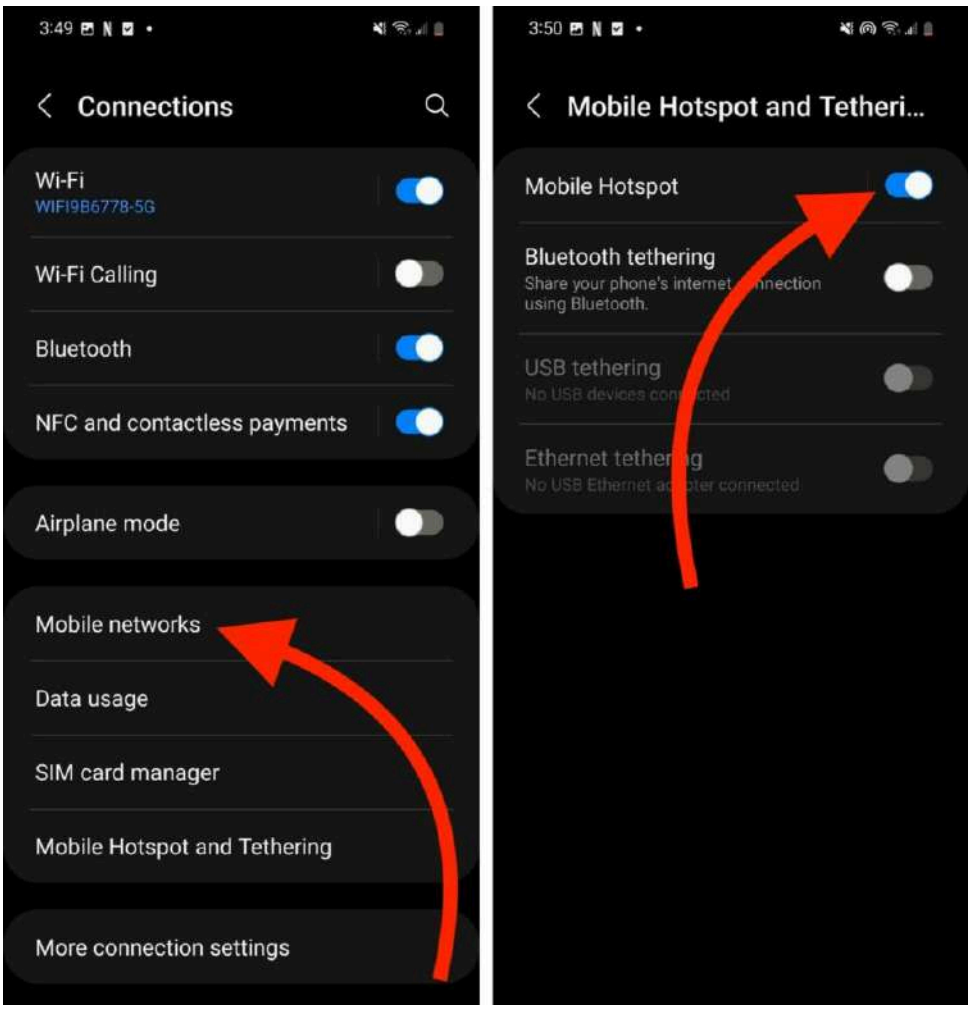
4. En caso de cambiar algún sensor para cambiar el parámetro a medir, asegúrese de su debida calibración.

5. Asegúrese de tener una óptima conexión a internet, ya que si no se encuentra con una señal estable de internet, habrá pérdida de los datos monitoreados.

Instalación del sistema e inicio

1. Revise debidamente la señal a conectar, en caso de haber programado el sistema con una señal red móvil, revisar que esté compartiendo mediante la opción “mobile hotspot”, y en caso de usar modem, revisar que esté siempre esté encendido. En caso de utilizar la opción de “mobile hotspot” diríjase a configuración - conexiones

o connections, luego a “redes móviles o mobile networks” para finalmente ir a la opción “mobile hotspot”, en otras versiones de celulares solo diríjase a configuración - conexiones y finalmente puede encontrar la opción “mobile hotspot” (*consultar con los fabricantes para programar el sistema con la señal de internet a utilizar*).



Anexo M. Imagen con pasos para usar la opción “mobile hotspot” para compartir señal de internet

2. Instale el sistema en el lugar de monitoreo o zona a recolectar datos

3. Conecte el sistema a la fuente de alimentación escogido, en caso de usar una planta o batería, enciéndela, en caso de usar solo la red eléctrica local únicamente conectela, revisando que cumpla con los requerimientos de consumo mencionados anteriormente.

4. Finalmente, revise el software donde se almacena los datos, ya que el sistema automáticamente estará enviando los datos al software (siempre y cuando cumpla con el paso 1 mencionado)