UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley Nº 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS

SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA CARACTERIZACIÓN EN TIEMPO REAL DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO DEL RIO OPAMAYO EN EL VALLE DE PAMPAS – TAYACAJA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:
BACH. JOSÉ LUÍS HUAMANÍ RAMOS
BACH. HERNÁN PACHECO MEZA

HUANCAVELICA, PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N ° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas, a los 17 días del mes de setiembre del año 2019, a horas 11:00 Hrs., se reunieron; el Jurado Calificador, conformado de la siguiente manera:

Presidente: Dr. Javier Francisco MARQUEZ CAHARENA

Secretario: Dr. Marco Aurelio ROSARIO VILLARREAL

Vocal: Ing. Lucio QUISPE CARRION

Ratificados con Resolución N° 324-2019-FIES-UNH; del: proyecto de investigación (Tesis), Titulado: "SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA CARACTERIZACIÓN EN TIEMPO REAL DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO DEL RIO OPAMAYO EN EL VALLE DE PAMPAS - TAYACAJA"

Cuyos autores son los graduado (s):

BACHILLER (S): José Luis HUAMANÍ RAMOS

Hernan PACHECO MEZA

A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del proyecto de investigación, antes citado.

Finalizado la evaluación; se invito al público presente y a los sustentantes a abandonar el recinto; y, luego de una amplia deliberación por parte del jurado, se llegó al siguiente el resultado:

APROBADO [X] POR MAYORÍA

DESAPROBADO [ ]

En conformidad a lo actuado firmamos al pie.

Presidente

Secretario

Vocal

TÍTULO:

SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA CARACTERIZACIÓN EN TIEMPO REAL DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO DEL RIO OPAMAYO EN EL VALLE DE PAMPAS – TAYACAJA

AUTORES:

BACH. JOSÉ LUÍS HUAMANÍ RAMOS
BACH. HERNAN PACHECO MEZA

ASESOR:

Mg. Hipólito CARBAJAL MORÁN

Dedicatoria

Esta investigación lo dedicamos a los interesados en la conservación del medio ambiente acuático desde la perspectiva del empleo de la tecnología electrónica.

Índice

Dedicatoria vi
Índice de tablas xi
Índice de figuras xii
Resumen xiv
Abstract xv
Introducción xvi
CAPÍTULO I 1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1
1.1. Descripción del problema 1
1.2. Formulación del problema 3
1.2.1. Problema general 3
1.2.2. Problemas específicos 3
1.3. Objetivos 3
1.3.1. Objetivo general 3
1.3.2. Objetivos específicos 3
1.4. Justificación 3
1.4.1. Justificación tecnológica 3
1.4.2. Justificación social 4
1.4.3. Justificación ecológica 4
1.5. Limitaciones 4
CAPÍTULO II 5
MARCO TEÓRICO 5
2.1. Antecedentes 5
2.1.1. A nivel internacional 5
2.1.2. A nivel nacional 6
2.1.3. A nivel local 9
2.2. Bases teóricas 10
2.2.1. Contaminación del Agua 10
2.2.2. Potencial de hidrógeno (pH) 11

2.2.2.1. Importancia del pH *11*

2.2.2.2. Causas que originan un cambio del pH en el agua *12*

2.2.2.3. Valores aceptables *12*

2.2.3. Transmisores y sensores de pH 15

2.2.3.1. Ecuación de Nernst *15*

2.2.3.2. Medición de pH con electrodos de vidrio *18*

2.2.4. Índice de valoración de la calidad de agua en función del parámetro pH 22

2.3. Bases conceptuales 23

2.3.1. Río Opamayo 23

2.3.1.1. Ubicación y localización *23*

2.3.1.2. Historia *26*

2.3.1.3. Comportamiento hídrico anual *29*

2.3.1.4. Contaminación antrópica *31*

2.3.2. ECA-agua 34

2.3.2.1. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático *34*

2.3.3. PLC Compact Logix 1769-L32E 35

2.3.3.1. Estructura básica del PLC 1769-L32E *35*

2.3.3.2. Módulo de entrada digital 1769-IQ16 ..... *37*

2.3.3.3. Módulo de salida digital 1769-OW8I *40*

2.3.3.4. Módulo de entrada analógico 1769-IF4 ..... *41*

2.3.3.5. Programación del PLC *42*

2.3.4. Software para el tratamiento de datos 44

2.3.4.1. Arduino IDE *44*

2.3.4.2. Thingspeak *45*

2.3.4.3. Labview NXG *46*

2.3.4.4. Módulo web de LabVIEW NXG *47*

2.3.4.5. Google Maps *48*
2.3.4.6. KepServer EX *49*
2.3.4.7. IGSS *50*
2.4. Definición de términos 51
2.5. Hipótesis 53
2.5.1. Hipótesis general 53
2.5.2. Hipótesis específica 53
2.6. Definición operativa de variables e indicadores 54
2.6.1. Variable independiente 54
2.6.2. Variable dependiente 54
CAPÍTULO III 55
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 55
3.1. Tipo y nivel de investigación 55
3.1.1. Tipo de investigación 55
3.1.2. Nivel de investigación 55
3.2. Método de investigación 55
3.3. Diseño de investigación 57
3.4. Población y muestra 58
3.4.1. Población 58
3.4.2. Muestra 58
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 59
3.5.1. Técnicas 59
3.5.2. Instrumentos de recolección de datos 60
3.5.2.1. Sensores *61*
3.5.2.2. Módulo de adquisición, procesamiento y comunicación de datos *64*
3.5.2.3. Interface HMI local con PLC CompactLogix L32E *65*
3.5.2.4. Servidor Web ThingSpeak *67*
3.5.2.5. Interface con LabVIEW NXG Web *67*
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos 70

CAPÍTULO IV 71
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 71
4.1. Análisis de información 71
4.2. Prueba de Hipótesis 79
4.3. Discusión de resultados 84
CONCLUSIONES 86
RECOMENDACIONES 87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 88
APÉNDICE 92
Matriz de consistencia 93
Apéndice 1. Codificación de algoritmos 94
Apéndice 2. Datos obtenidos 113
Apéndice 3. Fotografías 118

Índice de tablas

Tabla 2.1. Efectos de los niveles de pH en la vida acuática. 12
Tabla 2.2. Especificaciones de sondas. 19
Tabla 2.3. Especificaciones del circuito electrónico. 19
Tabla 2.4. Pines del circuito electrónico. 20
Tabla 2.5. Aforo de ríos tributarios del río Opamayo 29
Tabla 2.6. Características técnicas de procesador CompactLogix 1769-L32E. 36
Tabla 2.7. Características técnicas del módulo de entradas digitales 1769-IQ16.. 39
Tabla 2.8 Características técnicas del módulo de salidas digitales 1769-OW8I. . 40
Tabla 2.9. Características técnicas del módulo de entradas analógicas IF4. 42
Tabla 2.10. Definición operativa de variables e indicadores. 54
Tabla 3.1. Ubicación de los puntos de monitoreo 59
Tabla 3.2. Clasificación del ICA propuesto por Brown. 70
Tabla 4.1. Resultado de las mediciones en los puntos de monitoreo en época de estiaje. 71
Tabla 4.2. Estadísticos descriptivos para la variable pH medidos en las aguas del río Opamayo en época de estiaje. 73
Tabla 4.3. Prueba “t” para las muestras independientes en época de estiaje. 73
Tabla 4.4. Resultado de las mediciones en los puntos de monitoreo en época de avenida. 75
Tabla 4.5. Estadísticos descriptivos para la variable pH medidos en las aguas del río Opamayo en época de avenida. 77
Tabla 4.6. Prueba “t” para las muestras independientes en época de avenida. 77
Tabla 4.7. Dependencia de pH con la distribución geoespacial y épocas de estiaje y avenida. 79
Tabla 4.8. Prueba de independencia entre las filas y columnas (Chi-cuadrado). .. 80
Tabla 4.9. Tiempo de demora de caracterización de pH con el sistema electrónico implementado. 82
Tabla 4.10. Estadísticos descriptivos. 83
Tabla 4.11. Prueba “t” de Student para la muestra del tiempo de demora de caracterización de pH. 83

Índice de figuras

Figura 1.1. Trayectoria del rio Opamayo (Fuente: Google Earth)..... 2
Figura 2.1. Representación del potencial de hidrógeno (pH) 11
Figura 2.2. Medidor de pH con sonda y electrodo de vidrio. 18
Figura 2.3. Ecuación de conversión entre voltaje y pH medido. y= -m * x + b ... 21
Figura 2.4. Valoración de la calidad del agua en función del pH. 23
Figura 2.5. Laguna de Matacencca, donde nace el rio Opamayo 24
Figura 2.6. Trayectoria del rio Opamayo. 24
Figura 2.7. Desembocadura del rio Opamayo al rio Mantaro en el límite del distrito de Daniel Hernández y Colcabamba. 25
Figura 2.8. Riachuelo Atoc afluente del rio Opamayo. 25
Figura 2.9. Localización del rio Opamayo en la subcuenca del río Mantaro. 26
Figura 2.10. Caudal anual del rio Opamayo del año 2010 al 2014..... 30
Figura 2.11. Desborde en época de lluvias del rio Opamayo. 30
Figura 2.12. Rio Opamayo colmatado con hiervas y desechos. 31
Figura 2.13. Rio Opamayo en época de estiaje aguas arriba 31
Figura 2.14. Pozo de oxidación del distrito de Ahuaycha 32
Figura 2.15. Contaminación de las aguas del rio Opamayo por las aguas provenientes del pozo de oxidación de Ahuaycha. 32
Figura 2.16. Pozo de oxidación del distrito de Daniel Hernández..... 33
Figura 2.17. Contaminación del rio Opamayo por aguas provenientes del pozo de oxidación del distrito de Daniel Hernández..... 33
Figura 2.18. Características del Controlador 1769-L32E 35
Figura 2.19. Conexión Ethernet del PLC. 37
Figura 2.20. Módulo de entrada digital 1769-IQ16 38
Figura 2.21. Módulo de salidas digitales 1769-OW8I. 40
Figura 2.22. Módulo de entrada analógico 1769-IF4 41
Figura 2.23. Presentación del software de programación RSLogix 5000..... 43
Figura 2.24. Software de comunicación RSLinx Classic. 44
Figura 2.25. Interface de programación del Arduino IDE 45

Figura 2.26. Diagrama de operación de Thingspeak 46
Figura 2.27. Características esenciales de LabVIEW NXG para Pruebas Automatizadas. 47
Figura 2.28. El Módulo Web de LabVIEW NXG permite a los usuarios de LabVIEW crear interfaces con java script. 48
Figura 2.29. Ubicación con Google Maps. 48
Figura 2.30. Posibilidades de comunicación con KepServerEX. 50
Figura 2.31. Interface IGSS de Schneider 51
Figura 3.1. Establecimiento de puntos de muestreo. 56
Figura 3.2. Diagrama general del sistema electrónico implementado. 60
Figura 3.3. Diagrama de flujo del algoritmo de calibración del sensor de pH. 61
Figura 3.4. Diagrama de flujo del algoritmo de lectura de datos con el sensor de pH. 62
Figura 4.1. Gráfica de las mediciones en los puntos de monitoreo establecidos para el río Opamayo en épocas de estiaje. 72
Figura 4.2. Gráfica caja bigotes en los puntos de monitoreo establecidos para el río Opamayo en épocas de estiaje. 74
Figura 4.3. Gráfica del pH promediado de las aguas del río Opamayo en época de estiaje. 75
Figura 4.4. Gráfica de las mediciones en los puntos de monitoreo establecidos para el río Opamayo en épocas de estiaje. 76
Figura 4.5. Gráfica caja bigotes en los puntos de monitoreo establecidos para el río Opamayo en época de avenida. 78
Figura 4.6. Gráfica del pH promediado de las aguas del río Opamayo en época de avenida. 79
Figura 4.7. Interface de caracterización del parámetro pH de las aguas del río Opamayo 81

Resumen

Esta tesis tiene como objetivo general caracterizar en tiempo real el potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas Tayacaja, empleando un sistema electrónico. Se empleó como instrumento el sistema electrónico desarrollado, la metodología de mediciones se establecido en el marco del protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos (ANA, 2016), por lo que, se realizaron mediciones de 50 a 100 metros aguas arriba de los vertimientos y rio abajo a 200 metros, este criterio tuvo variaciones dependiendo de la naturaleza de las 04 fuentes contaminantes identificadas. Siendo la hipótesis general: La característica del potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas-Tayacaja, está relacionada con su distribución geoespacial a lo largo de su trayecto, y es determinado en tiempo real por un sistema electrónico. Llegando a las siguientes conclusiones: al realizar el monitoreo en 25 puntos en épocas de estiaje y avenida, a lo largo del rio Opamayo en el valle de Pampas – Tayacaja, se determina que los valores del pH están relacionados con su distribución geoespacial y temporal. En su distribución geoespacial las aguas presentan el pH variado después del vertido de los pozos de oxidación, así como también en localidades dedicadas a la ganadería; en su temporalidad en épocas de estiaje las aguas del río presentan un pH con alta variación, mientras que en épocas de avenida presentan variación moderada del pH; finalmente el sistema electrónico empleado como instrumento de recolección y análisis de datos permitió la caracterización del parámetro pH de las aguas del río Opamayo en un tiempo menor a 1000 ms por muestra.

Palabras clave: Potencial de hidrógeno, sistema electrónico, río, aguas residuales, monitoreo.

Abstract

The general objective of this thesis is to characterize in real time the hydrogen potential of the Opamayo river waters in the Pampas Tayacaja valley, using an electronic system. The electronic system developed was used as an instrument, the measurement methodology was established within the framework of the national protocol for monitoring the quality of water resources (ANA, 2016), so that measurements were made from 50 to 100 meters upstream of the discharges and downstream at 200 meters, this criterion had variations depending on the nature of the 04 contaminant sources identified. The general hypothesis being: The characteristic of the hydrogen potential of the Opamayo river waters in the Pampas-Tayacaja valley is related to its geospatial distribution along its path, and is determined in real time by an electronic system. Coming to the following conclusions: when monitoring at 25 points in times of dryness and avenue, along the Opamayo river in the Pampas - Tayacaja valley, it is determined that the pH values are related to its geospatial and temporal distribution. In its geospatial distribution, the waters have a varied pH after the discharge of the oxidation wells, as well as in localities dedicated to livestock; in its temporality in times of sewage the waters of the river present a pH with high variation, while in times of avenue they show moderate variation of the pH; Finally, the electronic system used as an instrument for data collection and analysis allowed the characterization of the pH parameter of the waters of the Opamayo River in a time less than 1000 ms per sample

Key words: Hydrogen potential, electronic system, river, waste water, monitoring.

Introducción

Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales, los desechos producidos por la actividad humana. El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamos las aguas contaminadas producidos por nuestras actividades cotidianas. Estas aguas contaminadas pasan a pozos de oxidación en valle de Pampas-Tayacaja y arrojados al río sin un tratamiento adecuado contaminando este cuerpo receptor haciéndolas peligrosas para la salud humana, dañinas para la vida y el ecosistema acuático.

Se identificaron 25 puntos de monitoreo establecidas desde el nacimiento del río Opamayo en el paraje denominado Lagunilla de Matacencca en el distrito de Acraquia y que tiene como latitud: -12.341171°, longitud: -74.970485° y altura: 4124 msnm, finalizando en el Anexo "La Colpa" del distrito de Daniel Hernández con latitud: -12.338028°, longitud: -74.826365° y altura: 3175 msnm. En este trayecto se tiene como zonas dedicadas a la ganadería en los anexos de Huasapuquio, Pamuri, Santa María, Chilcas, Huayhuayocc y Rundo. También se identificaron 04 pozos de oxidación: 01 en el distrito de Acraquia, 01 en el distrito de Ahuaycha, 02 en el distrito de Daniel Hernández. Sobre cada pozo de oxidación se establecieron un punto de monitoreo a 50 m antes del vertimiento y 200 m después del mismo, tal como establece el protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos.

Se implementó un sistema electrónico para el monitoreo en tiempo real del pH de las aguas del río Opamayo, este sistema transmite el pH y la temperatura desde los sensores asociados a los puntos de monitoreo por medio de un enlace Wifi hacia un servidor web implementado en la plataforma de ThingSpeak, a los datos de este servidor se accede desde un aplicativo desarrollado en LabVIEW NXG de National Instrument. Este último aplicativo permite caracterizar los pH por medio de un algoritmo implementado teniendo en cuenta el ICA-NFS.

El trabajo de investigación está organizado en cuatro capítulos:

Capítulo I: en este capítulo se aborda el planteamiento y formulación del problema, así como los objetivos del estudio. Capítulo II: contiene el marco teórico incluyendo los antecedentes, las bases teóricas, bases conceptuales y la hipótesis conjuntamente con las variables de estudio. Capítulo III: aborda la metodología de la investigación empleada, la población, muestra y muestreo, así como las técnicas e instrumentos empleados y los procedimientos de toma de datos como la técnica de análisis de datos.

Capítulo IV: contiene la presentación de resultados, se prueba las hipótesis planteadas y se discute los resultados.

Se complementa la estructura del informe con las conclusiones, recomendaciones y apéndices

Los Tesistas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

La distribución de la población de zonas urbanas y rurales muestra una tendencia creciente hacia la concentración urbana en todo el mundo, por lo que América Latina no es la excepción. En tal sentido, un factor de supervivencia de las ciudades es el abastecimiento de agua y la calidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres, así como el adecuado nivel de saneamiento urbano, a fin de tener una gestión del uso del agua sostenible (Larios, Gonzales, y Morales, 2015).

La contaminación del agua se ha convertido en un problema grave a nivel mundial. Se estima que cerca del 40% de la población mundial no tiene acceso a servicios básicos de saneamiento adecuados y el mayor impacto lo sufren aquellos países en vías de desarrollo. Se descargan cerca del 90% de las aguas residuales sin ningún tratamiento a los ríos, lagos y zonas costeras, contaminando así, sus fuentes de abasto (Langergraber y Muellegger, 2005).

Numerosos índices de calidad del agua se han formulado en todo el mundo, los cuales permiten juzgar fácilmente la calidad general del agua dentro de un área particular (Bharti N, 2011); estos índices se basan en la comparación de los parámetros de calidad establecidos en normas reguladoras y dan un único valor a la calidad del agua de una fuente y sus afluentes (Khan, Husain, y Lumb, 2003).

La calidad del agua de los ríos representa el nivel de cultura ambiental ecosistémico de los pobladores de las ciudades rivereñas. La estimación de la calidad del agua de los ríos que abarcan zonas urbanas es una actividad que ha

tomado relevancia a nivel mundial en las últimas décadas. En Perú, en especial en la región de Huancavelica, son escasos los estudios de calidad de agua realizados a la fecha e incluso, se enfrenta el problema de que las autoridades locales no cuentan con datos actualizados de la calidad del agua de los ríos. Tal es el caso del rio Opamayo en el valle de Pampas – Tayacaja. Por otro lado, no se cuenta a la fecha con la instrumentación y equipamiento necesario para la medición en tiempo real de los parámetros físico-químicos del agua en los ríos.

Por lo que en esta investigación se implementó un sistema electrónico para la caracterización del pH en el rio Opamayo en su trayecto en el valle de pampas - Tayacaja (ver Figura 1.1), de acuerdo al protocolo nacional del monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales (ANA, 2016), estableciendo la georreferenciación de los puntos de monitoreo en la cuenca alta, media y baja, toma de muestras, preservación en una base de datos y aseguramiento de la calidad de los mismos.

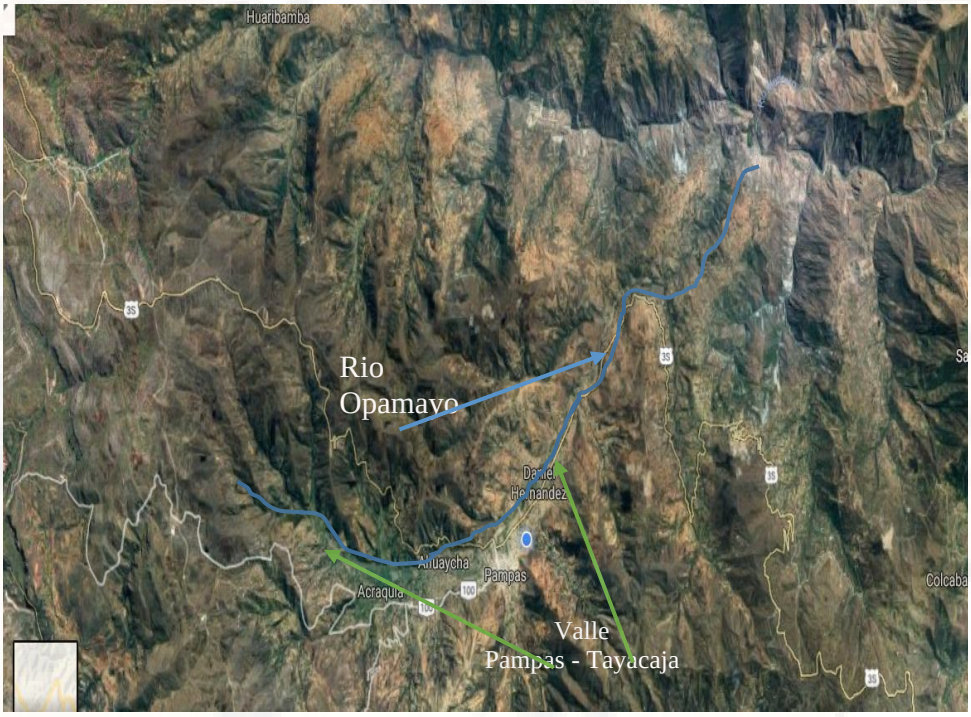

Figura 1.1. Trayectoria del rio Opamayo (Fuente: Google Earth)

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la característica del potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas Tayacaja?

1.2.2. Problemas específicos

a. ¿Cómo es el comportamiento del pH de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas-Tayacaja?
b. ¿Qué tiempo es necesario para caracterizar el parámetro pH de las aguas del río Opamayo por un sistema electrónico?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Caracterizar en tiempo real el potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas Tayacaja, empleando un sistema electrónico.

1.3.2. Objetivos específicos

a. Determinar el comportamiento del pH de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas-Tayacaja.
b. Determinar el tiempo necesario para caracterizar el parámetro pH de las aguas del río Opamayo por un sistema electrónico.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación tecnológica

Es necesario la medición de los parámetros del agua para determinar su calidad de acuerdo a los estándares, por lo que se implementa un sistema electrónico de tecnología emergente con GPS, sensor de pH, comunicación Wifi y servidor web para tomar los datos del potencial de hidrógeno en tiempo real del rio Opamayo en el valle de Pampas-

Tayacaja y caracterizar empleando la plataforma tecnológica de instrumentación virtual de National Instrument. Siendo este sistema un mecanismo de solución al problema de investigación que se formula.

1.4.2. Justificación social

Siendo el rio Opamayo una corriente natural de agua que fluye de oeste a este y atraviesa todo el valle de Pampas-Tayacaja conformado por los distritos de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia, desembocando en el rio Mantaro. Este afluente a lo largo de su recorrido es contaminado por efectos de la agricultura, ganadería y desagües municipales, generando focos infecciosos para la sociedad por lo que fue necesario la caracterización del potencial de hidrógeno que es uno de los parámetros que determina la calidad del agua en el río.

1.4.3. Justificación ecológica

El desarrollo de este proyecto permitió determinar el grado de contaminación del agua, que viene alterando el ecosistema acuático, a lo largo de su trayecto en función al pH, generando información base para la toma de decisiones por las autoridades correspondientes.

1.5. Limitaciones

La investigación se limitó a la medición y caracterización del pH a lo largo del río Opamayo, que es parte de la cuenca hidrográfica del Mantaro, el estudio abarcó desde las coordenadas: latitud -12.398291, longitud -74.899496 en el distrito de Acraquia rio arriba, hasta el paraje denominado La Colpa del distrito de Daniel Hernández cuyas coordenadas son: latitud -12.338069, longitud -74.826431. El estudio abarcó los distritos de Acraquia, Ahuaycha, Pampas y Daniel Hernández, siendo parte de esto distritos el valle de Pampas - Tayacaja.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La calidad del agua superficial es de gran preocupación e importancia en la actualidad, principalmente en los ríos, debido al papel que desempeñan al llevar las aguas residuales municipales, industriales y la escorrentía agrícola hacia otros ríos efluentes en las zonas de confluencia, conteniendo los ríos cuerpos de agua más vulnerables a la contaminación (Singh, Malik, y Sinha, 2005).

A continuación, se presentan los trabajos importantes que sirvieron de base para el desarrollo de esta investigación:

2.1.1. A nivel internacional

Bueno, Torres y Delgado (2014), en el trabajo **"Monitoreo y medición del ajuste del pH del agua tratada del río Cauca mediante índices de estabilización"**, determina que fue necesario medir los bajos niveles de alcalinidad de las fuentes de abastecimiento y la adición de productos químicos para coagular y desinfectar utilizados en la potabilización del agua, generando la necesidad de realizar procesos químicos de ajuste del pH, como última etapa del tratamiento, con el fin de evitar fenómenos agresivos como son la corrosión y la incrustación. Este estudio presentó resultados de la aplicación de diferentes índices de estabilización para el monitoreo y

el control del proceso de ajuste del pH del agua del río Cauca que fue tratada, del cual, se abastece cerca del 80% de la ciudad de Cali-Colombia. Los índices se calcularon, tanto con información histórica como con los datos de seis mediciones de caracterización del agua tratada. Enfatizando en la importancia del pH en la determinación de la calidad del agua, este antecedente permite el desarrollo de la investigación.

Crisanto (2014) en su trabajo titulado **"Sistema de Sensado Remoto para la Medición de Variables Ambientales"**, tiene como objetivo monitorear algunas variables ambientales tales como presión y temperatura y permitir la medición de estas variables físicas mediante sistemas embebidos compuestos por una base de datos de microcontroladores ATMEGA 328 parte de arduinos digitales de última generación y de bajo costo, las cuales se almacenan en un sistema de información diseñado específicamente para la adquisición de señales de radiofrecuencia. El envío de la información obtenida es a diferentes sistemas de comunicación como son: comunicación inalámbrica, red y telefonía. Para lograr este objetivo, se diseñó e implementó el hardware para dos sensores (temperatura y humedad, luz) y módulos de transmisión de señales en radiofrecuencia. También la implementación de software para los módulos de transmisión de señales de radiofrecuencia. Sirviendo como referencia en esta investigación para el enlace remoto a Wifi e Internet.

2.1.2. A nivel nacional

Teves (2016) en el trabajo de tesis **"Estudio fisicoquímico de la calidad del agua del río Cagra, región Lima"**, que tiene como objetivo realizar un estudio fisicoquímico del agua del río Cacra, que pertenece a la cuenca hidrográfica del río Cañete localizada en la provincia de Yauyos en la Región Lima – Perú, para determinar la

calidad del recurso hídrico que es destinado al riego de cultivos de productos agrícolas y bebida de animales, en una zona calificada de extrema pobreza. El monitoreo se efectuó en varias campañas en mayo y julio del 2015, en época de avenida y estiaje respectivamente, definiéndose seis estaciones de muestreo, lo que nos sirve como referencia para el diseño de la investigación. En cada estación se hizo mediciones in situ y se tomó muestras para el análisis físico-químico en el laboratorio. Los parámetros que se determinaron en campo fueron temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH; los parámetros analizados en el laboratorio fueron demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales, sedimentables, suspendidos y disueltos, cloruros, bicarbonatos, nitratos, sulfatos, carbonatos, sodio, calcio, aluminio, cadmio, cobre, hierro, magnesio, plomo y cinc. Para los análisis de laboratorio se hizo uso de técnicas volumétricas, gravimétricas e instrumentales como las espectroscopias UV-Visible y de absorción atómica (AAS). En base a los resultados obtenidos se determinó que los parámetros estudiados en el río no sobrepasan los niveles establecidos en el ECA-agua destinada a riego de vegetales y bebida para animales.

Pérez (2017), en el trabajo de tesis "**Determinación del índice de calidad del agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales durante el periodo 2014 2015"**, se tiene como objetivo principal determinar el índice de calidad de agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales Omo, durante el periodo año 2014 - año 2015. Dicho índice pretende clasificar en una escala de 0 a 100 la calidad del agua, calificada como excelente, buena, media, mala y muy mala. Para la evaluación se utilizó el indicador ICA NFS, el cual contempla varios parámetros que son: temperatura, pH, nitratos, oxígeno disuelto, fosfatos, coliformes fecales, turbiedad, sólidos disueltos totales y demanda bioquímica de oxígeno. Para

conocer las variaciones de la calidad del agua se analizó la información de los años 2014 a 2015 obtenidas de la administración local del agua Moquegua, entidad prestadora de servicio, gerencia regional de salud y proyecto especial regional Pasto Grande, con dichos resultados se calculó el índice de calidad de Brown-NSF en el río Moquegua antes del vertimiento presenta un ICA-NSF de 51,44 que representa calidad media y en el tramo después del vertimiento tiene un ICA-NSF de 44,18 que representa calidad mala. Los monitoreos realizados en los años 2014 y 2015 antes y después del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, superan los estándares de calidad ambiental con la categoría 3, en los parámetros de pH, fosfatos, DBO5, OD y coliformes termotolerantes, mientras que los demás parámetros evaluados se encuentran dentro de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (ECA). Esta investigación es base de estudio por contemplar el parámetro pH para determinar la calidad del agua y su clasificación de acuerdo al ECA-Agua.

Sotil y Flores (2016) en el trabajo de tesis titulado: "**Determinación de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del contenido de las aguas del río Mazán – Loreto, 2016"**, establece como objetivo de su elaboración, la determinación de parámetros, in situ, como en los laboratorios de la FIQ – UNAP, que reflejan el estado actual, de la corriente de agua de este río. Como resultado el rio Mazán, se caracteriza por tener aguas con escaso contenido de materiales en suspensión, compuesto mayormente por material orgánico, con bajos valores de conductividad, que indica escases en relación al contenido de electrolitos, nutrientes y minerales (Nitratos, Carbonatos, Sulfatos, Fosfatos), donde predominan los ácidos húmicos, producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica y además son tánicas. Estos cuerpos de agua están conformados por ríos pequeños y quebradas que se originan dentro de la floresta húmeda propias de la

Región Amazónica. Las aguas del rio Mazán, son lóticas, porque sus aguas discurren desde sus orígenes para desembocar en el rio Napo. Predominando una coloración negra – transparente, debido a la descomposición tánica del material orgánico de las plantas, filtraciones y humedales naturales. El río Mazán, presenta un sistema hidrológico, donde la vaciante, llega entre los meses de diciembre, enero y febrero; la media vaciante se establece entre los meses de marzo, abril y mayo. La creciente, aparece entre los meses de junio, julio y agosto y la media creciente, en los meses de setiembre, octubre y noviembre.

2.1.3. A nivel local

Jáuregui (2008) en el trabajo de tesis **"Diseño de una red de telemetría para el complejo hidroeléctrico del Mantaro"**, tuvo como objetivo suministrar datos de información climática y a la vez recurrir a potenciales reservorios naturales de agua, los cuales serán utilizados en épocas de sequía o estiaje para mantener un volumen estándar y generar la misma potencia promedio todo el año. Para ello la empresa de Electro Perú S.A., propietaria de las centrales hidroeléctricas que conforman el Complejo Hidroeléctrico del Mantaro, cuenta con estaciones hidrometeorológicas dispersas a lo largo de toda la cuenca del Mantaro, lagunas reguladas y lagunas por regular en los diferentes departamentos de la sierra central del país departamentos de Junín y Huancavelica. Es por ello que fue imprescindible requerir de una Red de Telemetría para el envío automático y en tiempo real de la información climática captada por las estaciones hidrometeorológicas, así mismo para el monitoreo a distancia tanto de las estaciones hidrometeorológicas como de las estaciones de lagunas reguladas, y también para permitir el envío de órdenes a distancia tanto de apertura y cierre de las compuertas de retención de agua, las cuales funcionarán en forma automática por

acción de sistemas electrónicos. Como resultado del trabajo de tesis se diseñó la red de telemetría más conveniente y que satisfaga los requerimientos mencionados, tomando en cuenta estaciones existentes y futuros proyectos a nivel de prefactibilidad y factibilidad para la regulación de un mayor número de lagunas de la empresa generadora de energía. Sirviendo esta investigación como base con la implementación de sensores en un prototipo empleado a lo largo del rio Opamayo, los mismos que proporcionarán las mediciones del pH en tiempo real.

2.2. Bases teóricas

Las bases teóricas para el desarrollo de esta investigación consideran: las características del valle de Pampas y del rio Opamayo, las tecnologías de georreferenciación de libre distribución disponibles y la tecnología de los sistemas de adquisición de datos, control y supervisión. Tienen como elemento fundamental a los controladores lógicos programables y un protocolo de red basado en Ethernet, que adapta el hardware y los protocolos de Ethernet a las necesidades de adquisición y análisis del potencial de hidrógeno en agua del rio Opamayo.

2.2.1. Contaminación del Agua

Los ríos, lagos y mares son receptores, desde tiempos remotos, de los desechos producidos por el hombre por sus diferentes actividades. El ciclo natural del agua por medio de los ríos tiene una gran capacidad de purificación (Rangel, 2010). La facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamos los residuos producidos por nuestras actividades. La agricultura contamina con pesticidas, desechos químicos. La minería contamina con metales pesados, residuos radiactivos, etc.

La degradación de las aguas viene desde la antigüedad, y en algunos lugares, como la desembocadura del Nilo, hay niveles altos de

contaminación desde hace siglos; pero ha sido en este siglo cuando se ha extendido este problema a ríos y mares de todo el mundo (Gonzales et al., 2014)

Primero fueron los ríos, las zonas portuarias de las grandes ciudades y las zonas industriales las que se convirtieron en sucias cloacas, cargadas de productos químicos, espumas y toda clase de contaminantes domésticos, hospitalarios e industriales (Larios et al., 2015). Con la industrialización y el desarrollo económico este problema se ha ido trasladando a los países en vías de desarrollo, a la vez que en los países desarrollados se producían importantes mejoras. Actualmente este problema se trasladó a las ciudades en desarrollo como es el caso del valle de Pampas-Tayacaja.

2.2.2. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es una medida que indica la acidez o la alcalinidad del agua. Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el agua. La escala del pH es logarítmica con valores de 0 a 14. Un incremento de una unidad en la escala logarítmica, equivale a una disminución diez veces mayor en la concentración de iones de hidrógeno. Con una disminución del pH, el agua se hace más ácida y con un aumento de pH el agua se hace más alcalino (Carbotecnia, 2016).

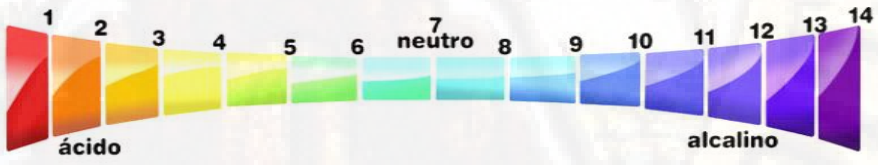

Figura 2.1. Representación del potencial de hidrógeno (pH)

2.2.2.1. Importancia del pH

Muchas reacciones químicas dentro de los organismos acuáticos (metabolismo celular) son necesarias para la supervivencia y crecimiento. Los organismos requieren un margen estrecho de valores de pH. En los extremos finales de la escala de pH (2 ó 13), ocurren daños significativos en

agallas, esqueletos y aletas de peces (Rubio Arias et al., 2014). Los cambios en pH pueden alterar la concentración de otras substancias en el agua modificando el grado de toxicidad.

2.2.2.2. Causas que originan un cambio del pH en el agua

El agua pura (no ionizada) tiene un pH de 7.0 (Wikipedia, 2014). Hay dos factores principales que producen cambios en el pH:

- La capacidad de obstáculo, el obstáculo es un cojín químico que neutraliza los ácidos o las bases cuando son agregados al agua de río.
- La entrada de substancias básicas o ácidas (sintéticas o naturales) en agua de río.

2.2.2.3. Valores aceptables

La mayoría de los ambientes naturales tienen un pH entre 4 y 9. El pH del agua de mar es generalmente entre 7.5 y 8.4. En agua de río un pH en el intervalo de 6.5 a 8.5 protegerá a la mayoría de los organismos acuáticos (Larios et al., 2015). Sin embargo, el valor del pH tolerado por diferentes organismos varía como se puede ver en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Efectos de los niveles de pH en la vida acuática.

pH	Efecto
3.0 – 3.5	Poco probable que los peces y otros seres acuáticos sobrevivan por más de unas pocas horas en este rango, aunque se pueden encontrar algunas plantas e invertebrados a niveles de pH tan bajos como éstos.

3.5 – 4.0	Se identificó que es letal para los salmónidos.
4.0 – 4.5	Ausentes todos los peces, muchas ranas e insectos que consumen agua.
4.5 – 5.0	Muchos insectos ausentes, la mayor cantidad de los huevos de peces no madurarán.
5.0 – 5.5	Bacterias que viven en el fondo de los cuerpos de agua (descomponedores) comienzan a morir. Desechos de hojas y detritus se empiezan a aumentar, encerrando nutrientes esenciales con interrupción de los ciclos químicos. El plancton empieza a desaparecer. Caracoles y almejas ausentes. Alfombras de hongos comienzan a reemplazar a las bacterias en el sustrato.
	Metales (aluminio, plomo) normalmente atrapados en sedimentos se liberan a agua acidificada en formas tóxicas para la vida acuática.
6.0 – 6.5	Camarones de agua dulce ausentes. Poco probable que sea directamente dañino a los peces a menos que el nivel de dióxido de carbono libre sea alto (en exceso de 100 mg/L)
6.5 – 8.2	Óptimo para la mayor parte de los organismos acuáticos.
8.2 – 9.0	Poco probable que sea dañino a los peces, pero ocurren efectos indirectos a este nivel debido a cambios químicos en el agua.
9.0 – 10.5	Muy probable que sea dañino a los salmónidos y a la percha, se presenta por períodos prolongados.
10.5 – 11.0	Rápidamente letal para los salmónidos. Exposición larga es letal a la carpa y a la percha.

11.0 – 11.5	Rápidamente letal para todas las especies de peces.

Fuente: Organización Mundial de la Salud OMS (OMS, 2006)

2.2.3. Transmisores y sensores de pH

Los transmisores y sensores de pH se utilizan en diversas industrias como agua y aguas residuales, productos químicos, alimentos y bebidas, productos farmacéuticos, centrales eléctricas, aceite, gas y la industria primaria. La selección del sensor depende de la aplicación.

Medición de pH con electrodos de vidrio y electrodos esmaltados, son usados en la medición del nivel de acidez o alcalinidad de un producto líquido (Omega, 2015).

Las sondas de vidrio para pH contienen un sistema de referencia integrado Ag/AgCl que funciona como el electrodo de referencia requerido. El valor del pH se calcula a partir de la diferencia de potencial entre el sistema de referencia y el sistema de medición utilizando la ecuación de Nernst (Villarreal y Bello, 2006).

2.2.3.1. Ecuación de Nernst

La *Ecuación de Nernst* expresa la relación cuantitativa entre el potencial redox estándar de un par redox determinado, su potencial observado y la proporción de concentraciones entre el donador de electrones y el aceptor. Cuando las condiciones de concentración y de presión no son estándar (1 M, 1 atm y 298 °K), se puede calcular el potencial de electrodo mediante la Ecuación de Nernst (Aguilar y Alarico, 2010).

El potencial de electrodo de un par redox varía con las actividades de las formas reducida y oxidada del par, en el sentido de que todo aumento de la actividad del oxidante hace aumentar el valor del potencial y viceversa. La ecuación de Nernst se presenta como:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} Ln \frac{[aceptor]}{[donador]}$$

Donde :

E^0: es el potencial redox estándar a pH = 7.0 (los potenciales se encuentran tabulados para diferentes reacciones de

reducción). La temperatura es 298 °K y todas las concentraciones se encuentran a 1.0 M.R, es la constante de los gases. R=8.314 J/molK.

E: es el potencial corregido del electrodo.

T: es la temperatura absoluta en °K.

n: es el número de e^- transferidos.

F: es la constante de Faraday; F=23,062 cal/V= 96,406 J/V.

Para una reacción: $aA + bB \rightarrow cC + dD$, la ecuación es:

$$E = E^0 - Ln\frac{RT}{nF}\frac{[c]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

Donde [C] y [D] ([A] y [B]) son las presiones parciales y/o concentraciones molares en caso de gases o de iones disueltos, respectivamente, de los productos (reactivos) de la reacción. Los exponentes son la cantidad de moles de cada sustancia implicada en la reacción (coeficientes estequiométricos).

A las sustancias en estado sólido se les asigna concentración unitaria, por lo que no aparecen en Q.

Demostración de la ecuación:

Dada una reacción química:

$$aA + mH^+ + ne^- \Leftrightarrow bB + dH_2O$$

Para esta ecuación, la energía libre de Gibbs (parte de la energía total de un sistema que puede convertirse en trabajo en condiciones isotérmicas, es decir:

ΔG= ΔH–T. ΔS), donde:

$$\Delta G = \left(bG_B + dG_{H_2O}\right) - (aG_A + mG_{H^+})$$

Para condiciones normales (cambio de energía en una reacción en condiciones estándares):

$$\Delta G^0 = \left(bG_B^0 + dG_{H_2O}^0\right) - (aG_A^0 + mG_{H^+}^0)$$

Restando ambas:

$$\Delta G - \Delta G^0 = \left[b(G_{B-}G_B^0) + d\left(G_{H_2O} - G_{H_2O}^0\right)\right] - [a(G_A - G_A^0) + m(G_{H^+} - G_{H^+}^0)]$$

Aplicando la Ecuación de Van't Hoff, la cual relaciona la energía libre de cada sustancia con su concentración:

$$a(G_A - G_A^0) = aRTLn[A] = RTLn[A]^a$$

$$b(G_{B-}G_B^0) = RTLn[B]^b$$

$$(G_{H^+} - G_{H^+}^0) = RTLn[H^+]^m$$

$$\left(G_{H_2O} - G_{H_2O}^0\right) = RTLn[H_2O]^d$$

De este modo:

$$\Delta G - \Delta G^0 = RTLn\frac{[B]^b[H_2O]^d}{[H^+]^m[A]^a}$$

La energía libre de Gibbs se puede relacionar con el potencial electroquímico según la relación:

$$\left.\begin{matrix}\Delta G = -nFE \\ \Delta G^0 = -nFE^0\end{matrix}\right\} \quad \Delta G - \Delta G^0 = -nFE + nFE^0$$

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF}Ln\frac{[B]^b[H_2O]^d}{[H^+]^m[A]^a}$$

Como $[H_2O]^d = 1$ por estar en estado líquido, la ecuación de Nernst queda como:

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF}Ln\frac{[B]^b}{[H^+]^m[A]^a}$$

$$E = E^0 + \frac{2.3RT}{nF}log\frac{[H^+]^m[A]^a}{[B]^b}$$

$$A\ 25°C \Rightarrow \frac{2.3 \cdot 8.314 \cdot 298}{n \cdot 96500} = \frac{0.059}{n}\ ;$$

$$como\ pH = -\log[H^+]$$

Se obteniendo la ecuación de Nernst en función del pH a 25 ºC:

$$E = E^0 + \frac{0.059}{n} log \frac{[A]^a}{[B]^b} - \frac{0.059m}{n} pH$$

Esta versión simplificada es la más utilizada para electrodos y pilas a temperatura ambiente, puesto que el error que se produce por diferencias entre la temperatura real y la expresada en la ecuación es inapreciable.

2.2.3.2. Medición de pH con electrodos de vidrio

Medir el pH del agua del río resulta de gran utilidad para determinar el grado de contaminación de las aguas, siendo la medición del pH con electrodos de vidrio (ver Figura 2.2), es el adecuado. Por lo que debemos conocer su funcionamiento y la calibración respectiva para una correcta aplicación (Scidle, 2017a).

Figura 2.2. Medidor de pH con sonda y electrodo de vidrio.

Funcionamiento:

El medidor de pH detecta la acidez o alcalinidad de una disolución, la escala de pH varía de 0 a 14. El pH indica la concentración de iones hidrógeno $[H]^+$ presentes en determinadas disoluciones, como es en este caso agua de rio. Se puede cuantificar de forma precisa mediante un sensor que

mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno. Esto es lo que forma la sonda. Además, hay que utilizar un circuito electrónico para acondicionar la señal adecuadamente y que se pueda usar este sensor con un microcontrolador.

Especificaciones

El circuito electrónico y la sonda se pueden adquirir por separado y hay variaciones que hay que tener en cuenta dependiendo de la sonda utilizada (ver tablas 2.2 y 2.3).

Tabla 2.2. Especificaciones de sondas.

Tipo de Electrodo	Rango de pH	Temperatura (ºC)	Punto Cero (pH)	Tiempo de respuesta (min)	Ruido (mV)
65-1	0-14	0-80	7±1	<2	
BX-5	0-14	0-80	7X±11	<2	
E-201	0-14	0-80	7±0.5	<2	<0.5
E-201-C	0-14	0-80	7X±0.5	<2	<0.5
95-1	0-14	0-80	7X±0.5	<2	<0.5
E-900	0-14	0-80	7X±0.5	<2	<0.5

Tabla 2.3. Especificaciones del circuito electrónico.

Voltaje de alimentación	5 V
Corriente	5-10 mA
Consumo	≤ 0.5 W
Temperatura de trabajo	10-50 ºC

LED Verde	Alimentación
LED Rojo	Límite de pH

El circuito electrónico tiene pines que representan la temperatura en la tarjeta, señal de límite de pH, valor de pH, masa y alimentación (ver Tabla 2.4).

Tabla 2.4. Pines del circuito electrónico.

To	Temperatura
Do	Señal del límite de pH
Po	Valor de pH en V
G	Masa del circuito analógico
G	Masa de Alimentación
V+	Alimentación (5V)

Calibración del sensor:

Como se puede observar en el circuito de la Figura 2.3 hay dos potenciómetros. El que está más pegado al conector *BNC* de la sonda es el que regula el *offset*, el otro es el del *límite de pH*.

- *Offset:* El rango de media de la sonda oscila entre valores negativos y positivos. El 0 representa un pH de 7.0. Para poder utilizarlo con *Arduino* este circuito añade un valor de offset al valor medido por la sonda, de esta forma el *ADC* solo tendrá que tomar muestras de valores positivos de tensión. Por lo tanto, forzaremos un pH de 7.0 desconectando la sonda del circuito y cortocircuitando la parte interna del conector BNC con la exterior. Con un

multímetro medimos el valor del *pin Po* y ajustamos el potenciómetro para que sea 2.5V.

- *Límite de pH:* Este potenciómetro es para establecer un valor del límite del circuito sensor de pH que hace que el *LED* rojo se encienda y la señal de *pin Do* se ponga en *ON*.

Para calibrar el sensor de pH se necesita dos valores de referencia de pH y medir el voltaje que devuelve el sensor en el ***pin Po***. Por lo que se deberá utilizar soluciones con pH, siendo los más comunes en el mercado pH 4.01, pH 6.86 y pH 9.18.

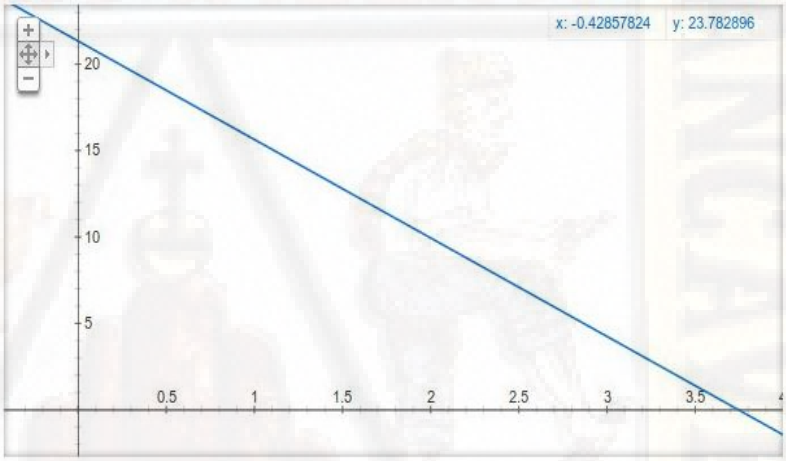

Figura 2.3. Ecuación de conversión entre voltaje y pH medido. y= -m * x + b

Utilizando las soluciones con pH 4.01 y pH 6.86 se obtiene los voltajes en el pin Po 3.04 V y 2.54 V respectivamente. El sensor es lineal por lo que tomando dos puntos podemos deducir la ecuación para convertir el voltaje medido a pH. La fórmula general sería y = mx + b, por lo que se calcula m y b ya que x sería el voltaje medido por el sensor "y" el pH. El resultado es y=-5.70x + 21.34.

2.2.4. Índice de valoración de la calidad de agua en función del parámetro pH

La valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de su composición química, física y biológica en relación con la calidad natural. Para interpretar los datos del monitoreo, existen índices de calidad de agua (ICA) e índices de contaminación (ICO), los cuales reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación (Torres, Hernán, y Patiño, 2009). A continuación, se presenta la ecuación del índice de calidad de agua de la fundación nacional de saneamiento de los Estados Unidos (ICA-NFS) el mismo que es adoptado por ICA-PE, que es público ya que ignora tanto el tipo de uso que se le dará al agua, como el o los métodos utilizados para determinar las características:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^{9} (Sub_i * w_i)$$

Donde:

w_i: Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub_i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Sub_i: Subíndice del parámetro i.

En la Figura 2.4 se presenta la valoración del ICA-NSF, en función del pH.

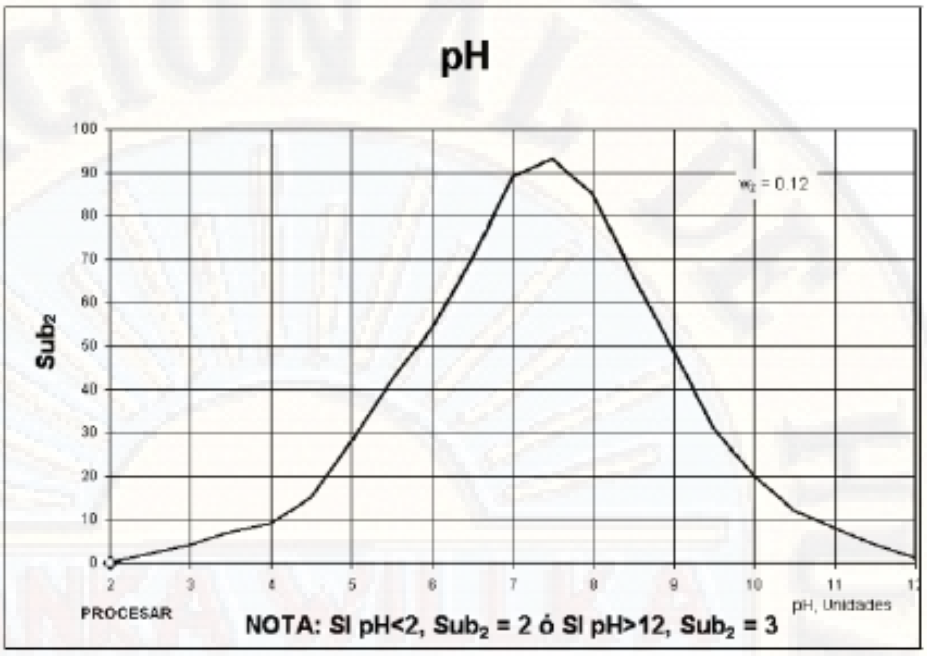

Figura 2.4. Valoración de la calidad del agua en función del pH.

2.3. Bases conceptuales

2.3.1. Río Opamayo

2.3.1.1. Ubicación y localización

El rio Opamayo, nombre quechua que se traduce a rio silencioso, está ubicado al norte de la ciudad de Pampas en la provincia de Tayacaja, departamento de Huancavelica. Su recorrido empieza en las alturas del cerro Matacencca localizado a una latitud 12°20'26.23"S y longitud 74°58'58.85"O, recorre los distritos de Acraquia, Ahuaycha, Pampas y Daniel Hernández (ver Figura 2.5) desembocando en este último sobre el río Mantaro a una latitud de 12°17'23.69"S y longitud 74°46'11.41"O a una altura de 1400 msnm (ver Figura 2.6), lugar donde este cambia de curso para dirigirse al norte. Tiene como afluentes a las quebradas: Llamacancha, Machuhuasi, Lindahuayjo, Yanahuayjo, tablahuayjo y Chinchihuayjo. En Pampas sus afluentes son el

Lambras y Chinchihuayjo y en Daniel Hernández a Atoc, Atocjasa Maccas y Jonehuayjo.

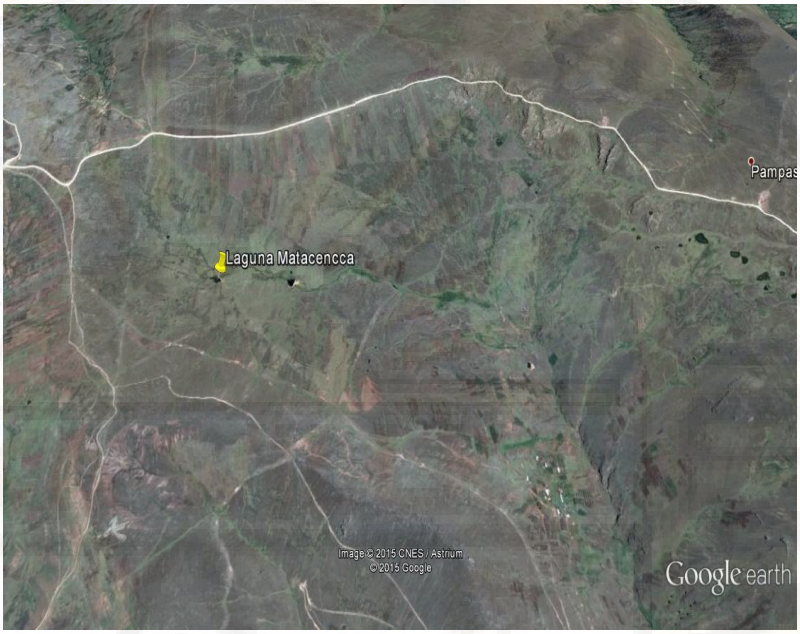

Figura 2.5. Laguna de Matacencca, donde nace el rio Opamayo

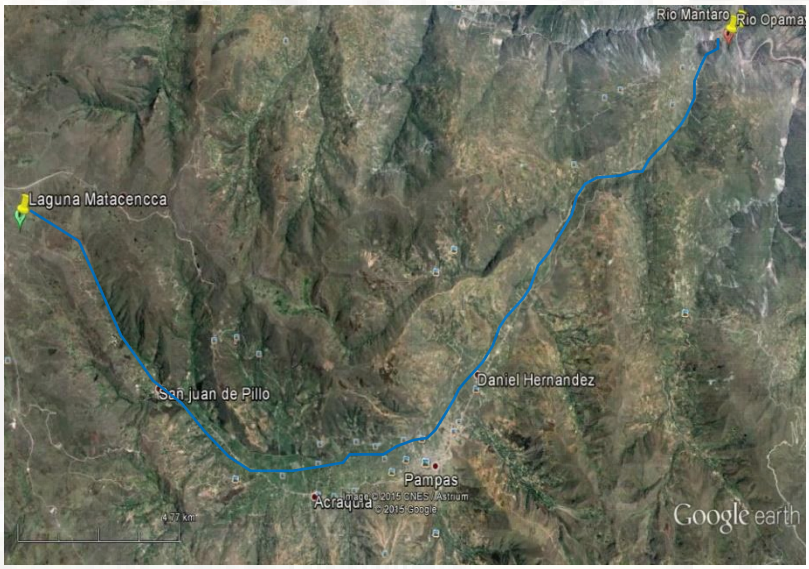

Figura 2.6. Trayectoria del rio Opamayo.

Este rio Opamayo es tributario del río Mantaro (ver Figura 2.7), que alimenta la más importante central hidroeléctrica peruana, Santiago Antúnez de Mayolo y Restitución, y desde el año 2016 a la central hidroeléctrica Cerro del Águila. De

este río se benefician en su trayectoria los pobladores que radican en las riveras, utilizando en riegos de cultivo.

Figura 2.7. Desembocadura del rio Opamayo al rio Mantaro en el límite del distrito de Daniel Hernández y Colcabamba.

Figura 2.8. Riachuelo Atoc afluente del rio Opamayo.

El rio Opamayo es parte de la subcuenca del río Mantaro

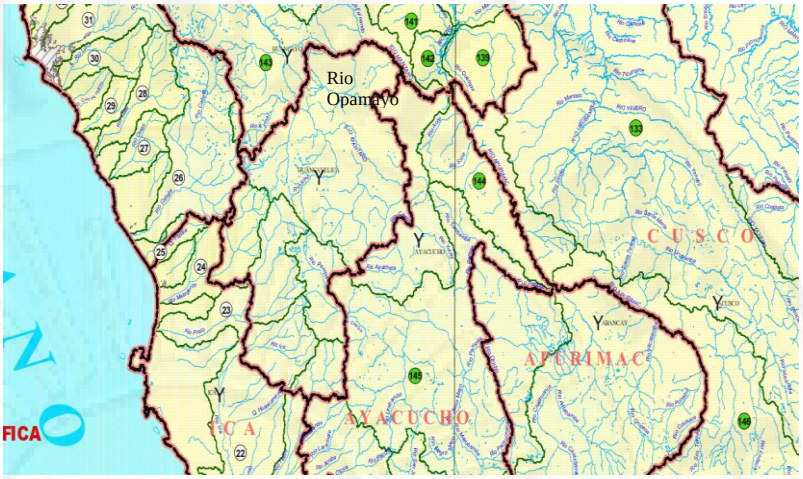

Figura 2.9. Localización del rio Opamayo en la subcuenca del río Mantaro.

2.3.1.2. Historia

El rio Opamayo al igual que muchos otros ríos se originó en el periodo formativo de américa conjuntamente con la tierra parte del territorio de la provincia de Tayacaja se encuentran las evidencias más remotas de la presencia humana en el departamento de Huancavelica, representadas por los hallazgos de cuevas y abrigos rocosos. Por ejemplo, en el cerro del caserío de Tongo en el distrito de Pazos se encontraron pinturas rupestres con representaciones de camélidos, esta evidencia data de la época de los recolectores y cazadores (Mesolítico). Se calcula que estos hallazgos pertenecen al VI milenio a. C. Este tiempo es denominado según la arqueología andina como período Arcaico. A falta de investigaciones aún se desconoce el proceso de cambio que ocurrió con estos pobladores, para así poder explicar la existencia de otros grupos que se mantuvieron vigentes.

El grupo étnico que se dispersó a lo largo del rio fue el reino de los tayaccasas[1]. Para los años 800 a.C. estos estuvieron bajo la influencia de la cultura Chavín, después entre los años 100 a. C y 700 d. C estuvieron bajo la influencia de la cultura Huarpa. Entre los años 700 d. C y 1460 pertenecieron al imperio Wari y entre los años 1100 y 1470, a la confederación Chanca y Huanca y donde aparece el nombre del rio Opamayo (rio silencioso).[2] Se da esta denominación por que este río por desplazarse en una superficie con poca pendiente no genera ruido. Ante la amenaza de la conquista incaica, los Chancas formaron una confederación con los Huancas, incluyendo a los reinos de Huancavelica como los tayaccasas. A mitades del siglo XV, la confederación terminó siendo desbaratada y sometida a la hegemonía Inca.

Entre los siglos XIV y XV d. C según el calendario gregoriano, el reino de los Chanca establece una alianza con los huancas, ante la creciente amenaza del Imperio inca. También, los reinos de Huancavelica se sumaron al acuerdo conformando una gran unión interétnica, denominada la confederación Chanca. En la primera expansión del Imperio Inca, bajo el mando del Inca Pachacútec, la confederación Chanca se somete al Imperio, aunque su sometimiento no fue absoluto hasta que los Incas establecieron mitimaes en cada pueblo chanca. Esta derrota abrió las puertas para la expansión Inca hacia las regiones del norte.

Ya en la época virreinal se encuentran documentos con escritos de esta localidad, mencionando al río Opamayo,

1 *Munitayajaca.gob.pe (enero de 2009). «RESEÑA HISTÓRICA: a. Época Preincaica». Datos generales de la provincia de Tayacaja. p. 12. Consultado el 25 de mayo de 2018.*

2 *Dr. Arturo Ruiz Estrada, Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Perú) (marzo de 2007).”Huancavelica: el pasado tiene futuro”. Internexus Perú S.A.C. Consultado el 2 de junio de 2018.*

como fuente de agua para riego de cultivos. Lugar conocido como Turpicotay de Luycho en su pasado prehispánico, según el cronista Guamán Poma de Ayala. A 22 km al este de Pampas, San Juan de Luicho o Luicho Pampa, es la primera ciudad donde existía una iglesia construida antes de 1600 por los indios yungas.

El rio Opamayo, jugó un papel importante en la formación de la ciudad de Pampas al igual que los distritos de Acraquia, Ahuaycha, y Daniel Hernández. Hasta el año 1980 aportó al consumo humano con peces (trucha y pejerrey), también generó un ambiente adecuado para la reproducción de ranas y sapos.

A partir del año 1985 se genera un crecimiento vertiginoso de la población en el valle de Pampas, principalmente en los distritos de Pampas y Daniel Hernández, esto debido al desplazamiento de los pobladores del departamento de Ayacucho a causa de la violencia política y social. Este suceso ocasiona la necesidad de mayor consumo de agua por lo que las afluentes del rio Opamayo (rio Atocc y Viñas) son canalizados para servicios básicos (agua para consumo humano y desagüe). Lo que genera incremento en aguas servidas que se vierten directamente al cauce del rio Opamayo. Además, por la falta de cultura ecológica la población arroja los desechos sólidos directamente a orillas del rio Viñas y que esta las arrastra hasta los causes del rio Opamayo. De este modo las aguas del rio Opamayo se convierten en contaminadas.

2.3.1.3. Comportamiento hídrico anual

El rio Opamayo del valle de Pampas, puede ser considerado un bien de derecho jurídico. La disponibilidad hídrica del rio Opamayo que atraviesa el valle de Pampas depende de las épocas de lluvias (enero – abril) y épocas de estiaje (mayo-diciembre). En la Tabla 2.5, se detalla el aforo mínimo y máximo de los ríos tributarios.

Tabla 2.5. Aforo de ríos tributarios del río Opamayo

Riachuelo	**Aforo (en litros por segundo)**	
	MÍNIMO	**MÁXIMO**
Margen izquierda		
Atahuara	20	80
Uysus	50	650
Margen derecha		
San Juan	50	550
Colca	40	200
Viñas	35	500
Atocc	40	550

Fuente: Agencia Agraria Tayacaja

Cabe señalar que los riachuelos señalados tienen régimen irregular y torrentoso, con caudales que relativamente reportan adecuada disponibilidad todavía. Sin embargo, las tendencias de las descargas hídricas son cada vez más escasas e irregulares lo que en el tiempo podría derivar en escasez crítica comprometiendo seriamente la disponibilidad no solo de aguas subterráneas sino de fuentes superficiales con alarmantes resultados para la vida de las futuras generaciones del valle de Pampas.

Tomado como fuente la Tabla 2.5, se encuentra el caudal del rio Opamayo después de las fuentes tributarias de agua, ver Figura 2.10.

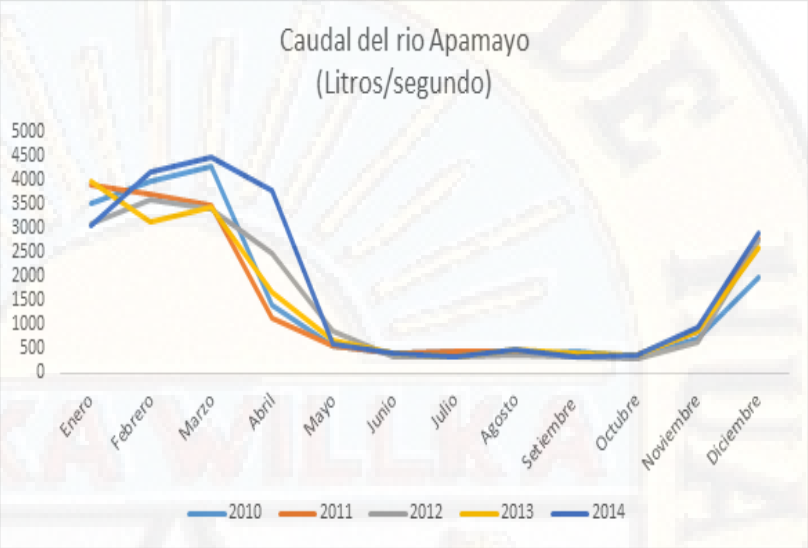

Figura 2.10. Caudal anual del rio Opamayo del año 2010 al 2014
(Fuente: Ministerios de Agricultura y del Riego, 2015)

Se observa claramente en la Figura 2.10 que el caudal del rio tiene un proceso cíclico repetitivo por año, definido por la ecuación $y = 83.72x^2 - 1361.4x + 6136,7$. En las épocas de lluvia se producen desborde del cauce del rio Opamayo (ver Figura 2.11).

Figura 2.11. Desborde en época de lluvias del rio Opamayo.

En las épocas de estiaje el rio tiene poca agua y se colmata de hiervas y desechos antrópicos (ver Figura 2.12).

Figura 2.12. Rio Opamayo colmatado con hiervas y desechos.

2.3.1.4. Contaminación antrópica

El río Opamayo viene siendo contaminado por el arrojo de aguas residuales provenientes de los distritos de Acraquia, Ahuaycha, Pampas y Daniel Hernández sin el debido tratamiento. Al observar aguas arriba en época de estiaje el rio presenta agua clara con pequeñas piedras, esto indica de manera visual que el agua se encuentra en el estado mesotrófico (ver Figura 2.13)

Figura 2.13. *Rio Opamayo en época de estiaje aguas arriba*

A lo largo del recorrido del rio Opamayo se tiene 04 pozos de oxidación de aguas servidas, 01 proveniente del distrito de Acaraquia, 01 proveniente del distrito de Ahuaycha, los cuales no tiene un buen sistema de tratamiento generando contaminación al verterse estas aguas al río (ver Figura 2.14).

Figura 2.14. Pozo de oxidación del distrito de Ahuaycha

Figura 2.15. Contaminación de las aguas del rio Opamayo por las aguas provenientes del pozo de oxidación de Ahuaycha.

Los otros 02 pozos de oxidación se encuentran en el distrito de Daniel Hernández, al primero ingresa aguas servidas de este distrito y de Pampas, en la Figura 2.16 se muestra el pozo de oxidación. Al segundo ingresa aguas servidas de la parte baja del distrito desembocando en el anexo de Rundo.

Figura 2.16. Pozo de oxidación del distrito de Daniel Hernández.

Figura 2.17. Contaminación del rio Opamayo por aguas provenientes del pozo de oxidación del distrito de Daniel Hernández

De la Figura 2.17 podemos afirmar que el rio Opamayo se contamina con desechos orgánicos e inorgánicos, por lo que estas aguas están eutrofizadas. Esta eutrofización es cíclica, se produce en las épocas de estiaje, de manera que al llegar a la época de lluvias todo el cauce es limpiado. No se conoce el grado de contaminación a lo largo del rio Opamayo, por lo que es necesario instrumentar y medir en tiempo real el pH del agua.

2.3.2. ECA-agua

Norma ambiental aprobada con Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (MINAM, 2017), que categoriza la calidad del agua. El Decreto supremo en mención establece los niveles de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos y químicos y biológicos, presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos que no represente riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

- Categoría 1: Poblacional y recreacional.
- Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de Animales.
- Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

Se enfatiza la categoría 4 que es el ambiente donde se desarrollará esta investigación.

2.3.2.1. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

- **Ríos de la costa y sierra**

  Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

2.3.3. PLC Compact Logix 1769-L32E

El PLC es el “cerebro” del sistema de automatización, donde se programan las rutinas que controlan tanto la temperatura del agua como el pH del agua del río Opamayo. A continuación, se describen algunas de sus características, los módulos de entrada y salida conectados al controlador, y el software utilizado para su programación.

La CPU incorpora un puerto para la comunicación en una red PROFINET. Los módulos de comunicación están disponibles para la comunicación en redes RS485 o RS232. Los diferentes modelos de CPUs ofrecen una gran variedad de funciones y prestaciones que permiten crear soluciones efectivas destinadas a numerosas aplicaciones.

2.3.3.1. Estructura básica del PLC 1769-L32E

El controlador CompactLogix 1769-L32E siempre es el módulo del extremo izquierdo en el sistema (ver Figura 2.18). Este debe ubicarse a una distancia de no más de 4 módulos de la fuente de alimentación. Se comunica por serial y Ethernet con dispositivos, posee una tarjeta de memoria flash para actualizaciones del firmware del controlador, por medio de la llave se establece el modo de operación, posee LEDS indicadores de estado del procesador, tal como se muestra en la Figura 2.18.

Figura 2.18. Características del Controlador 1769-L32E

(Fuente: Manual del usuario de controladores CompactLogix 1769, pág. 34).

En la Tabla 2.6 se presenta las principales características técnicas de procesador CompactLogix 1769-L32E**.** En el manual 1769-L32E se encontrarán las características técnicas del Procesador.

Tabla 2.6. Características técnicas de procesador CompactLogix 1769-L32E.

ESPECIFICACIONES	**1769-IF4 (serie B o posterior)**
Puertos de comunicación.	CH0 - RS-232 EtherNet/IP RS-232 RJ-45 ó 10BaseT DF1 EtherNet/IP 38.4 Kbytes/seg máximo 10/100 MBytes/seg
Memoria del usuario.	750 Kbytes
Memoria no volátil.	1784-CF64 CompactFlash
Número de módulos de E/S	16 módulos de E/S máximo
Número máximo de bancos.	3 bancos de E/S
Corriente del backplane.	660 mA a 5 VDC, 90 mA a 24 VDC
Disipación de energía.	4.74 W

Puerto de comunicación Ethernet

Se asigna una dirección IP al puerto Ethernet para que el controlador se comunique con una PC, Laptop y con cualquier otro dispositivo en la red Ethernet (ver Figura 2.19).

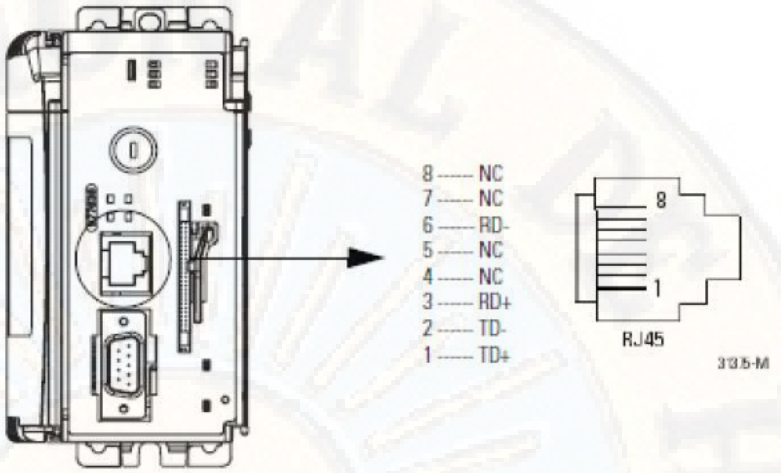

Figura 2.19. Conexión Ethernet del PLC.

Para la asignación de la dirección IP se utiliza el software RSLinx Classic, esta operación consta de una serie de pasos que se mencionan a continuación.

a. Conectar el PLC a la red Ethernet y encenderlo.
b. Conectar el controlador mediante la conexión serie.
c. Iniciar el RSLinx y abrir la ventana RSWho. Navegar en RSWho a la red Ethernet.
d. Establecer una IP fija para la comunicación.

El canal EtherNet/IP integrado de 10/100 Mbps en el procesador permite hasta 32 conexiones EtherNet/IP de alta velocidad para E/S distribuidas, sensores y accionadores, tales como los variadores de velocidad; enclavamiento de datos en tiempo real con otros controladores EtherNet/IP, tales como ControlLogix o FlexLogix; y compartición de datos de alta velocidad con sistema HMI, tales como IGSS, Factory Talk View y servidores OPC.

2.3.3.2. Módulo de entrada digital 1769-IQ16

El módulo de entrada digital 1769-IQ16 es un módulo de entrada digital de voltaje continuo, su tiempo de respuesta

está comprendido entre 1 y 2 ms, éste es el módulo más rápido de la gama CompactLogix que posee 16 entradas de alta velocidad.

Figura 2.20. Módulo de entrada digital 1769-IQ16

Características.

En la Tabla 2.7, se presenta las principales características del módulo de entradas digitales 1769-IQ16**.**

Tabla 2.7. Características técnicas del módulo de entradas digitales 1769-IQ16.

ESPECIFICACIONES	**1769-IQ16**
Categoría de voltaje	24 VDC
Rangos de voltaje de operación	10 a 30 VDC a 30 °C (86 °F) 10 a 26.4 VDC a 60 °C (140 °F)
Número de entradas	16
Consumo de corriente del bus (máx.)	110 mA a 5 VDC (0.55 W)
Disipación del calor	3.55 watts totales (Los watts por punto, más el mínimo de watts, con todos los puntos activados).
Retardo de hardware	Desactivado a activado 100 µs (típico) 300 µs (máximo) Activado a Desactivado 250 µs (típico) 1 ms (máximo)
Voltaje de estado desactivado (máx.)	5 VDC
Corriente de estado desactivado (máx.)	1.5 mA
Voltaje de estado activado (mín.)	10 VDC
Corriente de estado activado (mín.)	2.0 mA
Corriente de entrada al momento del arranque (máx.)	250 mA

Fuente: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ in/1769-in048_-en-p.pdf

2.3.3.3. Módulo de salida digital 1769-OW8I

Los módulos de salidas digitales son del tipo relé de 8 puntos, son utilizados como interruptores o pulsadores (Figura 2.21), trabajan de 5 a 265 VAC y de 5 a 125 VDC.

Este módulo sirve para el accionamiento de relés electromagnéticos, contactores, y otros actuadores o elementos de control de procesos. La respuesta de accionamiento es rápida en la activación y desactivación.

Figura 2.21. Módulo de salidas digitales 1769-OW8I.

Características.

En la Tabla 2.8 se presenta las principales características técnicas del módulo de salida tipo Relé 1769-OW8I.

Tabla 2.8 Características técnicas del módulo de salidas digitales 1769-OW8I.

Especificación	**1769-OW8I**
Rango de voltaje de operación	5 a 265 VAC, 5 a 125 VDC
Número de salidas	8
Consumo de corriente del bus (máx.)	125 mA a 5 VDC (0.625 W), 100 mA a 24 VDC (2.4 W)

Disipación del calor	2.83 Watts total.
Retardo de señal (máx.) – carga resistiva	activación = 10 ms desactivación = 10 ms
Corriente de estado activado (mín.)	10 mA a 5 VDC
Corriente continua por común (máx.)	8 A
Corriente continua por módulo (máx.)	16 A

Fuente: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ in/1769-in048_-en-p.pdf

2.3.3.4. Módulo de entrada analógico 1769-IF4

Este tipo de módulo (Figura 2.22) de entrada analógica tiene 4 canales de entrada de voltaje/corriente que puede ser configurado independientemente. El rango de corriente de trabajo de este módulo es de 0 a 20 mA; para más seguridad de los equipos se utilizan de 4 a 20 mA. El voltaje de operación con señales es de ±10 VDC.

Figura 2.22. Módulo de entrada analógico 1769-IF4

Características.

En la Tabla 2.9 se presenta las principales características técnicas del Módulo de Entrada Analógica 1769-IF4.

Tabla 2.9. Características técnicas del módulo de entradas analógicas IF4.

ESPECIFICACIONES	**1769-IF4**
Rangos de operación analógica Normal	Voltaje: ± 10 VDC Corriente: de 4 a 20 mA
Rangos analógicos de escala total	Voltaje: ± 10.5 VDC, de -0.5 a 10.5 VDC. Corriente: de 3.2 a 21 mA
Número de salidas	4 diferenciales o unipolares
Consumo de corriente del bus (máx.)	120 mA a 5 VDC 60 mA a 24 VDC
Disipación del calor	2.52 watts totales.

Fuente: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ in/1769-in048_-en-p.pdf

2.3.3.5. Programación del PLC

La programación, del PLC ControlLogix y del PLC CompactLogix, se realiza utilizando el software RSLogix 5000. Para la comunicación de los PLC‘s con la computadora se utiliza el software RSLinx Lite.

Software de programación RSLogix 5000:

El software RSLogix 5000 (Figura 2.23) fue diseñado para funcionar con las plataformas Logix de Rockwell Automation. Es un software que cumple con la normativa IEC 61131-3, ofrece editores de programa con lógica de escalera de relés, texto estructurado, diagramas de bloques de funciones y diagramas de función secuencial.

Figura 2.23. Presentación del software de programación RSLogix 5000.

Características del RSLogix 5000:

- Importación de rutinas en tiempo de ejecución, fases, programas y nuevas instrucciones.
- Instrucciones de bloques de funciones en proceso avanzado.
- Compatibilidad de hardware para la familia 1769-L23 de controladores compactos, switches industriales.
- Control de movimiento programable.
- Administración de las bibliotecas RSLogix Architect.
- Adición de variadores.
- Informe del controlador.
- Sincronización de archivos.
- Compatibilidad con la familia escalable de controladores programables de automatización Logix.

RSLinx:

El software RSLinx en su versión Classic (Figura 2.24) es un servidor de comunicación que proporciona conectividad a dispositivos de la planta para una amplia variedad de aplicaciones de software como RSLogix 5, RSLogix 500 y

RSLogix 5000. Además, se proporcionan interfaces abiertas para productos de otros fabricantes como HMI, paquetes de recolección y análisis de datos, y software cliente con aplicación diseñado a medida.

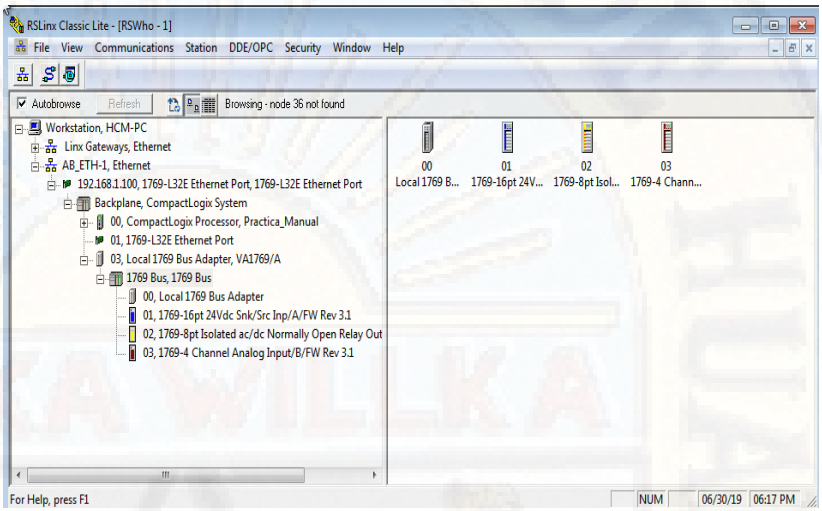

Figura 2.24. Software de comunicación RSLinx Classic.

2.3.4. Software para el tratamiento de datos

Inicialmente los datos provenientes del sensor de pH son escalados y normalizados por medio de un algoritmo, estos datos son enviados a un servidor web. Los datos del servidor web fueron extraídos por medio de una interface HMI y almacenados en una base de datos, luego se hizo el análisis empleando el índice de calidad de agua referente al pH propuesto por Brown con un software de análisis estadístico. En consecuencia, los softwares que se emplearán son los siguientes:

2.3.4.1. Arduino IDE

Es un entorno de desarrollo (ver Figura 2.25) en él que se realiza la programación de las placas de Arduino y ESP 32. Tiene como base el entorno de Processing al igual que un

lenguaje de programación fundamentado en Wiring, es código fuente es abierto[3].

Figura 2.25. Interface de programación del Arduino IDE

2.3.4.2. Thingspeak

Thingspeak es una plataforma que nos permite tener gráficas de datos actualizables en tiempo real y accesibles desde Internet de forma pública o privada. Se puede controlar de forma gratuita hasta ocho parámetros analógicos o digitales con varios tipos de gráficas, en la Figura 2.26 se tiene el diagrama de operaciones de ThingSpeak. Se envía los datos como: temperatura, presión, luminosidad, voltaje, etc, a través de Internet con un ESP8266 que permite enlazar por medio del WiFi. Cada dato va a un campo determinado y genera la correspondiente gráfica (Thingspeak, s. f.).

[3] *Código Fuente de Arduino IDE. Disponible en URL: https://github.com/arduino/Arduino/wiki/Building-Arduino, referenciado en 12 de octubre de 2018.*

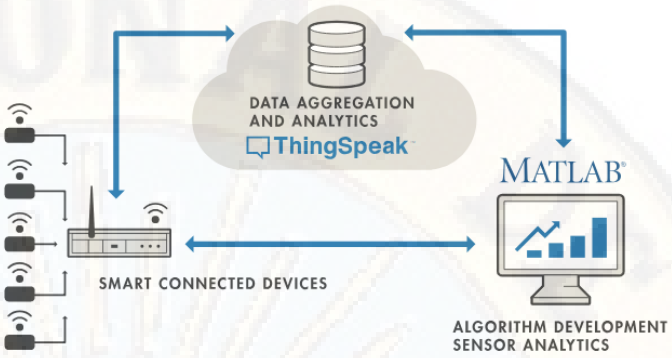

Figura 2.26. Diagrama de operación de Thingspeak

Para la configuración; se debe dar de alta en Thingspeak pulsando Get Started For Free y rellenando los campos que se piden. Después se define los campos a usarse hasta un máximo de 8. En cada gráfica generada se puede ajustar varios parámetros, valores max y min, color, etc.

En el proceso de alta, se debe tomar nota del Channel ID que permite acceder a las gráficas desde Internet con el formato: https://thingspeak.com/channels/xxxxxx/private_show.

El Write API Key permite subir los datos desde el programa de aplicación en campo. El Read API Key permite leer los datos desde una interface.

2.3.4.3. Labview NXG

LabVIEW NXG permite configurar, automatizar y visualizar los resultados de las pruebas con sensores y actuadores, todo en una sola herramienta. Reduce el tiempo de medida con la identificación automática del controlador de instrumentos para miles de instrumentos y personaliza el sistema con un enfoque de diseño integrado de clic y arrastre (drag-and-drop) (National Instruments, 2018). Los resultados de los procesos pueden ser vistos desde cualquier parte al

desarrollar interfaces de usuario basadas en web que pueden ser implementadas en cualquier navegador web, PC, tablet o teléfono, sin necesidad de plugins o instaladores, siendo estas las características esenciales del Labview NXG para pruebas automatizadas (NI, 2019a).

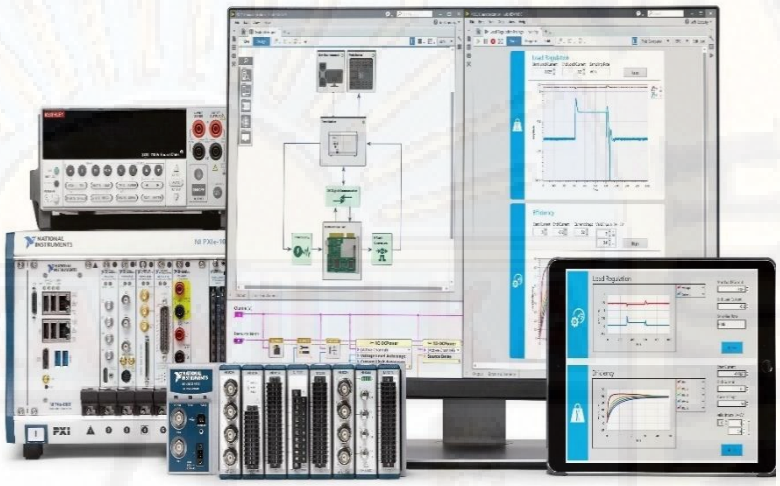

Figura 2.27. Características esenciales de LabVIEW NXG para Pruebas Automatizadas.

2.3.4.4. Módulo web de LabVIEW NXG

El Módulo de Web de LabVIEW NXG tiene características que hacen a las interfaces de web más dinámicas y añade opciones avanzadas para los desarrolladores de web para integrar las funciones de web existentes (NI, 2019b), como:

- La Interfaz de la Biblioteca de JavaScript para integrar bibliotecas JavaScript existentes y añadir funcionalidad adicional a las interfaces de web como Google Maps.
- Soporte para los eventos y propiedades más comunes que usted puede usar para crear aplicaciones de web más dinámicas.
- El software SystemLink™ Cloud, un servicio de nube alojado por NI con hosting de web sencillo y seguro para las interfaces de web

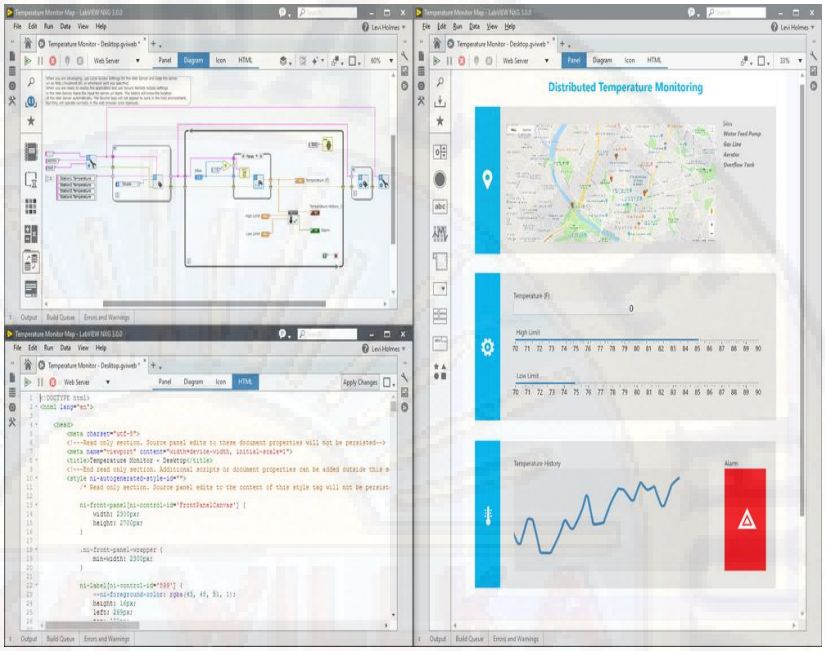

Figura 2.28. El Módulo Web de LabVIEW NXG permite a los usuarios de LabVIEW crear interfaces con java script.

2.3.4.5. Google Maps

Google Maps es servidor de aplicaciones de mapas en la web que pertenece a Alphabet Inc. Ofrece imágenes de mapas desplazables (ver Figura 2.29), así como fotografías por satélite del mundo incluso la ruta entre diferentes ubicaciones o imágenes de recorrido por calle con Google Street View.

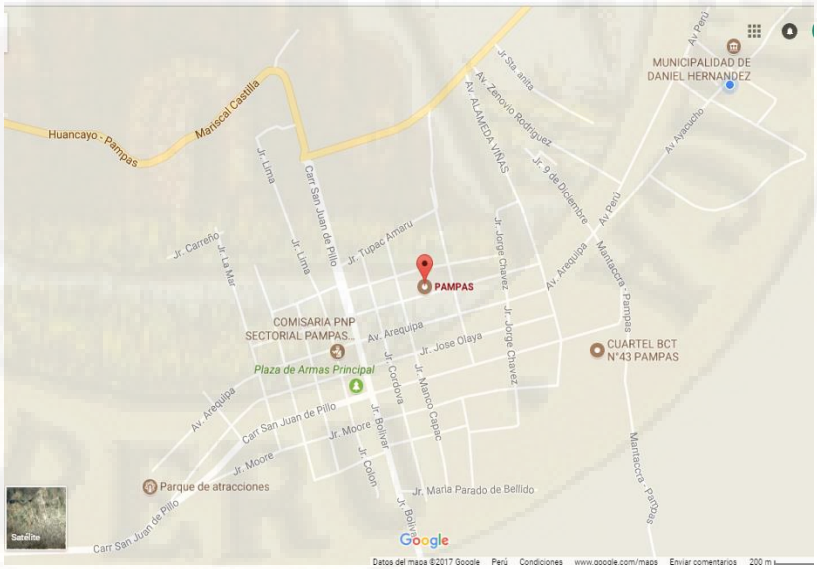

Figura 2.29. Ubicación con Google Maps.

Existe una variante a nivel entorno de escritorio llamada Google Earth que ofrece Alphabet Inc. también de forma gratuita. En 2014, los documentos filtrados por Edward Snowden revelaron que Google Maps es parte y víctima del entramado de vigilancia mundial operado por varias agencias de inteligencia occidentales y empresas tecnológicas (Larry, 2016).

Características:

Google Maps ofrece la capacidad de acercar y alejar para mostrar los detalles en el mapa. Se controla el mapa con el mouse o las teclas de dirección para moverse a la ubicación que se desee. Puede ser usada las teclas «+» y «-» para un movimiento más rápido y controlar el nivel de zoom.

Los resultados de la búsqueda son restringidos a una zona, gracias a Google Local. Se puede adoptar estas APIs para desarrollar aplicaciones específicas orientadas a la solución de problemas.

Las coordenadas de Google Maps están en el sistema WGS842 (mismo sistema que usan los GPS), mostrándose la latitud y longitud, positiva para Norte y Este, negativa para Sur y Oeste.

Poner el código en aplicaciones permite al navegador web graficar el mapa usados en la Nasa World Wind o TerraServer-USA, los cuales, en algunos casos, tienen imágenes de mayor resolución. javascript:void(prompt(, gApplication.getMap() .getCenter())).

2.3.4.6. KepServer EX

KepServerEx es un servidor OPC que proporciona un túnel de comunicaciones entre dos o más equipos, permitiendo que

los datos sean transferidos con seguridad (no requiere una conexión VPN) y de manera fiable siendo extensa la posibilidad de comunicación (ver Figura 2.30).

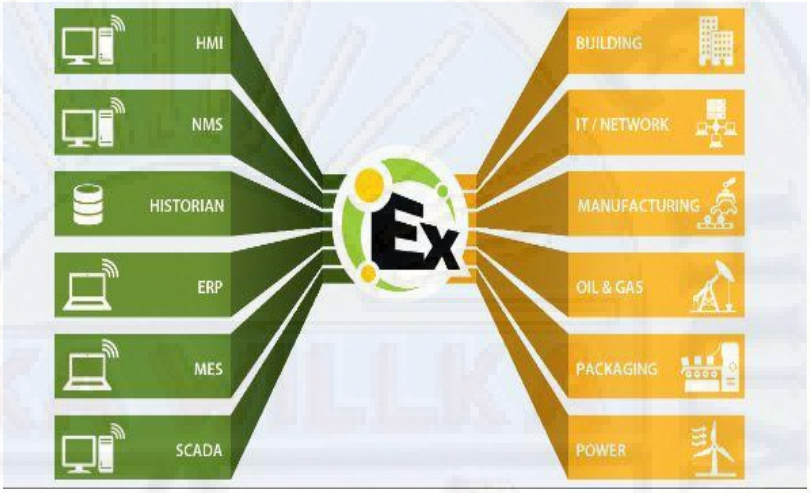

Figura 2.30. Posibilidades de comunicación con KepServerEX.

Elimina la dependencia de la tecnología de Microsoft COM y DCOM proporcionando un alto rendimiento y fiabilidad en las conexiones (Kepware, 2019).

La gama amplia de drivers diferentes permiten a KepServerEX ser el servidor de datos basado en tecnología OPC para comunicar con casi cualquier dispositivo y sistema. Se pueden agregar múltiples drivers de comunicación dentro de un único servidor OPC sin necesidad de aprender nuevos protocolos de comunicación

2.3.4.7. IGSS

El sistema IGSS (Integrated Global SCADA System) de Schneider es una de las herramientas más completas y potentes del mercado de automatización de procesos y sistemas de supervisión de plantas (Interempresas, 2016)(Interempresas, 2016).

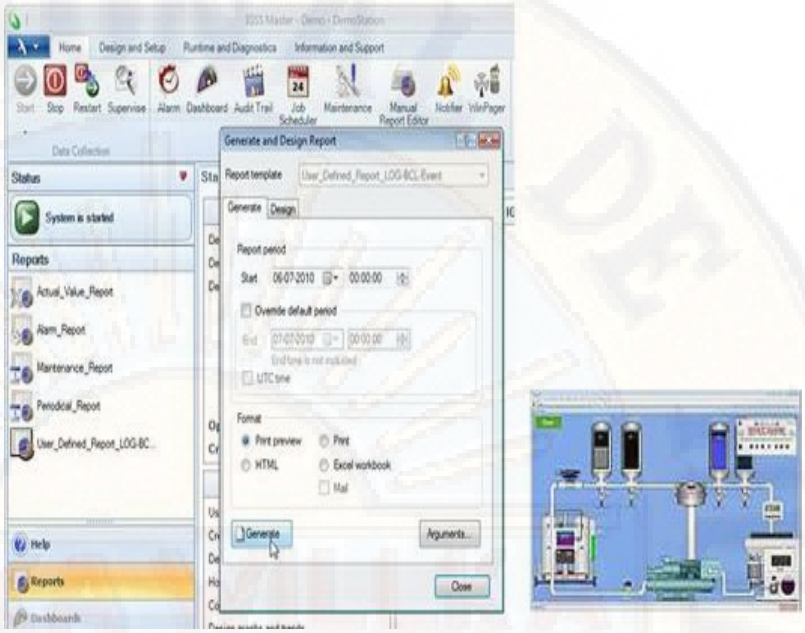

Figura 2.31. Interface IGSS de Schneider

Características:

- Licencia todo en uno del sistema SCADA/HMI tiene todas las funciones necesarias para generar un proyecto "llave en mano".
- Independiente del Hardware los drivers estan optimizados para IGSS, y también soporta OPC.
- La versión de 50 elementos es gratis, monousuario y es escalable hasta una multiusuario con redundancia, hasta 99 estaciones de trabajo y 400,000 elementos.
- Panel de Instrumentos: el usuario final puede crear sus propios tags, curvas de tendencia, históricos e informes.
- IGSS está funcionando en industrias alimentarias, plantas térmicas, control de tráfico, depuración de aguas, barcos e instalaciones offshore, entre otras.

2.4. Definición de términos

- **Agua potable:** Se denomina agua potable o agua para el consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción para beber o

preparar alimentos. En la Unión Europea la normativa 98/83/EU establece valores máximos y mínimos para el contenido en minerales y diferentes iones como cloruros, nitratos, nitritos, amonio, calcio, magnesio, fosfato, arsénico, entre otros, además de los gérmenes patógenos. El pH del agua potable debe estar entre 6.5 y 9.5.[4]

- **Caracterización de potencial de hidróge**no: determinar los atributos peculiares de las aguas del rio Opamayo relacionados al pH, a lo largo de su trayecto.
- **Contaminación del agua:** La contaminación hídrica o la contaminación del agua es una modificación de esta, generalmente provocada por el ser humano, que la vuelve impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales (Consejo_de_Europa, 2006).
- **Cuerpo de agua:** Un cuerpo de agua es cualquier extensión que se encuentran en la superficie terrestre (ríos y lagos) o en el subsuelo (acuíferos, ríos subterráneos); tanto en estado líquido, como sólido (glaciares, casquetes polares); tanto naturales como artificiales (embalses) y pueden ser de agua salada o dulce (Wikipedia, 2019).
- **Río Opamayo:** río ubicado en el valle de Pampas-Tayacaja.
- **Sensor de pH:** dispositivo construido con electrodos de vidrio conectado a una tarjeta electrónica para proporcionar el pH del agua en señal eléctrica en voltios (Scidle, 2017b).
- **Sistema de información:** es un conjunto de elementos orientados al tratamiento y administración de datos e información, organizados y listos para su uso posterior, generados para cubrir una necesidad o un objetivo (Shaikh y Karjaluoto, 2015). En esta investigación se empleará para la transmisión y almacenamiento de datos en un servidor web y posterior tratamiento en un software de análisis.
- **Tiempo real:** Un sistema en tiempo real es aquel sistema digital que interactúa activamente con un entorno con dinámica conocida en relación

[4] Wikipedia. Agua potable. http://es.wikipedia.org/wiki/aguapotable%C3%B3n. Referenciado el 17 de mayo de 2018.

con sus entradas, salidas y restricciones temporales, para darle un correcto funcionamiento de acuerdo con los conceptos de predictibilidad, estabilidad, controlabilidad y alcanzabilidad (Pascow, s. f.).

- **Sistema de control:** Es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados. Por lo general, se usan sistemas de control industrial en procesos de producción industriales para controlar equipos o máquinas[5].
- **Sistema de Información Geográfica (GIS)** de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android. Permite manejar formatos ráster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR, así como bases de datos.
- **Supervisión:** Es la acción y efecto de supervisar, un verbo que supone ejercer la inspección de un trabajo realizado por otra por un sistema de trabajo o de una persona[6].

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

La característica del potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas-Tayacaja, es variante a lo largo de su distribución geoespacial y temporal.

2.5.2. Hipótesis específica

a. El comportamiento del pH de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas-Tayacaja es dependiente de las fuentes de contaminación distribuidos a lo largo del trayecto del río y temporadas.
b. El tiempo necesario para caracterizar el parámetro pH de las aguas del río Opamayo por un sistema electrónico es menor a 1000 ms.

[5] Wikipedia. Sistema de control. https://es.wikipedia.org/wiki/Sitma_de_control. Referenciado el 17 de mayo de 2018.
[6] Wikipedia. Supervisión. http https://es.wikipedia.org/wiki/Supervici%C3%B3n. Referenciado el 17 de mayo de 2018.

2.6. Definición operativa de variables e indicadores

Las variables identificadas que permiten demostrar las hipótesis son los siguientes:

2.6.1. Variable independiente

- Distribución geoespacial y temporal = DGET

2.6.2. Variable dependiente

- Característica del potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo = CpHARO.

Tabla 2.10. Definición operativa de variables e indicadores.

Variable independiente	Definición operativa	Indicadores	Instrumentos
Distribución geoespacial de las aguas del rio Opamayo	Las aguas del río Opamayo se encuentran distribuido geoespacialmente a lo largo del valle de Pampas – Tayacaja, este último comprende los distritos de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia. En este trayecto se tiene 04 pozos de oxidación de desechos que vierten aguas servidas al lecho del río, lo que ocasiona la variación del pH, además esta variación depende de las épocas de avenida y estiaje.	- Latitud (°) - Longitud (°) - Altitud (msnm)	- GPS NEO 6M - Google Maps
Variable dependiente	**Definición conceptual**	**Indicadores**	**Instrumentos**
Característica del potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo.	El potencial de hidrógeno (pH) a lo largo del trayecto del río Opamayo es variante, desde la naciente en el distrito de Acraquia hasta su desembocadura en el distrito de Daniel Hernández. La variación del pH está directamente relacionada con el grado de contaminación de estas aguas y las épocas. La caracterización del pH se llevará acabo con sensores e instrumentos calibrados y serán desplegados en tiempo real sobre un mapa GIS.	- Variación del potencial de hidrógeno en tiempo real de las aguas del río Opamayo (pH).	- Sensor de pH. - PLC - Acces point Wifi. - Servidor Web. - Mapa GIS - Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El trabajo de investigación es del tipo Tecnológico. (Cegarra, 2004) estable que la investigación tecnológica, también denominada de desarrollo, tiene por finalidad la invención de artefactos o de procesos con el objeto de solucionar un problema. El trabajo se clasifica en este tipo ya que se desarrolló y estableció la configuración del sistema electrónico que permite caracterizar en tiempo real el potencial de hidrógeno en el río Opamayo del valle de Pampas.

3.1.2. Nivel de investigación

Por los objetivos que se persigue, el nivel de investigación a la que corresponde es descriptiva. (M. Hernández, 2012) define el nivel descriptivo como aquel que se efectúa cuando se desea describir, en todos sus componentes principales, una realidad. En la investigación se evidencia y caracteriza la variación del potencial de hidrógeno de las aguas del río Opamayo a lo largo de su distribución geoespacial en el valle de Pampas-Tayacaja.

3.2. Método de investigación

En esta investigación se empleó el método científico y se utilizó como proceso lógicos la deducción. (Carvajal, 2013) estima que la deducción se entiende a toda conclusión a la que lleguemos después de un razonamiento. La toma de las muestras del potencial de hidrógeno a lo largo del trayecto del

rio Opamayo hizo uso del proceso de toma de datos y el despliegue de las características de esta variable sobre una interface HMI hace uso del proceso deductivo.

La metodología de mediciones y toma de muestras se llevó a cabo en el marco del protocolo nacional de monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos (ANA, 2016). Esta metodología establece realizar mediciones de 50 a 100 metros aguas arriba del vertimiento y rio abajo a 200 metros, al igual que en las fuentes tributarias, este criterio puede variar dependiendo de la naturaleza de las fuentes contaminantes.

Las mediciones se llevaron a cabo en épocas de estiaje y época de lluvias: en época de estiaje se tomaron muestras en el mes de octubre del año 2018 y junio del año 2019; en época de lluvia se tomaron muestras en el mes de enero 2019 y finales de marzo 2019. Para las mediciones se consideraron puntos accesibles como: puentes y pozos de oxidación.

Se establecieron 25 puntos de muestreo a lo largo de 32.177 Km. del río Opamayo desde su origen hasta la localidad “La Colpa” en el distrito de Daniel Hernández (ver Figura 2.32).

Figura 3.1. Establecimiento de puntos de muestreo.

En las fuentes contaminantes como son los pozos de oxidación se hicieron mediciones de pH y temperatura a distancias antes y después de la vertiente:

para el pozo de oxidación del distrito de Acraquia se midió a 100 m. antes y 200 m. después de la vertiente, por las facilidades de acceso; para el pozo de oxidación del distrito de Ahuaycha se midió a 50 m. antes y 200 m. después de la vertiente; para el pozo de oxidación de los distritos Pampas - Daniel Hernández se midió a 100 m. antes, por la injerencia del riachuelo Viñas que en las épocas de estiaje es un foco contaminante, y 200 m. después de la vertiente; para el pozo de oxidación del distrito de Daniel Hernández ubicado en el anexo de Rundo se midió a 50 m. antes y 200 m. después de la vertiente, en la vertiente de agua salada en la localidad "La Colpa" se realizaron mediciones 50 metros antes.

3.3. Diseño de investigación

En esta investigación se empleó el diseño no experimental. (R. Hernández, Fernández, y Baptista, 2014) señala que este diseño es la que se realiza sin manipular deliberadamente las variables. En la investigación se determina la característica del potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo a lo largo de su trayecto, con mediciones del pH de acuerdo al protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (ANA, 2016). El diseño de la investigación queda representada con el siguiente esquema:

M0: O0
M1: O1
M2: O2
.
.
.
M24: O24

Comparación O0, O1, … O24 con ICA-NFS

Donde:

M0, M1, M2 ... M24: Son las muestras seleccionadas para la investigación.

O0, O1, O2 ... O24: Son datos del pH en diferentes puntos de muestreo.

Comparación O0, O1, … O24: que permite la caracterización del agua del rio Opamayo.

Para caracterizar el potencial de hidrógeno (pH) del río Opamayo se empleó el índice de valoración de la calidad del agua establecido por ICA-NFS.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

El trabajo de investigacion se desarrolló en el valle de Pampas, inicialmente se estableció la ubicación y localización geográfica de los puntos de muestreo a lo largo del trayecto del rio Opamayo, donde se midieron el potencial de hidrógeno de forma automática, estas mediciones se consideran infinitas por lo que la población es infinita.

3.4.2. Muestra

Las muestras se establecieron en el marco del protocolo nacional de monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales - Autoridad Nacional del Agua, siendo en cantidad 25 representados como puntos de monitoreo. Las ubicaciones de los puntos de monitoreo se establecieron de forma automática empleando el sistema electrónico que contiene el GPS NEO 6M, estas ubicaciones se presentan en la Tabla 3.1.

En observaciones se indica el lugar al que corresponde la ubicación de los puntos de monitoreo.

Tabla 3.1. Ubicación de los puntos de monitoreo

Puntos de monitoreo	Ubicación				Observación
	Latitud	Longitud	Altura (m)	Distancia	
0	-12.340610	-74.982943	4124	0	Nacimiento del río Acraquia -Cerro Matacencca
1	-12.375030	-74.948003	4104	6501	Parte baja Cerro Matacencca
2	-12.380215	-74.945529	3399	725	Puente 1 San Juan de Pillo
3	-12.381724	-74.942261	3370	413	Puente 2 San Juan de Pillo
4	-12.389082	-74.930949	3310	1747	Puente Huasapuquio
5	-12.396222	-74.921970	3281	1973	Puente 1 Pamuri
6	-12.404860	-74.909142	3265	3163	Puente 2 Pamuri
7	-12.398305	-74.899490	3261	1800	Puente Acraquia
8	-12.399132	-74.897808	3260	289	Pozo Oxidación Acraquia
9	-12.398823	-74.895520	3256	310	
10	-12.397428	-74.884568	3249	1637	Pozo Oxidación Ahuaycha
11	-12.396943	-74.883660	3248	250	
12	-12.394236	-74.875802	3247	1646	Puente Yarccacancha
13	-12.391178	-74.870208	3243	820	Puente Rumichaca
14	-12.388586	-74.866492	3240	706	Pozo Oxidación Pampas-DH
15	-12.386673	-74.864657	3239	370	
16	-12.385533	-74.864554	3238	235	Puente Huilto
17	-12.379238	-74.858725	3228	1256	Puente Quichcapucro
18	-12.375991	-74.855186	3223	937	Puente Santa María
19	-12.370835	-74.848690	3209	1358	Puente Chilcas
20	-12.366904	-74.846182	3206	652	Puente Huallhuayocc
21	-12.352242	-74.836177	3199	3150	Pozo Oxidación DH-Rundo
22	-12.351131	-74.834148	3195	315	
23	-12.341762	-74.829881	3185	1336	Agua Salada "La Colpa"
24	-12.338028	-74.826365	3175	588	Puente La Colpa

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

Se empleó la técnica de la observación y toma de datos directos por instrumentos medidores componentes del sistema electrónico.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Se implementó un sistema electrónico de recolección de datos compuesto por: sensor de temperatura, sensor de pH, microcontrolador ESP 32, GPS NEO 6M, PLC CompactLogix L32E con módulo de entrada analógica 1769 IF4.

En la Figura 3.2, se presenta el diagrama general del sistema electrónico que permitió la recolección de datos.

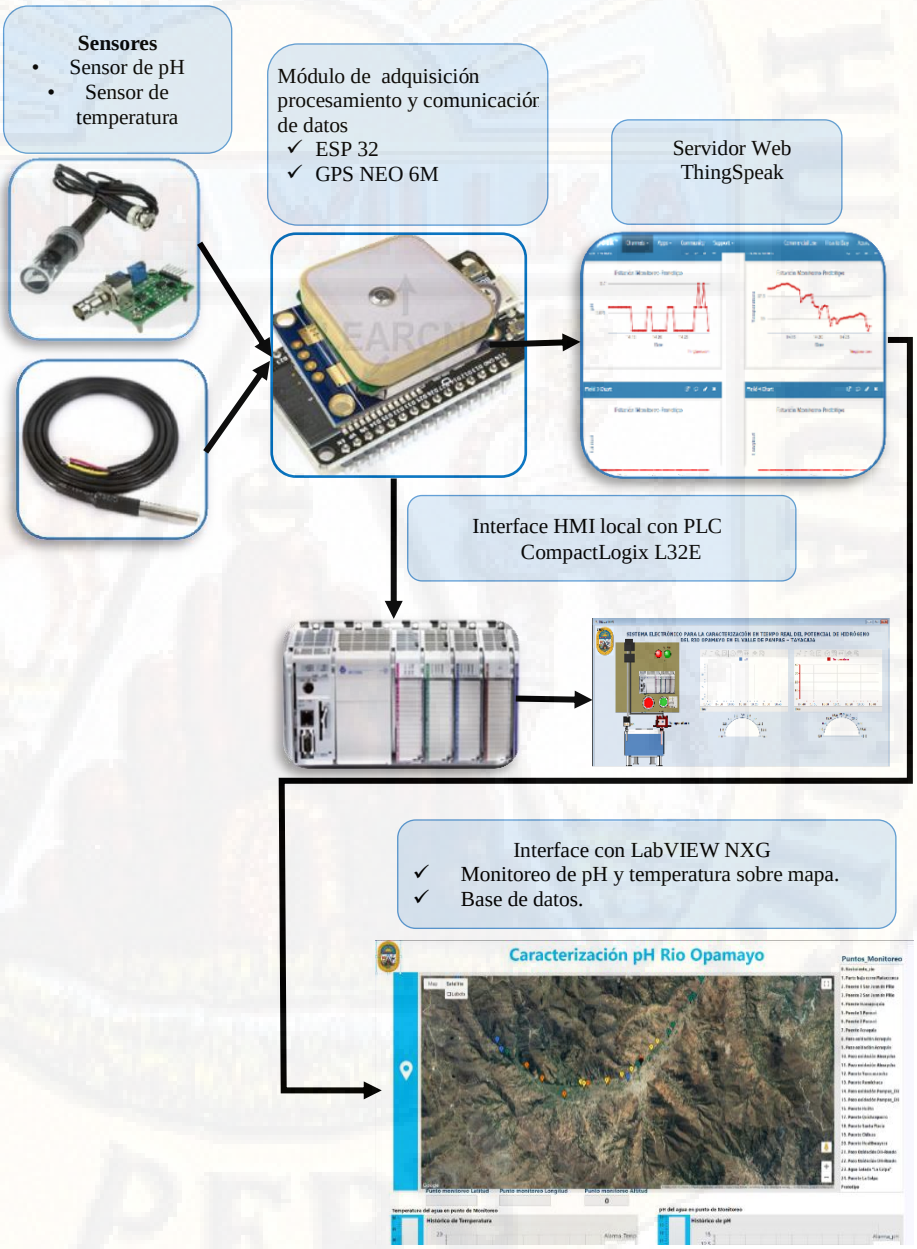

Figura 3.2. Diagrama general del sistema electrónico implementado.

3.5.2.1. Sensores

a. Sensor de pH

El sensor de pH empleado permitió medir el nivel de acidez y alcalinidad de las aguas del río Opamayo, entregando una señal analógica proporcional al pH.

- **Calibración**

En la calibración se empleó Buffer pH 4.01 a 15 °C y pH 10.0 a 15 °C. Para la correcta toma de datos de pH se desarrolló un algoritmo (Figura 3.3) que permitió calibrar y guardar en memoria EEPROM del procesador ESP 32 las medidas del sensor, en forma automática sobre dos puntos: siendo el primero ácido entre 3 y 5, el segundo alcalino entre 8 y 11 de pH.

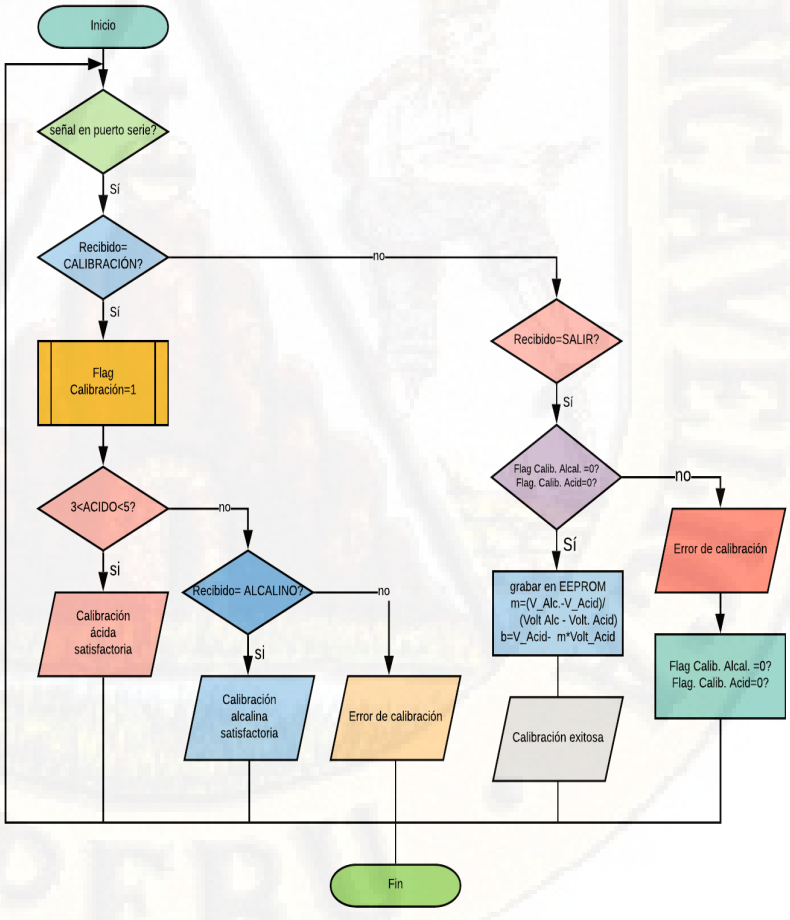

Figura 3.3. Diagrama de flujo del algoritmo de calibración del sensor de pH.

La codificación del algoritmo de calibración desarrollado en Arduino para el procesador ESP 32 se presenta en Apéndice 1-A.

- **Lectura de datos de pH**

Para la lectura de datos de pH del río Opamayo se implementó el algoritmo de la Figura 3.4.

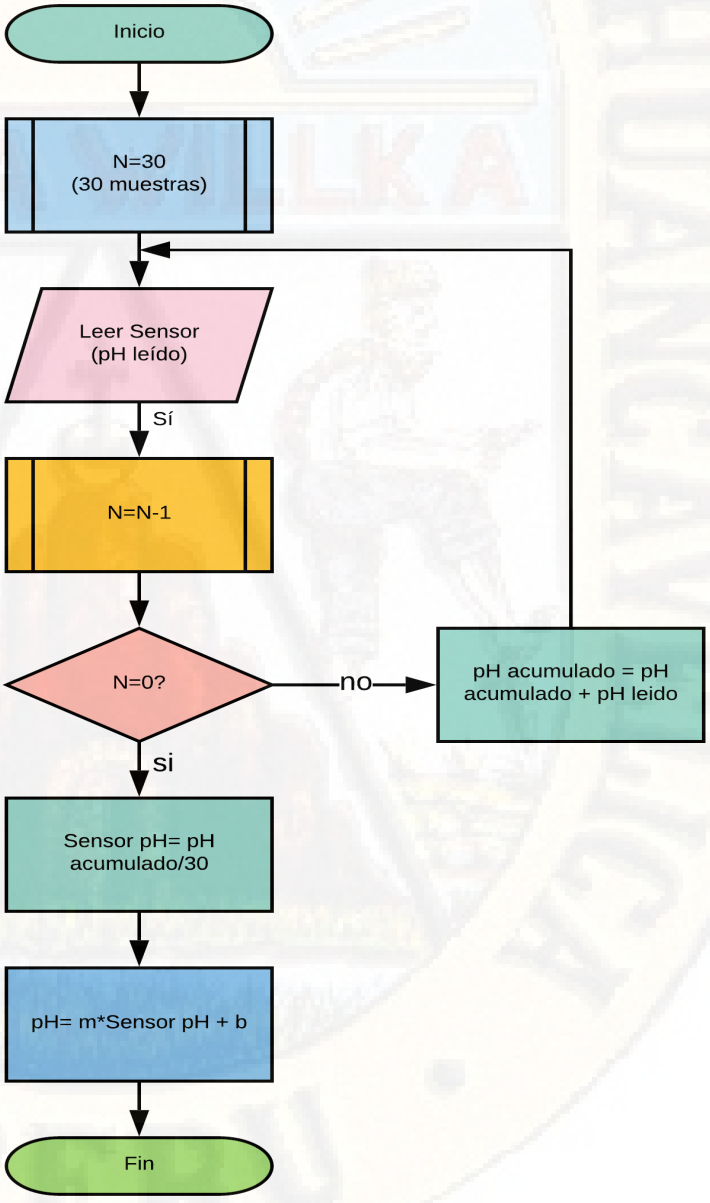

Figura 3.4. Diagrama de flujo del algoritmo de lectura de datos con el sensor de pH.

b. Sensor de temperatura

El sensor de temperatura empleado para medir la temperatura del agua del río Opamayo es el DS18B20, que es un sensor digital de temperatura que utiliza el protocolo 1-Wire para comunicarse, este protocolo necesita solo un pin de datos para comunicarse y permite conectar más de un sensor en el mismo bus. Este sensor tiene un protector que permitió la inmersión en aguas del río Opamayo.

Se implemento el algoritmo de la Figura 3.5 de lectura de temperatura de las aguas del río Opamayo.

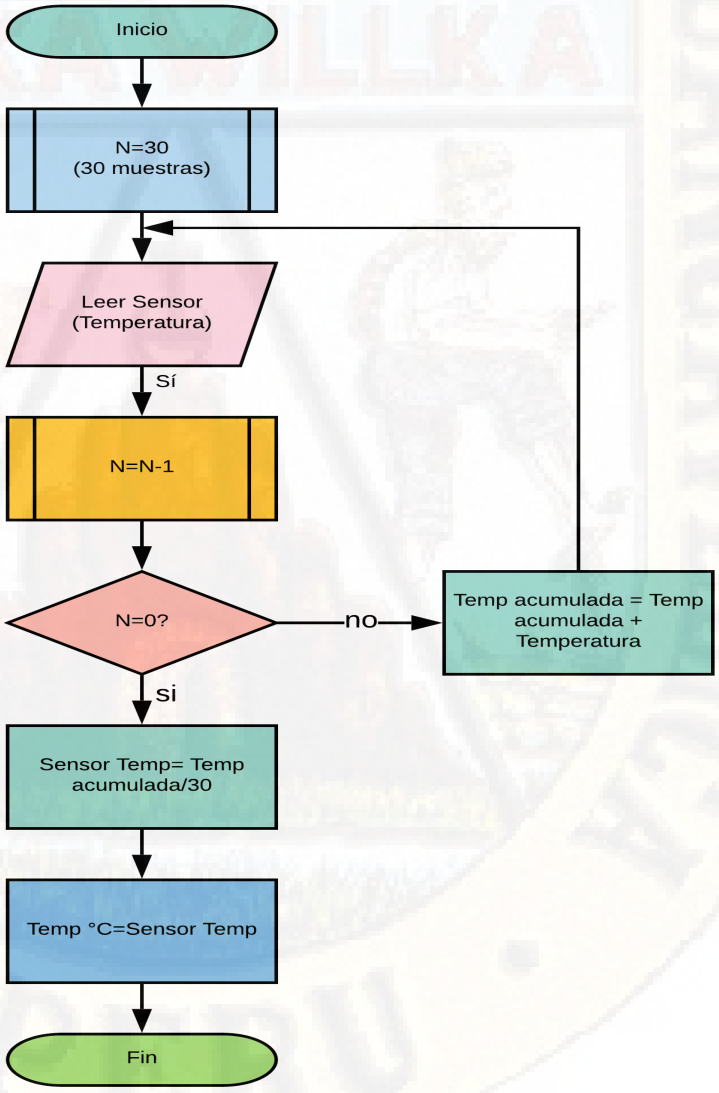

Figura 3.5. Diagrama de flujo del algoritmo de lectura de datos con el sensor de temperatura.

3.5.2.2. Módulo de adquisición, procesamiento y comunicación de datos

Este módulo permite adquirir los datos provenientes de los sensores de pH y temperatura, las mediciones se aplicaron en los 25 puntos de muestreo previamente establecidos. el diagrama de flujo del algoritmo se presenta en la Figura 3.6.

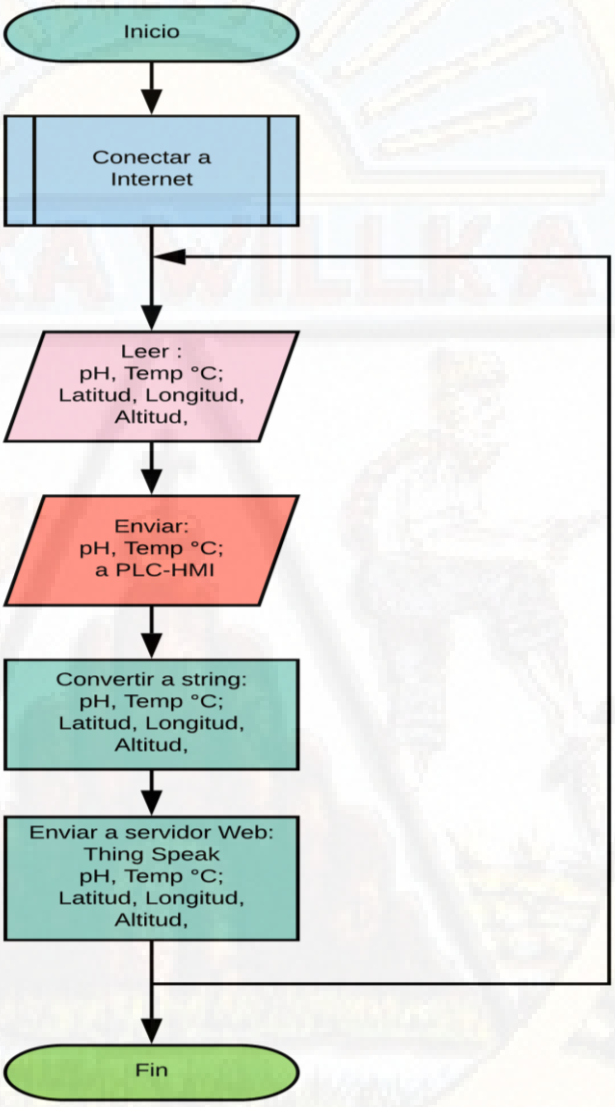

Figura 3.6. Diagrama de flujo del algoritmo implementado para el módulo de adquisición, procesamiento y comunicación de datos.

La codificación del algoritmo de la Figura 3.6 se presenta en el Apéndice 1-B.

3.5.2.3. Interface HMI local con PLC CompactLogix L32E

a. Programación del PLC

El PLC CompactLogix L32E se programó en RSLogix 5000 versión 20, por el protocolo de comunicación establecido en RSLinx por medio de Ethernet. Las señales de pH y temperatura provenientes del módulo de adquisición son leídas por el PLC CompactLogix L32E por medio del módulo analógico 1769-IF4, atreves de las entradas analógicas Ch0 y Ch1. Las señales son normalizadas: el pH a 20 y la temperatura a 50 °C, siendo las fórmulas:

Sensor_pH_Normalizado = Sensor_pH*20/9876 y
Sensor_Temperatura_Normalizado = Sensor_Temperatura*50/9897

La codificación del programa se desarrolló en lenguaje Ladder (escalera), ver Figura 3.7.

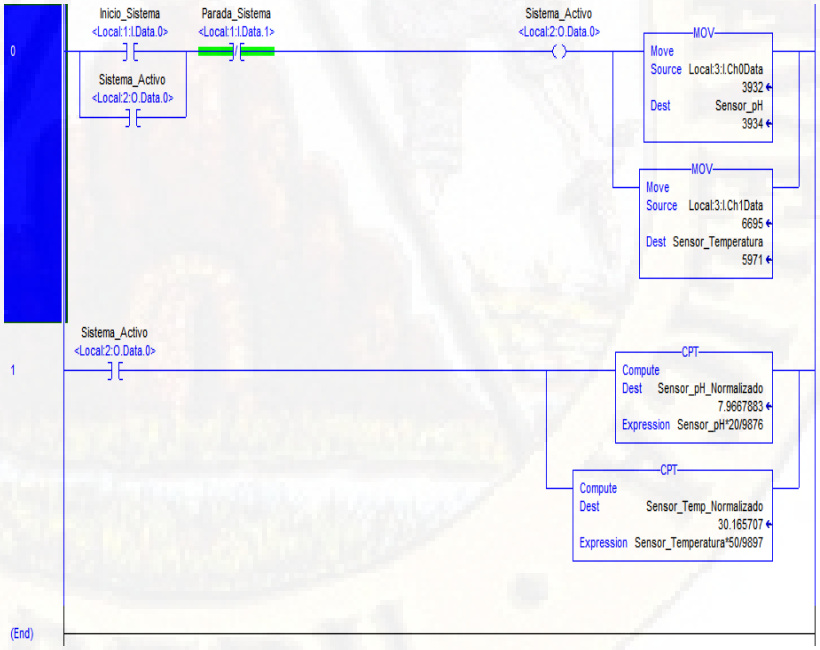

Figura 3.7. Programación del PLC CompactLogix L32E para la interface HMI local del sistema electrónico.

b. HMI en IGSS

La interface hombre máquina se desarrolló en IGSS de Schneider versión Free, donde se visualiza el comportamiento de las variables (tags) por medio de un servidor OPC conectado al PLC CompactLogix por medio del protocolo Ethernet.

El servidor OPC empleado es el Kepserver Ex en su versión de prueba, la configuración de este servidor se presenta en la Figura 3.8.

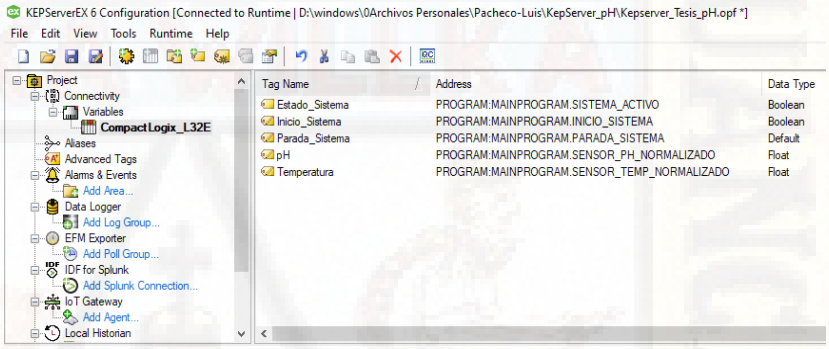

Figura 3.8. Configuración del servidor OPC para la comunicación entre el PLC CompactLogix L32E y la plataforma de desarrollo IGSS para la interface HMI.

La interface HMI local del sistema electrónico de la Figura 3.9 fue desarrollado en IGSS versión 13 de Schneider de libre uso hasta 50 elementos y/o tags.

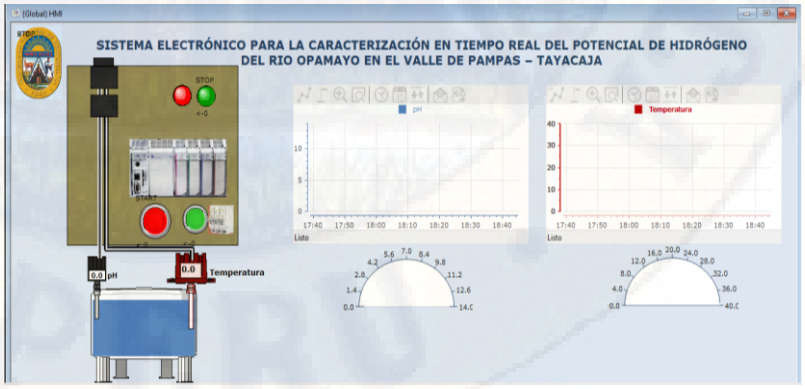

Figura 3.9. Interface HMI local del sistema electrónico desarrollado en IGSS.

3.5.2.4. *Servidor Web ThingSpeak*

ThingSpeak como plataforma de Internet of Things (IoT) permitió recoger y almacenar datos de los sensores en la nube y desarrollar aplicaciones IoT. Los datos provenientes de los sensores de pH y temperatura almacenados en ThingSpeak (Figura 3.10) son leídos de cualquier parte del mundo con acceso a Internet desde la aplicación desarrollado en LabVIEW NXG.

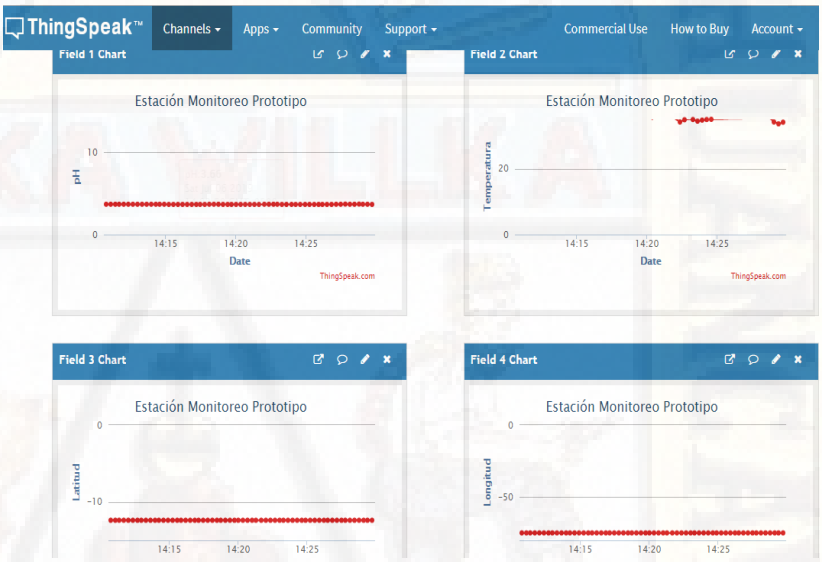

Figura 3.10. Servidor Web ThingSpeak de las diferentes variables que hacen posible el monitoreo de las variables pH, temperatura, Latitud, Longitud y Altura, del punto de monitoreo.

3.5.2.5. *Interface con LabVIEW NXG Web*

LabVIEW NXG Web permitió el desarrollo de una aplicación para el monitoreo de las variables pH y temperatura de las aguas del río Opamayo; Latitud, Longitud y Altura del punto de monitoreo para guardar en una base de datos y desplegar sobre un mapa GIS.

Inicialmente se hace la conexión al servidor Web por medio del programa desarrollado en lenguaje G de la Figura 3.11.

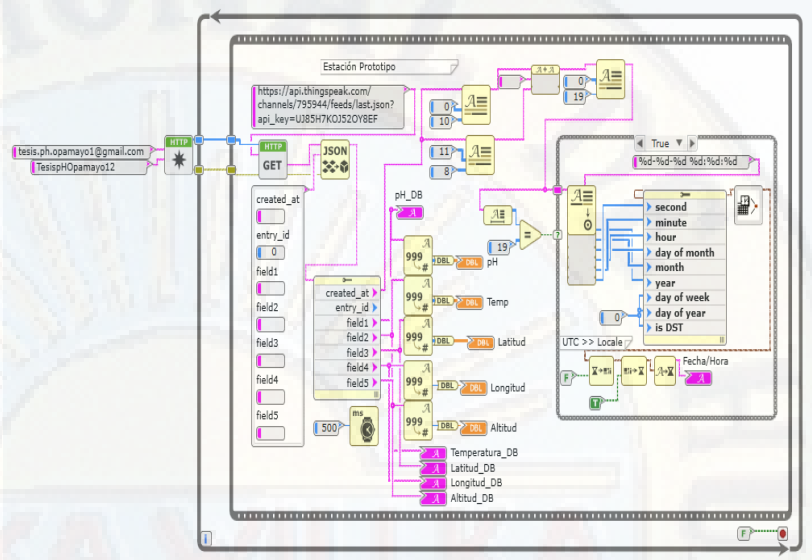

Figura 3.11. Programa en lenguaje G para la lectura de datos del servidor Web.

El sistema electrónico tiene como componente la interface de caracterización del pH de las aguas del río Opamayo que se presenta en la Figura 3.12.

Figura 3.12. Panel frontal de caracterización del pH de las aguas del río Opamayo, desarrollado en LabVIEW NXG Web.

Para el despliegue de los datos del pH se desarrolló un programa en java script (ver Apéndice 1) permitiendo

También, se estableció en la interface, gráficos del comportamiento histórico de las variables pH y temperatura por cada punto de monitoreo (ver Figura 3.13).

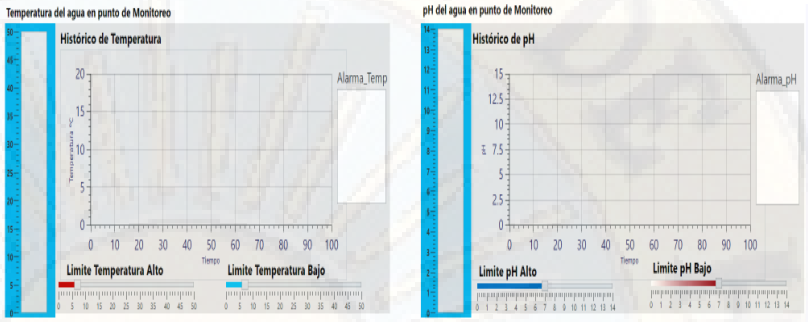

Figura 3.13. Gráficos del comportamiento histórico del pH y temperatura de las aguas del río Opamayo, desarrollado en LabVIEW NXG Web.

Por otro lado, los datos leídos desde la interface son almacenados en una base de datos generado en Excel de Microsoft, los mismos que permitieron caracterizar en tiempo real el potencial de hidrógeno del río Opamayo en el valle de Pampas – Tayacaja. La Figura 3.14 muestra el diagrama en bloques del generador de la base de datos de las variables pH y temperatura de las aguas del río Opamayo, desarrollado en LabVIEW NXG Web.

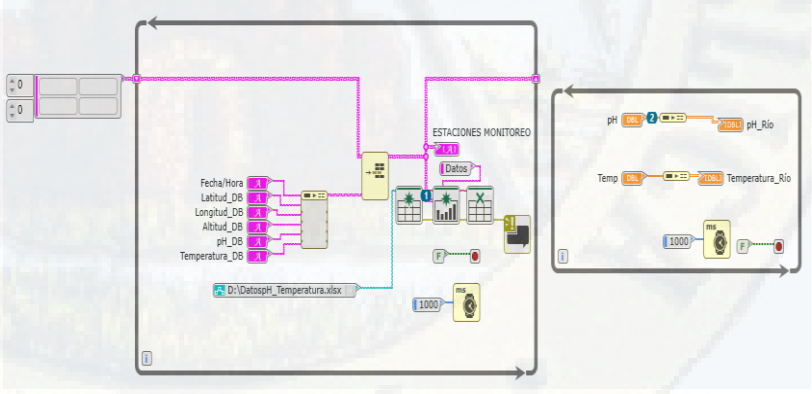

Figura 3.14. Diagrama en bloques del generador de la base de datos de las variables pH y temperatura de las aguas del río Opamayo, desarrollado en LabVIEW NXG Web.

La Figura 3.15 presenta el panel frontal del generador de la base de datos de las variables pH y temperatura de las aguas del río Opamayo, desarrollado en LabVIEW NXG Web.

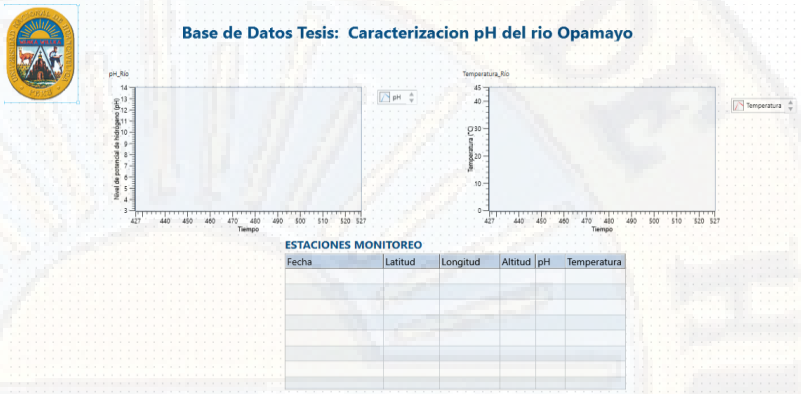

Figura 3.15. Panel frontal del generador de la base de datos de las variables pH y temperatura de las aguas del río Opamayo, desarrollado en LabVIEW NXG Web.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El análisis y procesamiento de datos obtenidos por medición del río Opamayo está basado en el índice de valoración de la calidad del agua presentado por el ICA-NSF. El "ICA" adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del curso de agua en estudio. La caracterización del pH del río Opamayo se ejecuta empleando la Tabla 3.2, que corresponde a la clasificación del ICA agua propuesto por Brown que es una variante del ICA – NSF, con el que se midió el comportamiento del parámetro pH.

Tabla 3.2. Clasificación del ICA propuesto por Brown.

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente: Lobos, José (2002). Evaluación de los contaminantes del Embalse del Cerrón Grande PAES.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

Los datos obtenidos con el sistema electrónico se presentan en el apéndice 2, las mediciones se realizaron en épocas de estiaje (escases de lluvias) y avenida (época de lluvias).

En la época de estiaje se hicieron dos grupos de mediciones: el primero en el mes de octubre del año 2018 que representa finales de la época de estiaje; el segundo en el mes de junio del año 2019 que representa plena época de estiaje. Los resultados se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Resultado de las mediciones en los puntos de monitoreo en época de estiaje.

Puntos de monitoreo	Ubicación y localización geográfica de los puntos de monitoreo			Medición de indicadores a finales de época de estiaje año 2018		Medición de indicadores en plena época de estiaje año 2019		Observaciones
	Latitud	Longitud	Altura (m)	pH_1	Temp_1	pH_2	Temp_2	
0	-12.340610	-74.982943	4,124	7.28	10.00	7.40	8.00	Nacimiento del río Acraquia -Cerro Matacencca
1	-12.375030	-74.948003	4,104	7.13	17.90	7.15	17.00	Parte baja Cerro Matacencca
2	-12.380215	-74.945529	3,399	7.18	18.00	7.20	17.50	Puente 1 San Juan de Pillo
3	-12.381724	-74.942261	3,370	6.80	18.00	6.80	17.80	Puente 2 San Juan de Pillo
4	-12.389082	-74.930949	3,310	5.20	18.20	5.60	17.90	Puente Huasapuquio
5	-12.396222	-74.921970	3,281	5.50	18.00	5.40	18.20	Puente 1 Pamuri
6	-12.404860	-74.909142	3,265	5.80	17.80	5.60	18.50	Puente 2 Pamuri
7	-12.398305	-74.899490	3,261	5.90	17.50	6.80	19.00	Puente Acraquia
8	-12.399132	-74.897808	3,260	6.22	17.20	6.40	19.00	Pozo Oxidación Acraquia
9	-12.398823	-74.895520	3,256	9.80	17.30	8.28	19.00	

10	-12.397428	-74.884568	3,249	9.10	19.50	8.20	19.00	Pozo Oxidación Ahuaycha
11	-12.396943	-74.883660	3,248	9.40	19.80	8.70	19.00	
12	-12.394236	-74.875802	3,247	8.20	19.22	8.67	19.20	Puente Yarccacancha
13	-12.391178	-74.870208	3,243	8.20	19.30	8.67	18.70	Puente Rumichaca
14	-12.388586	-74.866492	3,240	7.88	19.20	7.80	18.80	Pozo Oxidación Pampas-DH
15	-12.386673	-74.864657	3,239	9.98	19.20	9.60	18.80	
16	-12.385533	-74.864554	3,238	9.10	19.00	9.12	18.83	Puente Huilto
17	-12.379238	-74.858725	3,228	8.50	18.20	8.80	17.50	Puente Quichcapucro
18	-12.375991	-74.855186	3,223	8.37	18.20	8.50	17.50	Puente Santa María
19	-12.370835	-74.848690	3,209	6.82	18.00	6.88	17.70	Puente Chilcas
20	-12.366904	-74.846182	3,206	6.45	17.70	6.90	17.78	Puente Huallhuayocc
21	-12.352242	-74.836177	3,199	6.80	17.80	6.80	18.80	Pozo Oxidación DH-Rundo
22	-12.351131	-74.834148	3,195	8.50	13.50	8.38	18.87	
23	-12.341762	-74.829881	3,185	7.80	13.00	7.82	18.50	Agua Salada "La Colpa"
24	-12.338028	-74.826365	3,175	8.00	12.00	8.20	19.00	Puente La Colpa

Fuente: Tablas A y Tabla B de Apéndice 2.

La Figura 4.1 indica la similitud de los valores de las variables pH_1 y pH_2, para determinar si son estadísticamente iguales se somete a un análisis estadístico.

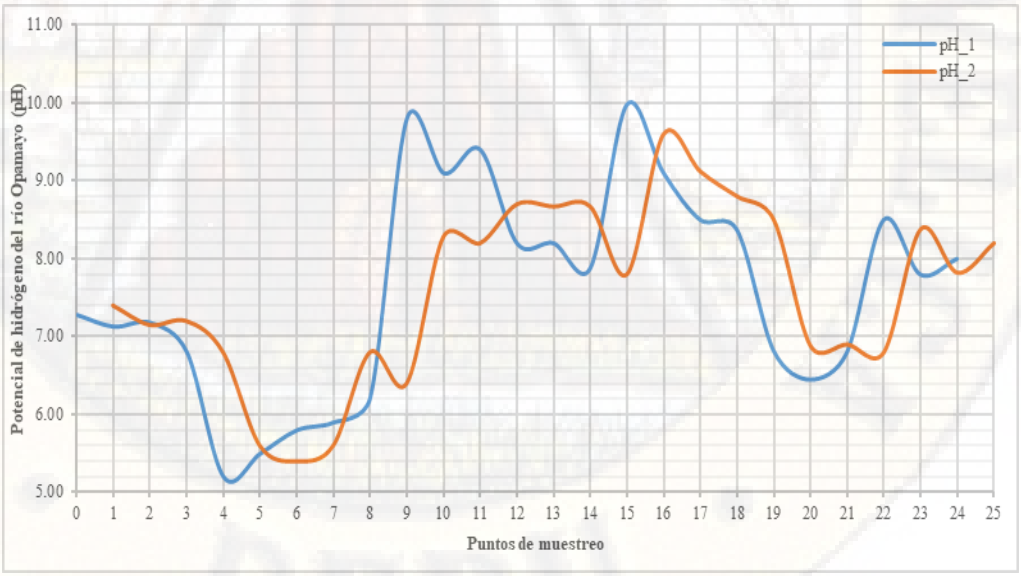

Figura 4.1. Gráfica de las mediciones en los puntos de monitoreo establecidos para el río Opamayo en épocas de estiaje.

Se realizó el análisis estadístico para las mediciones del pH para determinar si las mediciones son estadísticamente iguales con un grado de certeza del 95%. Para este análisis de empleó el "t" estadístico de Student, para las muestras de pH en la época de estiaje, considerando dos grupos de muestras independientes, cuyos resultados en estadísticos descriptivos se presenta en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Estadísticos descriptivos para la variable pH medidos en las aguas del río Opamayo en época de estiaje.

Variable	Obs.	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
pH_1	25	0	25	5.200	9.980	7.596	1.344
pH_2	25	0	25	5.400	9.600	7.587	1.146

En la Tabla 4.3 se presenta el valor-p de las muestras independientes, el cual permitió determinar la igualdad estadística de ambos grupos de muestras independientes.

Tabla 4.3. Prueba "t" para las muestras independientes en época de estiaje.

Diferencia	0.010
t (Valor observado)	0.027
|t| (Valor crítico)	2.011
GL	48
valor-p (bilateral)	0.978
alfa	0.05

La Figura 4.2 de caja bigotes para el parámetro pH indica, entre el segundo cuartil y tercer cuartil, que los promedios son prácticamente iguales a pesar de la diferencia entre los valores máximos y mínimos.

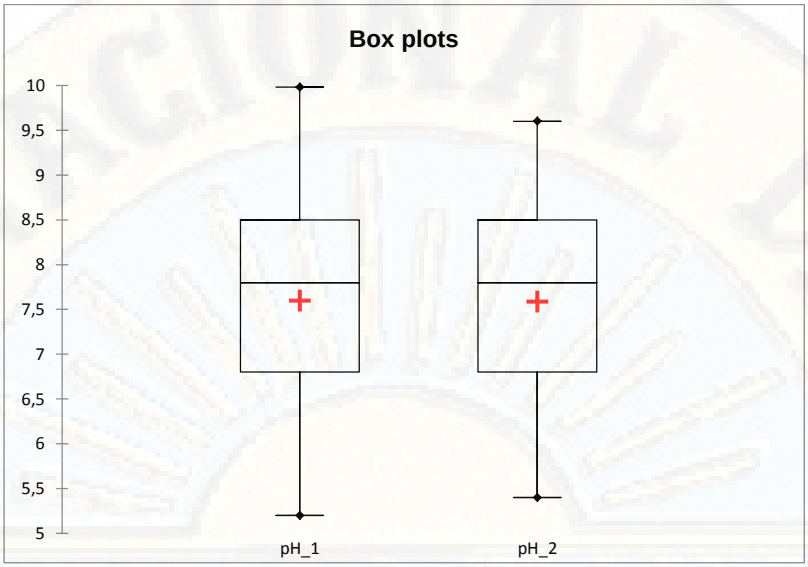

Figura 4.2. Gráfica caja bigotes en los puntos de monitoreo establecidos para el río Opamayo en épocas de estiaje.

Planteamiento de las hipótesis estadística para probar la igualdad estadística del valor pH en época de estiaje:

H_0: La diferencia entre las medias de los pH medidos en las 25 estaciones en la época de estiaje es igual a 0.

H_a: La diferencia entre las medias de los pH medidos en las 25 estaciones en la época de estiaje es diferente de 0.

Decisión estadística:

Puesto que el valor-p calculado 0.978 (ver Tabla 4.3) es mayor que el nivel de significación alfa=0.05, por lo que, no se puede rechazar la hipótesis nula H_0.

Conclusión estadística:

Las medias de los pH medidos en las 25 estaciones en la época de estiaje son estadísticamente iguales, por lo que pueden ser promediados para cada punto de medición.

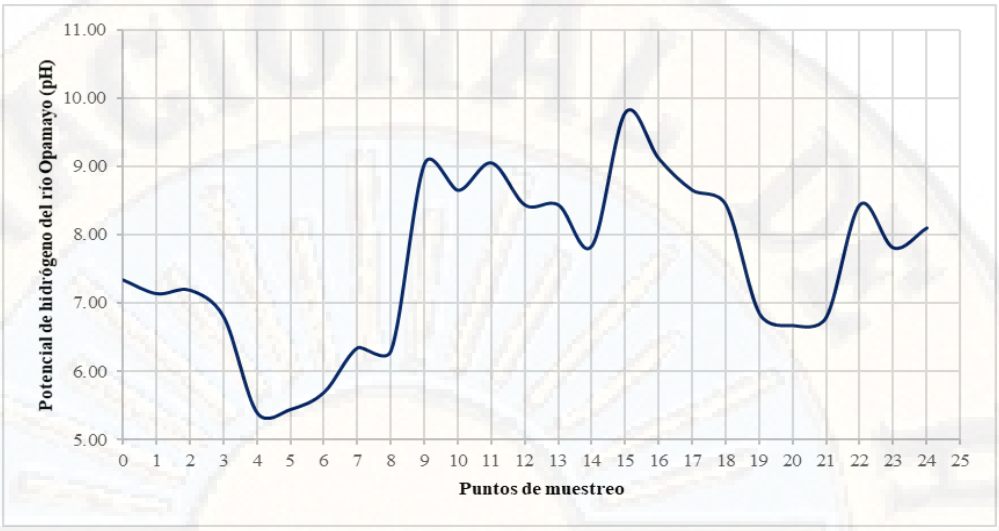

Figura 4.3. Gráfica del pH promediado de las aguas del río Opamayo en época de estiaje.

En la época de avenida se hicieron dos grupos de mediciones: el primero en el mes de enero del año 2019 que representa plena época de avenida; el segundo en el mes de marzo del año 2019 que representa finales de época de avenida. Los resultados se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Resultado de las mediciones en los puntos de monitoreo en época de avenida.

Puntos de monitoreo	Ubicación y localización geográfica de los puntos de monitoreo			Medición de indicadores a finales de época de avenida año 2019		Medición de indicadores en plena época de avenida año 2019		Observaciones
	Latitud	Longitud	Altura (m)	pH_3	Temp_3	pH_4	Temp_4	
0	-12.340610	-74.982943	4,124	7.41	9.00	7.33	7.50	Nacimiento del río Acraquia -Cerro Matacencca
1	-12.375030	-74.948003	4,104	7.33	16.00	7.29	14.85	Parte baja Cerro Matacencca
2	-12.380215	-74.945529	3,399	7.27	16.00	7.29	14.50	Puente 1 San Juan de Pillo
3	-12.381724	-74.942261	3,370	7.27	16.50	7.29	14.40	Puente 2 San Juan de Pillo
4	-12.389082	-74.930949	3,310	6.90	16.50	7.18	14.50	Puente Huasapuquio
5	-12.396222	-74.921970	3,281	6.85	16.30	7.18	14.50	Puente 1 Pamuri
6	-12.404860	-74.909142	3,265	6.85	16.30	7.14	14.60	Puente 2 Pamuri
7	-12.398305	-74.899490	3,261	6.90	16.40	7.16	15.20	Puente Acraquia
8	-12.399132	-74.897808	3,260	7.14	15.00	7.15	15.10	Pozo Oxidación Acraquia
9	-12.398823	-74.895520	3,256	7.98	15.00	7.80	15.20	

10	-12.397428	-74.884568	3,249	7.01	14.00	6.99	15.20	Pozo Oxidación Ahuaycha
11	-12.396943	-74.883660	3,248	6.98	14.00	6.88	15.20	
12	-12.394236	-74.875802	3,247	6.98	14.00	6.98	15.30	Puente Yarccacancha
13	-12.391178	-74.870208	3,243	7.18	13.84	7.38	15.30	Puente Rumichaca
14	-12.388586	-74.866492	3,240	7.17	15.50	7.16	13.00	Pozo Oxidación Pampas-DH
15	-12.386673	-74.864657	3,239	8.20	15.10	7.98	13.00	
16	-12.385533	-74.864554	3,238	7.92	15.61	7.50	13.20	Puente Huilto
17	-12.379238	-74.858725	3,228	7.90	15.60	7.50	13.40	Puente Quichcapucro
18	-12.375991	-74.855186	3,223	7.60	15.24	6.99	13.50	Puente Santa María
19	-12.370835	-74.848690	3,209	6.97	15.20	6.88	14.20	Puente Chilcas
20	-12.366904	-74.846182	3,206	7.00	15.00	6.90	14.30	Puente Huallhuayocc
21	-12.352242	-74.836177	3,199	6.80	14.70	6.95	14.70	Pozo Oxidación DH-Rundo
22	-12.351131	-74.834148	3,195	7.00	14.60	7.00	14.80	
23	-12.341762	-74.829881	3,185	7.12	14.50	7.01	15.00	Agua Salada "La Colpa"
24	-12.338028	-74.826365	3,175	7.80	14.00	7.70	15.80	Puente La Colpa

Fuente: Tablas A y Tabla B de Apéndice 2.

La Figura 4.4 indica la similitud de los valores de las variables pH_3 y pH_4, para determinar si son estadísticamente iguales se somete a un análisis estadístico.

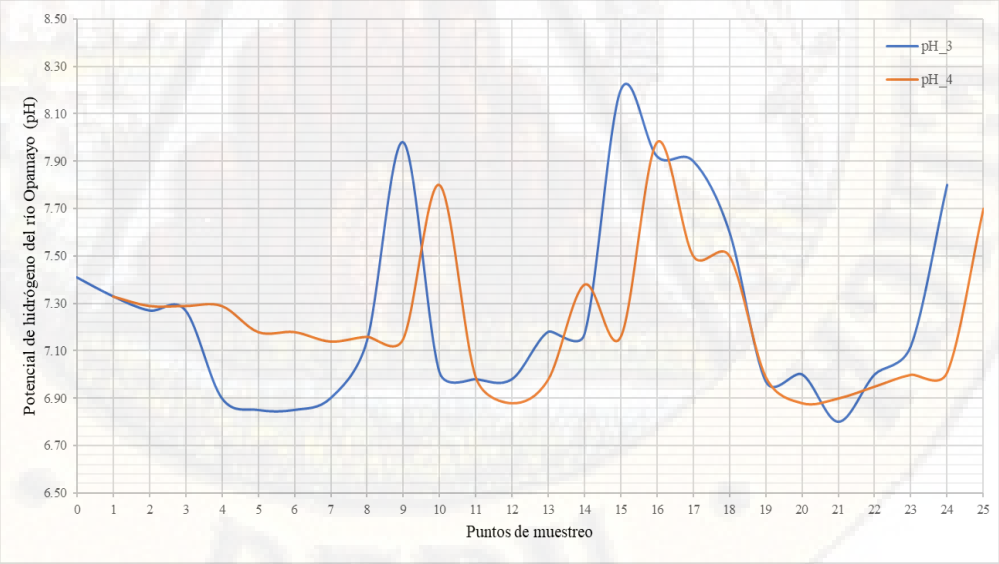

Figura 4.4. Gráfica de las mediciones en los puntos de monitoreo establecidos para el río Opamayo en épocas de estiaje.

Se realizó el análisis estadístico para las mediciones del pH para determinar si las mediciones son estadísticamente iguales con un grado de certeza del 95%. Para este análisis de empleó el "t" estadístico de Student, para las muestras de pH en la época de avenida, considerando dos grupos de muestras independientes, cuyos resultados en estadísticos descriptivos se presenta en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Estadísticos descriptivos para la variable pH medidos en las aguas del río Opamayo en época de avenida.

Variable	Obs.	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
pH_3	25	0	25	6.800	8.200	7.261	0.407
pH_4	25	0	25	6.880	7.980	7.224	0.291

En la Tabla 4.6 se presenta el valor-p de las muestras independientes, el cual permitió determinar la igualdad estadística de ambos grupos de muestras independientes.

Tabla 4.6. Prueba "t" para las muestras independientes en época de avenida.

Diferencia	0.037
t (Valor observado)	0.368
|t| (Valor crítico)	2.011
GL	48
valor-p (bilateral)	0.715
alfa	0.05

La Figura 4.5 de caja bigotes para el parámetro pH en época de avenida indica, entre el segundo cuartil y tercer cuartil, que los promedios son prácticamente iguales a pesar de la diferencia entre los valores máximos y mínimos.

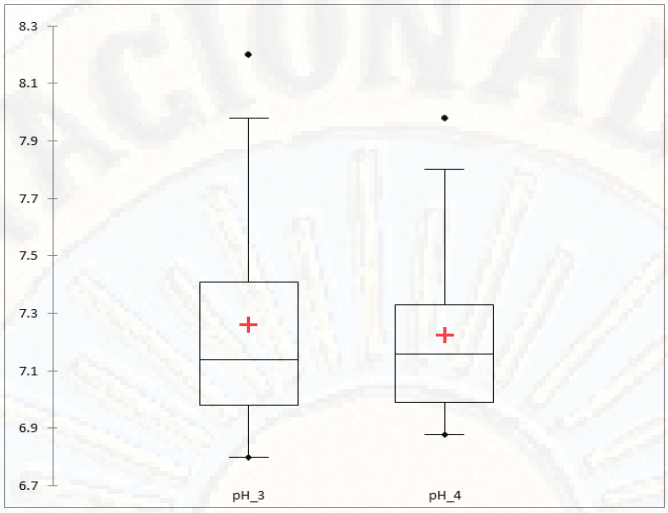

Figura 4.5. Gráfica caja bigotes en los puntos de monitoreo establecidos para el río Opamayo en época de avenida.

Planteamiento de la hipótesis estadística para probar la igualdad estadística del valor pH en época de avenida:

H_0: La diferencia entre las medias de los pH medidos en las 25 estaciones en la época de avenida es igual a 0.

H_a: La diferencia entre las medias de los pH medidos en las 25 estaciones en la época de avenida es diferente de 0.

Decisión estadística:

Puesto que el valor-p calculado 0.715 (ver Tabla 4.6) es mayor que el nivel de significación alfa=0.05, por lo que, no se puede rechazar la hipótesis nula H_0.

Conclusión estadística:

Las medias de los pH medidos en las 25 estaciones en la época de avenida son estadísticamente iguales, por lo que pueden ser promediados para cada punto de medición.

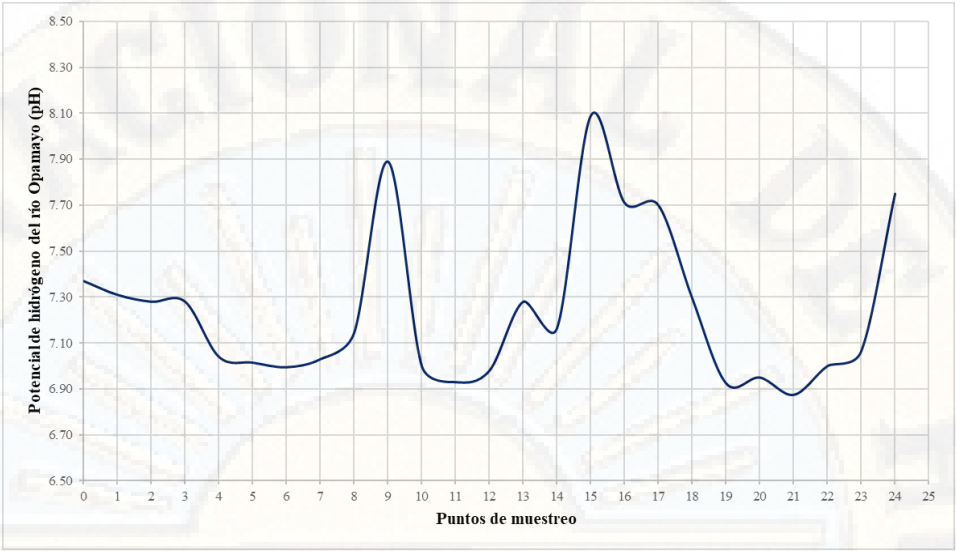

Figura 4.6. Gráfica del pH promediado de las aguas del río Opamayo en época de avenida.

4.2. Prueba de Hipótesis

Teniendo las hipótesis específicas de la investigación, estas se prueban con los datos obtenidos:

Hipótesis específica 1: El comportamiento del pH de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas-Tayacaja es dependiente de las fuentes de contaminación distribuidos a lo largo del trayecto del río y temporadas.

De los datos de la Tabla E del apéndice 2 se obtiene la tabla de contingencia de la dependencia del pH de las aguas del río Opamayo con la ubicación geoespacial y temporal, cuyos datos se muestran en la Tabla 4.7, los mismos que son sometidos a la prueba Chi – cuadrado, para demostrar la hipótesis específica 1.

Tabla 4.7. Dependencia de pH con la distribución geoespacial y épocas de estiaje y avenida.

		pH - ubicación geoespacial	
		Si	**No**
Temporada	Época de estiaje	14	11
	Época de avenida	5	20

Se empleó la fórmula Chi-cuadrado siguiente:

$$X^2{}_{Observado} = \sum_{i=1}^{k} \frac{(fo - fe)^2}{fe}$$

Donde:

fo: Frecuencia del valor observado.

fe: Frecuencia del valor esperado.

k: Eventos observados.

La Figura 4.7 muestra la dependencia de pH con la distribución geoespacial y épocas de estiaje y avenida.

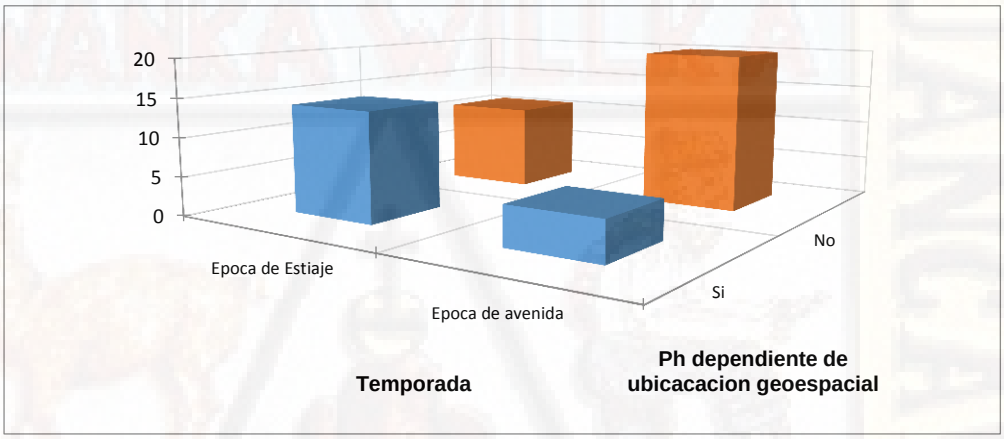

Figura 4.7. Gráfica de la dependencia de pH con la distribución geoespacial y épocas de estiaje y avenida.

En la Tabla 4.8 se indica la prueba de independencia Chi-cuadrado de los datos de contingencia de la Tabla 4.7.

Tabla 4.8. Prueba de independencia entre las filas y columnas (Chi-cuadrado).

Chi-cuadrado (Valor observado)	6.876
Chi-cuadrado (Valor crítico)	3.841
GL	1
valor-p	0.009
alfa	0.05

- **Hipótesis estadística:**

  H_0: El pH de las aguas del río Opamayo es independiente de la distribución geoespacial y temporal.

  H_a: El pH de las aguas del río Opamayo es dependiente de la distribución geoespacial y temporal.

  Prueba de hipótesis:

  Puesto que el valor-p computado (0.009) es menor que el nivel de significación alfa=0.05, se rechaza la hipótesis nula H_0, y se acepta la hipótesis alternativa Ha.

Hipótesis específica 2: El tiempo necesario para caracterizar el parámetro pH de las aguas del río Opamayo por un sistema electrónico es menor a 1000 ms.

Para probar esta hipótesis con el sistema electrónico implementado cuya interface se presenta en la Figura 4.7.

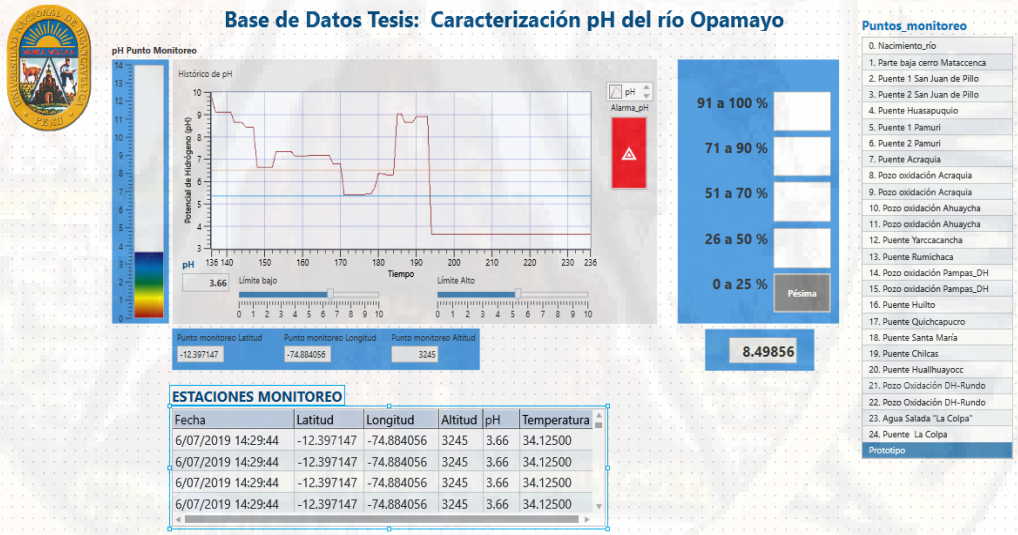

Figura 4.8. Interface de caracterización del parámetro pH de las aguas del río Opamayo.

Los datos que representan el tiempo de demora de la caracterización de la calidad del agua del río Opamayo se presenta en la Tabla 4.9.

Estos datos se sometieron a prueba "t" de un grupo de muestra, para determinar si la caracterización se realizó en tiempo real menor a 1000 ms. Tiempo real es considerado la interacción del sistema con un entorno con dinámica conocida en relación con sus entradas, salidas y restricciones temporales, siendo esta última un tiempo razonable (Villarroel, 2006). Por lo que en este trabajo se consideró tiempo real a un tiempo menor a 1000 ms.

Tabla 4.9. Tiempo de demora de caracterización de pH con el sistema electrónico implementado.

Puntos de monitoreo	Ubicación y localización geográfica de las mediciones			Tiempo de demora de caracterización de pH (ms)
	Latitud	Longitud	Altura (m)	
0	-12.340610	-74.982943	4124	600
1	-12.375030	-74.948003	4104	800
2	-12.380215	-74.945529	3399	900
3	-12.381724	-74.942261	3370	700
4	-12.389082	-74.930949	3310	900
5	-12.396222	-74.921970	3281	700
6	-12.404860	-74.909142	3265	800
7	-12.398305	-74.899490	3261	900
8	-12.399132	-74.897808	3260	950
9	-12.398823	-74.895520	3256	1200
10	-12.397428	-74.884568	3249	1200
11	-12.396943	-74.883660	3248	1000
12	-12.394236	-74.875802	3247	1100
13	-12.391178	-74.870208	3243	900
14	-12.388586	-74.866492	3240	1000
15	-12.386673	-74.864657	3239	1200
16	-12.385533	-74.864554	3238	1200
17	-12.379238	-74.858725	3228	800
18	-12.375991	-74.855186	3223	900
19	-12.370835	-74.848690	3209	800
20	-12.366904	-74.846182	3206	850
21	-12.352242	-74.836177	3199	1000
22	-12.351131	-74.834148	3195	900
23	-12.341762	-74.829881	3185	900
24	-12.338028	-74.826365	3175	1200

Tabla 4.10. Estadísticos descriptivos.

Variable	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media
Var1: Tiempo de demora de caracterización de pH	25	600.000	1200.000	936.000

La hipótesis específica 2 se probó con la prueba "t" de Student que permite probar la hipótesis nula de las muestras de estudio comparando con un valor específico, siendo este estadístico:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

$\bar{x}$: Media muestral

s: Desviación estándar muestral

n: Tamaño de la muestra.

μ_0: Valor de prueba especificado.

Tabla 4.11. Prueba "t" de Student para la muestra del tiempo de demora de caracterización de pH.

Diferencia	-64
t (Valor observado)	-1.870
t (Valor crítico)	-1.711
GL	24
valor-p (unilateral)	0.037
alfa	0.05

- **Hipótesis estadística:**

  H_0: La caracterización del parámetro pH de las aguas del río Opamayo es determinado en un tiempo igual a 1000 ms por un sistema electrónico.

  H_a: La caracterización del parámetro pH de las aguas del río Opamayo es determinado en un tiempo menor a 1000 ms por un sistema electrónico.

Prueba de hipótesis:

Puesto que el valor-p computado (0.037) es menor que el nivel de significación alfa=0.05, se rechaza la hipótesis nula H_0, y se acepta la hipótesis alternativa H_a.

Conclusión estadística:

Probada las dos hipótesis específicas, queda probada la hipótesis general, por lo que se afirma que: *"La característica del potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas-Tayacaja, es variante a lo largo de su distribución geoespacial y temporal".*

4.3. Discusión de resultados

El pH de las aguas del rio Opamayo monitoreado a lo largo del valle de Pampas-Tayacaja presenta dependencia de las fuentes de contaminación distribuidos a lo largo del trayecto del río, tal es así que en los puntos de monitoreo 0, 1 y 2 la calidad del agua es excelente tanto en la temporada de estiaje como en la temporada de avenida, toda vez que no existe fuentes contaminantes. Mientras que en los puntos de monitoreo 9, 11, 15 y 22 el pH es variante principalmente en la época de estiaje, tornándose crítico la calidad del agua tal como se ve en la Tabla E, llegando a ser pésima en el punto de monitoreo 15, por lo que se requiere estabilizar con tratamientos fisicoquímicos y bacteriológicos.

Estos resultados guardan relación con los estudios de Bueno, Torres y Delgado (2014), que determinaron la necesidad de adición de productos químicos para desinfectar el agua y realizar procesos de ajuste del pH del río Cauca. Estos autores calcularon los diferentes índices del agua, tanto con información histórica como con datos medidos directamente en diferentes puntos para su uso en la ciudad de Cali-Colombia.

Fue necesario el monitoreo de la calidad del agua del río Opamayo en meses de: octubre 2018, junio 2019 épocas de estiaje y enero, marzo 2019 época de avenida; para determinar con certeza el comportamiento del pH, como es el

caso del trabajo de tesis desarrollado por Teves (2016) en el río Cagra en la región Lima, donde determina la calidad del recurso hídrico que es destinado al riego de cultivos de productos agrícolas y bebida de animales, efectuando el monitoreo en varias campañas en mayo y julio del 2015, en época de avenida y estiaje respectivamente; al igual que Sotil y Flores (2016) en su trabajo de tesis determina los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del contenido de las aguas del río Mazán – Loreto, 2016. En el periodo hidrológico vaciante y creciente.

Se empleó el índice de Brown-NSF de Estados Unidos, que es variación del ICA-NSF, aplicado como metodología al monitoreo del pH de las aguas del río Opamayo, representado por un número, rango (0 a 100) y color, dando para el río Opamayo (ver Tabla E) 40 (mala-ambar) para el pH 5.4 que es el mínimo y 24 (pésima-gris) para el pH 9.79. El valor de este parámetro excede a lo establecido por ECA-Agua, categoría 4 (pH 6.5 - 8.5). Esta metodología es ampliamente utilizado para determinar de manera sencilla la calidad del agua, como el caso de Pérez (2017), en su trabajo de tesis determina el índice de calidad del agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales durante el periodo 2014-2015(Pérez, 2017).

Por otro lado, empleando el sistema electrónico implementado se determinó el tiempo necesario para caracterizar el parámetro pH del agua del río Opamayo, siendo este menor a 1000 ms, el cual es necesario para considerar las mediciones en tiempo real; como es el caso del trabajo realizado por Jáuregui (2008) en donde diseñó una red de telemetría para el complejo hidroeléctrico del Mantaro, siendo imprescindible requerir de una red de telemetría para el envío automático y en tiempo real de la información climática captada por las estaciones hidrometeorológicas.

CONCLUSIONES

Se realizó el monitoreo en 25 puntos en épocas de estiaje y avenida, considerando el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales, a lo largo del rio Opamayo en el valle de Pampas – Tayacaja, determinando que los valores del pH están relacionados con su distribución geoespacial y temporal. En su distribución geoespacial las aguas presentan el pH variado después del vertido de los pozos de oxidación, así como también en localidades dedicadas a la ganadería. En su temporalidad: en épocas de estiaje las aguas del río presentan un pH disparejo, mientras que en épocas de avenida presentan poca variación del pH.

El sistema electrónico implementado y empleado como instrumento de recolección y análisis de datos permitió la caracterización del parámetro pH de las aguas del río Opamayo en tiempo real. Demorando cada análisis por punto de monitoreo un tiempo menor a 1000 ms.

RECOMENDACIONES

El pH en las aguas del río Opamayo en el valle de Pampas-Tayacaja son muy variables tanto en las zonas ganaderas como en las zonas de vertido de aguas de pozos de oxidación sin tratamiento adecuado, en consecuencia, la dirección general de salud ambiental (DIGESA) debe implementar las acciones correctivas para mejorar la calidad del agua.

Proponer el monitoreo de los otros parámetros como: oxígeno disuelto, DBO_5, nitratos, fosfatos, turbiedad, coliformes y conductividad, para determinar con mayor precisión la calidad del agua superficial del río Opamayo.

Para el correcto funcionamiento del sistema electrónico que permitió caracterizar el pH de las aguas del río Opamayo en el valle de Pampas-Tayacaja, se debe contar con baterías recargables con panel solar para mantener operando de modo permanente en los puntos de monitoreo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, S. A., y Alarico, A. E. (2010). *Deducción de la ecuación de Nernst*. Recuperado de https://www.academia.edu/29442048/DEDUCCION_DE_LA_ECUACION_DE_NERST

ANA. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales* (p. 92). p. 92.

Bharti N, K. D. (2011). Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. *International Journal of Environmental Sciences*, *2*(1), 154-173. https://doi.org/10.6088/ijes.00202010017

Bueno, K. A., Torres, P., y Delgado, L. G. (2014). Monitoreo y medición del ajuste del pH del agua tratada del río Cauca mediante índices de estabilización. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *17*(2), 563-575. Recuperado de http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n2/v17n2a28.pdf

Carbotecnia. (2016). pH del agua. Recuperado 10 de marzo de 2019, de https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-ph-del-agua/

Carvajal, L. (2013). El método deductivo de investigación. Recuperado 1 de abril de 2019, de https://www.lizardo-carvajal.com/el-metodo-deductivo-de-investigacion/

Cegarra, J. (2004). Metodologia de la Investigación Científica y Tecnológica. En *Metodologia de la investigación científica y tecnológica*. Recuperado de https://books.google.com.pe/books/about/Metodología_de_la_investigación_cient.html?hl=es&id=8SA8KZyurk4C

Consejo_de_Europa. (2006). Contaminación hídrica. Recuperado 5 de junio de 2018, de https://es.wikipedia.org/wiki/Contaminación_hídrica

Gonzales, G. F., Zevallos, A., Gonzales, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., y Cabezas, C. (2014). Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana. Recuperado 10 de abril de 2019, de https://scholar.google.com.pe/citations?user=qCHT-mEAAAAJ&hl=es&oi=sra#d=gs_md_cita-d&u=%2Fcitations%3Fview_op%3Dview_citation%26hl%3Des%26user%3Dq

CHT-mEAAAAJ%26citation_for_view%3DqCHT-mEAAAAJ%3AZph67rFs4hoC%26tzom%3D300

Hernández, M. (2012). Tipos y niveles de investigación. Recuperado 13 de abril de 2019, de http://metodologiadeinvestigacionmarisol.blogspot.com/2012/12/tipos-y-niveles-de-investigacion.html

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6°; MCGRAW-HILL, Ed.). México.

Interempresas. (2016). Sistema SCADA Schneider IGSS - Electrónica - Sistema SCADA. Recuperado 5 de marzo de 2019, de https://www.interempresas.net/Electronica/FeriaVirtual/Producto-Sistema-SCADA-Schneider-IGSS-130424.html

Jáuregui, A. (2008). *Diseño de una red de telemetría para el complejo hidroeléctrico del Mantaro*. Pontifica Universidad Católica del Perú.

Kepware. (2019). Características KepserverEx - KEPServerEx. Recuperado 15 de marzo de 2019, de https://www.kepserverexopc.com/kepware-kepserverex-features/

Khan, F., Husain, T., y Lumb, A. (2003). Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada. *Journal of Monitoring and Assessment, Kluwer Academic Publisher Netherland 2003*, 88(1):221–248.

Langergraber, G., y Muellegger, E. (2005). Ecological Sanitation - A way to solve global sanitation problems? *Environment International*, *31*(3), 433-444. https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.08.006

Larios, J. F., Gonzales, C., y Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0011-9164(96)00124-5

Larry. (2016). Google Maps. Recuperado 5 de junio de 2018, de https://es.wikipedia.org/wiki/Google_Maps

MINAM. (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. *El Peruano*, p. 10. Recuperado de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf

National Instruments. (2018). LabVIEW NXG. Recuperado 1 de abril de 2019, de https://www.ni.com/es-cr/shop/labview/labview-nxg.html

NI. (2019a). 7 Características Esenciales de LabVIEW NXG para Pruebas Automatizadas - National Instruments. Recuperado 1 de julio de 2019, de http://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/18/7-essential-features-of-labview-nxg-for-automated-test.html

NI. (2019b). LabVIEW NXG: Nuevas características para pruebas más Inteligentes - NI Community. Recuperado 1 de abril de 2019, de https://forums.ni.com/t5/NI-Blog-LATAM/LabVIEW-NXG-Nuevas-Características-para-Pruebas-Más-Inteligentes/ba-p/3862317?profile.language=es

Omega. (2015). Medidores de pH. Recuperado 15 de junio de 2019, de https://mx.omega.com/prodinfo/medidores-de-pH.html

OMS. (2006). Guías para la calidad del agua potable. En *Atención Primaria* (Vol. 1). https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00006-6

Pascow. (s. f.). Tiempo real - Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado 5 de junio de 2018, de https://es.wikipedia.org/wiki/Tiempo_real

Pérez, J. K. (2017). *Determinación del índice de calidad del agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales durante el periodo 2014 2015*. Universidad José Carlos Mariátegui.

Rangel, J. (2010). Tipos de contaminación. Recuperado 15 de junio de 2019, de https://es.calameo.com/read/000846223f2f981d6cb99

Rubio Arias, H., Ortiz Delgado, R., Quintana Martínez, R., Saucedo Terán, R., Ochoa Rivero, J., y Rey Burciaga, N. (2014). Índice de calidad de agua (ICA) en la presa la boquilla en Chihuahua, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *1*(2), 139-150. https://doi.org/10.19136/era.a1n2.162

Scidle. (2017a). Cómo usar un sensor de pH? Recuperado 20 de junio de 2018, de http://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-ph-con-arduino/

Scidle. (2017b). Cómo usar un sensor de pH con Arduino? Recuperado 4 de junio de 2018, de http://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-ph-con-arduino/

Shaikh, A., y Karjaluoto, H. (2015). Sistema de información. https://doi.org/doi:10.1016/j.chb.2015.03.059

Singh, K. P., Malik, A., y Sinha, S. (2005). Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques - A case study. *Analytica Chimica Acta*, *538*(1-2), 355-

374. https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.02.006

Sotil, L. E., y Flores, H. (2016). *Determinación de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del contenido de las aguas del río Mazán – Loreto, 2016.* Recuperado de http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/4156

Teves, B. M. (2016). *Estudio fisicoquímico de la calidad del agua del río Cagra, región Lima* (Pontificia Universidad Católica del Peru). Recuperado de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6797

Thingspeak. (s. f.). Sign Up - ThingSpeak IoT. Recuperado 5 de junio de 2018, de thingspeak.com/users/sign_up

Torres, P., Hernán, C., y Patiño, P. (2009). Índices de Calidad de Agua en Fuentes Superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. *Revista Ingenierías - Universidad de Medellín*, *8*(15), 79-94. Recuperado de http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf

Vidal Crisanto, M. C. (2014). *Sistema de sensado remoto para la medición de variables ambientales* (Universidad Veracruziana). Recuperado de http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/41561/1/VidalCrisantoMariaConcepcion.pdf

Villarreal, E., y Bello, S. (2006). *Electrodos de medida y de referencia*. (1), 1-20.

Villarroel, J. L. (2006). *Sistemas de tiempo real*. 202. Recuperado de http://www.electro.fisica.unlp.edu.ar/temas/p7/RTS-1.html

Wikipedia. (2014). pH. Recuperado 15 de junio de 2019, de https://es.wikipedia.org/wiki/PH

Wikipedia. (2019). Cuerpo de agua - Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado 17 de abril de 2019, de https://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpo_de_agua

APÉNDICE

Matriz de consistencia

<table>
<tr><th colspan="6">TITULO: SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA CARACTERIZACIÓN EN TIEMPO REAL DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO DEL RIO OPAMAYO EN EL VALLE DE PAMPAS – TAYACAJA</th></tr>
<tr><th rowspan="2">PROBLEMAS</th><th rowspan="2">OBJETIVOS</th><th rowspan="2">HIPÓTESIS</th><th colspan="2">DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES</th><th rowspan="2">MÉTODO</th></tr>
<tr><th>VARIABLES</th><th>DEFINICIÓN OPERATIVA</th></tr>
<tr><td>Problema General</td><td>Objetivo General</td><td>Hipótesis General</td><td rowspan="2">Variable Independiente:
➢ Distribución geoespacial y temporal = DGET</td><td rowspan="2">Las aguas del río Opamayo se encuentran distribuido geoespacialmente a lo largo del valle de Pampas – Tayacaja, este último comprende los distritos de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia. En este trayecto se tiene 04 pozos de oxidación de desechos que vierten aguas servidas al lecho del río, lo que ocasiona la variación del pH, además esta variación depende de las épocas de avenida y estiaje.</td><td rowspan="3">➢ Se identificaron 25 puntos de monitoreo del pH, que se almacenaron en una base de datos y se desplegaron sobre un mapa GIS.
➢ Se empleó el método científico que utiliza como proceso lógico la deducción. Esto permitió caracterizar el potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo.</td></tr>
<tr><td>➢ ¿Cuál es la característica del potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas Tayacaja?</td><td>➢ Caracterizar en tiempo real el potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas Tayacaja, empleando un sistema electrónico.</td><td>➢ La característica del potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas-Tayacaja, es variante a lo largo de su distribución geoespacial y temporal.</td></tr>
<tr><td>Problemas Específicos</td><td>Objetivos Específicos</td><td>Hipótesis Específicas</td><td rowspan="2">Variable Dependiente:
➢ Característica del potencial de hidrógeno de las aguas del rio Opamayo = CpHARO.</td><td rowspan="2">El potencial de hidrógeno (pH) a lo largo del trayecto del río Opamayo es variante, desde la naciente en el distrito de Acraquia hasta su desembocadura en el distrito de Daniel Hernández. La variación del pH está directamente relacionada con el grado de contaminación de estas aguas y las épocas. La caracterización del pH se llevará acabo con sensores e instrumentos calibrados y serán desplegados en tiempo real sobre un mapa GIS.</td></tr>
<tr><td>➢ ¿Cómo es el comportamiento del pH de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas-Tayacaja?</td><td>➢ Determinar el comportamiento del pH de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas-Tayacaja.</td><td>➢ El comportamiento del pH de las aguas del rio Opamayo en el valle de Pampas-Tayacaja es dependiente de las fuentes de contaminación distribuidos a lo largo del trayecto del río y temporadas.</td></tr>
<tr><td>➢ ¿Qué tiempo es necesario para caracterizar el parámetro pH de las aguas del río Opamayo por un sistema electrónico?</td><td>➢ Determinar el tiempo necesario para caracterizar el parámetro pH de las aguas del río Opamayo por un sistema electrónico.</td><td>➢ El tiempo necesario para caracterizar el parámetro pH de las aguas del río Opamayo por un sistema electrónico es menor a 1000 ms.</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

Apéndice 1. Codificación de algoritmos

A. Codificación del algoritmo de calibración del sensor de pH, desarrollado en Arduino para el procesador ESP 32:

```
byte uartParse()
{
  byte modoIndex = 0;
  if(strstr(recibirBuffer, "CALIBRACION") != NULL)
     modoIndex = 1;
  else if(strstr(recibirBuffer, "SALIR") != NULL)
     modoIndex = 4;
  else if(strstr(recibirBuffer, "ACIDO:") != NULL)
     modoIndex = 2;
  else if(strstr(recibirBuffer, "ALCALINO:") != NULL)
     modoIndex = 3;
  return modoIndex;
}

void phCalibracion(byte modo)
{
    char *recibirBufferPtr;
    static byte acidCalibracionFin = 0, alcaliCalibraciónFin = 0;
    static float acidValue,alcaliValor;
    static float acidVoltage,alcaliVoltage;
    float acidValueTemp,alcaliValueTemp,newSlopeValue,newInterceptValue;
    switch(modo)
    {
      case 0:
      if(enterCalibracionFlag)
        Serial.println(F("Error de comando"));
      break;

      case 1:
      recibirBufferPtr=strstr(recibirBuffer, "CALIBRACION");
      enterCalibracionFlag = 1;
      acidCalibracionFin = 0;
      alkaliCalibcationFin = 0;
      Serial.println(F("Estas en modo calibración"));
      Serial.println(F("ACIDO:3.00 A 5.00 pH"));
      Serial.println(F("ALCALINO:8.00 A 11.00 pH"));
      break;

      case 2:
      if(enterCalibracionFlag)
      {
         recevirBufferPtr=strstr(recibirBuffer, "ACIDO:");
         recibirBufferPtr+=strlen("ACIDO:");
         acidValueTemp = strtod(recibirBufferPtr,NULL);
         if((acidValueTemp>3)&&(acidValueTemp<5))       //Típico pH para una solución acida con
medio en 4.00
         {
           acidValue = acidValueTemp;
           acidVoltage = averageVoltage; // /1000.0;        // mV -> V
           acidCalibracionFin  = 1;
```

```
          Serial.println(F("Calibración ácida satisfactoria"));
        }else {
          acidCalibracionFin  = 0;
          Serial.println(F("Acid Value Error"));
        }
      }
      break;

      case 3:
      if(enterCalibracionFlag)
      {
        recibirBufferPtr=strstr(recibirBuffer, "ALCALINO:");
        recibirBufferPtr+=strlen("ALCALINO:");
        alkaliValueTemp = strtod(recibirBufferPtr,NULL);
        if((alkaliValueTemp>8)&&(alkaliValueTemp<11))       //Típico pH para una solucíon alcalina
con valores de 9.18 o 10.01
        {
            alkaliValue = alkaliValueTemp;
            alkaliVoltage = averageVoltage; // /1000.0;
            alkaliCalibracionFin  = 1;
            Serial.println(F("Calibracion alcalina satisfactoria"));
         }else{
           alkaliCalibracionFin  = 0;
           Serial.println(F("Error de valor alcalino"));
        }
      }
      break;

      case 4:
      if(enterCalibracionFlag)
      {
        if(acidCalibracionFin  && alkaliCalibracionFin )
        {
          newSlopeValue = (acidValue-alkaliValue)/((acidVoltage - alkaliVoltage)/1000);
          EEPROM.writeFloat(SlopeValueAddress,
newSlopeValue);//EEPROM_write(SlopeValueAddress, newSlopeValue);
          delay(10);
          newInterceptValue = acidValue - (newSlopeValue*acidVoltage)/1000;
          EEPROM.writeFloat(InterceptValueAddress,
newInterceptValue);//EEPROM_write(InterceptValueAddress, newInterceptValue);

          Serial.print(F("Calculo alkaliValue"));
          Serial.println(alkaliValue);
          Serial.print(F("Calculo alkaliVoltage"));
          Serial.println(alkaliVoltage);

          Serial.print(F("Calculo acidValue"));
          Serial.println(acidValue);
          Serial.print(F("Calculo acidVoltage"));
          Serial.println(acidVoltage);

          Serial.print(F("Calculo newSlopeValue"));
          Serial.println(newSlopeValue,4);
          Serial.print(F("Calculo newInterceptValue"));
          Serial.println(newInterceptValue,4);

          delay(10);
```

```
            Serial.print(F("Calibración Satisfactoria"));
          }
          else Serial.print(F("Calibracion Fallida"));
          Serial.println(F(", Abandono de modo calibración"));
          acidCalibracionFin  = 0;
          alkaliCalibracionFin  = 0;
          enterCalibracionFlag = 0;
           EEPROM.commit();

        }
        break;
    }
}
```

B. Codificación del algoritmo del módulo adquisición, procesamiento y comunicación de datos, para el procesador ESP 32:

```
/*****************************************************************************

 Tesis: SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA CARACTERIZACIÓN EN TIEMPO REAL DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO DEL RIO OPAMAYO EN EL VALLE DE PAMPAS – TAYACAJA

 *****************************************************************************/

#include <EEPROM.h>
#define EEPROM_SIZE 64
#include "OneWire.h"
#include <Wire.h>
#include "DallasTemperature.h"
OneWire oneWire(15);
DallasTemperature tempSensor(&oneWire);
#define DACpH 25;
#define DACTemperatura 26;
 int periodo = 15000;
//*****************************************************************************

#include <TinyGPS++.h>                          // Librería GPS
#include "ThingSpeak.h"
#include <WiFi.h>

static const int RXPin = 17, TXPin = 16;              // Ublox 6m GPS (TX=16, RX=17)
static const uint32_t GPSBaud = 9600;              // Ublox GPS Baud Rate es 9600

//*****************************************************************************
  char buf[16];
  String Latitud; // °
  String Longitud;//°
char ssid[] = "AndroidAP";
char password[]= "12345678";
int keyIndex = 0;            // your network key Index number (needed only for WEP)
WiFiClient  client;

// Canal por estación y ApiKey
unsigned long myChannelNumber = 795943;
const char * myWriteAPIKey = "C80LIRYOBB0YOWYB";

//*****************************************************************************
#define ReceivedBufferLength 20
char receivedBuffer[ReceivedBufferLength+1];   // Habilita el comando serie para calibración de pH
byte receivedBufferIndex = 0;

#define SCOUNT  30           // 30 muestras
int analogBuffer[SCOUNT];    // carga de muestras en voltage
int analogBufferIndex = 0;

//********** Temperatura *************************
float pH=7;
int T25=25+273.15;
float T=25;
```

```
float TemperaturaCentigrado=25;
float TemperaturaKelvin=273;
//************************************************

#define SlopeValueAddress 0     // Dirección de EEPROM para almacenamiento de pendiente ocupa 4 bytes.
#define InterceptValueAddress (SlopeValueAddress+4) // Dirección de EEPROM para almacenamiento de la constante de cruce por cero.
float slopeValue, interceptValue, averageVoltage;
boolean enterCalibrationFlag = 0;

#define SensorPin 36
#define VREF 3300  //Para ESP32 valor de referencia 3300 mV

TinyGPSPlus gps;              // Crea una Instancia como objeto para TinyGPS++
HardwareSerial ss(1);         // Crea instancia ss para comunicación con GPS

//Comunicación con PLC
//HardwareSerial PLC(2);          // Crea instancia ss para comunicación con PLC
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Para comunicación con consola
//************************************************************
Serial.print("Connecting to ");
Serial.println(ssid);

WiFi.mode(WIFI_STA);
WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
   Serial.println("");
  Serial.println("WiFi conectado");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  Serial.print("Mascara: ");
  Serial.println(WiFi.subnetMask());
  Serial.print("Puerta de enlace: ");
  Serial.println(WiFi.gatewayIP());
  ThingSpeak.begin(client);

  if (!EEPROM.begin(EEPROM_SIZE))
    {
      Serial.println("Falla iniciando EEPROM");
      Serial.println("Reiniciar...");
      delay(1000);
      ESP.restart();
    }
  tempSensor.begin();
  readCharacteristicValues(); //Lee la pendiente y la constante de cruce por cero del pH

  ss.begin(GPSBaud, SERIAL_8N1, RXPin, TXPin); // Fija configuracion para comunicación con GPS
 // PLC.begin(9600, SERIAL_8N1, 34, 35); // Fija configuracion para comunicación con PLC
```

```
}

void loop()
{

 smartDelay(500);              // Retardo de 500ms
 if (gps.altitude.meters()!=0)
 {
 Serial.print("Latitud: ");
 Latitud = dtostrf(gps.location.lat(), 4, 6, buf);
 Serial.println(Latitud);

 Serial.print("Longitud: ");
 Longitud = dtostrf(gps.location.lng(), 4, 6, buf);
 Serial.println(Longitud);

 Serial.print("Satélites:");
 Serial.println(gps.satellites.value());

  Serial.print("Altitud: ");
 Altitud = dtostrf(gps.altitude.meters(), 4, 2, buf);
 Serial.println(Altitud);
 Serial.println("");
 //*****************************************************
  CalcularpHPrototipo();
  String pHPrototipo;
  pHPrototipo += (String(pH,2));
  Serial.print("El pH en la Estación Prototipo es:  ");
  Serial.println(pHPrototipo);
  //*****************************************************
  ThingSpeak.setField(1, pHPrototipo);
  ThingSpeak.setField(2, TemperaturaCentigrado);
  ThingSpeak.setField(3, Latitud);
  ThingSpeak.setField(4, Longitud);
  ThingSpeak.setField(5, Altitud);

  //ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);
   // write to the ThingSpeak channel
  int x = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);
        if(x == 200){
        Serial.println("Channel update successful.");
        }
        else{
        Serial.println("Problem updating channel. HTTP error code " + String(x));
        }

//*********************************************************
unsigned long TiempoAhora = 0;
TiempoAhora = millis();
while(millis() < TiempoAhora+periodo) // espere [15000] milisegundos
 {
  CalcularpHPrototipo();
   int Value = 255*pH/20; //Normalizando pH
   dacWrite(25, Value);
 delay(10);

 LeerTemperatura();
```

```
 int Value1 = 255*TemperaturaCentigrado/50; //Normalizando la Temperatura
dacWrite(26, Value1);
delay (10);
  }


 }

 if (millis() > 5000 && gps.charsProcessed() < 10)
   Serial.println(F("No GPS "));
}

static void smartDelay(unsigned long ms)
{
 unsigned long start = millis();
 do
 {
  while (ss.available())
    gps.encode(ss.read());
 } while (millis() - start < ms);
}


void CalcularpHPrototipo()
{
 if(serialDataAvailable() > 0)
 {
    byte modeIndex = uartParse();
    phCalibration(modeIndex);    // Verifica si los comandos son correctos.
    slopeValue= EEPROM.readFloat(SlopeValueAddress);     // Despues de calibrar lee la pendiente y
la constante de cruce por cero del pH.
    interceptValue=EEPROM.readFloat(InterceptValueAddress);
  }
  static unsigned long sampleTimepoint = millis();
  if(millis()-sampleTimepoint>40U)
  {
   sampleTimepoint = millis();
   analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(SensorPin)*VREF/4096.0;    //lee el voltage y
carga en el buffer, durante 40ms
   analogBufferIndex++;
   if(analogBufferIndex == SCOUNT)
      analogBufferIndex = 0;
   averageVoltage = getMedianNum(analogBuffer,SCOUNT);   // Lee el voltage estable filtrado por
el algoritmo
  }
    LeerTemperatura();
  static unsigned long printTimepoint = millis();
  if(millis()-printTimepoint>1000U)
  {
   printTimepoint = millis();
   if(enterCalibrationFlag)            // En modo calibración muestra voltage
   {
    Serial.print("Voltage:");
    Serial.print(averageVoltage);
    Serial.println("mV");
   }
```

```
    else
      {
      Serial.print("pH:");              // En modo normal imprime el valor de pH
      pH=averageVoltage/1000.0*slopeValue+interceptValue;
      Serial.print(pH,2);
      // Compensacion de temperatura por ecuación de Nernst  tenemos:
      Serial.print("  pH compensado por temperatura:");
      Serial.print(7.0 + (pH - 7.0)* TemperaturaKelvin/T25);

      Serial.print("  averageVoltage:");
      Serial.print(averageVoltage,4);

      Serial.print("  slopeValue:");
      Serial.print(slopeValue,4);
      Serial.print("  interceptValue:");
      Serial.println(interceptValue,4);
     }
   }

}

boolean serialDataAvailable(void)
{
  char receivedChar;
  static unsigned long receivedTimeOut = millis();
  while (Serial.available()>0)
  {
    if (millis() - receivedTimeOut > 1000U)
    {
      receivedBufferIndex = 0;
      memset(receivedBuffer,0,(ReceivedBufferLength+1));
    }
    receivedTimeOut = millis();
    receivedChar = Serial.read();
    if (receivedChar == '\n' || receivedBufferIndex==ReceivedBufferLength){
        receivedBufferIndex = 0;
        strupr(receivedBuffer);
        return true;
    }
    else{
      receivedBuffer[receivedBufferIndex] = receivedChar;
      receivedBufferIndex++;
    }
  }
  return false;
}

byte uartParse()
{
  byte modeIndex = 0;
  if(strstr(receivedBuffer, "CALIBRACION") != NULL)
      modeIndex = 1;
  else if(strstr(receivedBuffer, "SALIR") != NULL)
      modeIndex = 4;
  else if(strstr(receivedBuffer, "ACIDO:") != NULL)
      modeIndex = 2;
  else if(strstr(receivedBuffer, "ALCALINO:") != NULL)
```

```
    modeIndex = 3;
  return modeIndex;
}

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;
}

void readCharacteristicValues()
{
   slopeValue=EEPROM.readFloat(SlopeValueAddress);// EEPROM_read(SlopeValueAddress,
slopeValue);
   Serial.println("Valor inicial Slope");
   Serial.println(slopeValue, 4);

   interceptValue=EEPROM.readFloat(InterceptValueAddress);//
EEPROM_read(InterceptValueAddress, interceptValue);
   Serial.println("Valor inicial interceptValue");
   Serial.println(interceptValue, 4);

   if(EEPROM.read(SlopeValueAddress)==0xFF && EEPROM.read(SlopeValueAddress+1)==0xFF
&& EEPROM.read(SlopeValueAddress+2)==0xFF &&
EEPROM.read(SlopeValueAddress+3)==0xFF)
   {
    slopeValue = 3.5;
    EEPROM.writeFloat(SlopeValueAddress, slopeValue);//EEPROM_write(SlopeValueAddress,
slopeValue);
    EEPROM.commit();
   }
   if(EEPROM.read(InterceptValueAddress)==0xFF &&
EEPROM.read(InterceptValueAddress+1)==0xFF &&
EEPROM.read(InterceptValueAddress+2)==0xFF &&
EEPROM.read(InterceptValueAddress+3)==0xFF)
   {
```

```
      interceptValue = 0;
      EEPROM.writeFloat(InterceptValueAddress,
interceptValue);//EEPROM_write(InterceptValueAddress, interceptValue);
      EEPROM.commit();
    }
}
void LeerTemperatura()
{
  tempSensor.requestTemperaturesByIndex(0);

  Serial.print("Temperatura: ");
  TemperaturaCentigrado=tempSensor.getTempCByIndex(0);
  Serial.print(TemperaturaCentigrado);
  Serial.println(" C ");
  TemperaturaKelvin=TemperaturaCentigrado+273.15;
  Serial.print(TemperaturaKelvin);
  Serial.println(" K");
    delay(500);
}
```

C. Codificación para el despliegue de las estaciones de monitoreo sobre un mapa GIS:

```
    </script>
function initMap()
    {
      //*****************************************************************
      var myLatLngs = [
      {
        /* Punto Monitoreo 0. */
        lat: -12.340610,
        lng: -74.982943
      },
      {
        /* Punto Monitoreo 1. */
        lat: -12.37503,
        lng: -74.948003
      },
      {
        /* Punto Monitoreo 2 */
        lat: -12.380215,
        lng: -74.945529
      },
      {
        /* Punto Monitoreo 3 */
        lat: -12.381724,
        lng: -74.942261
      },
      {
        /* Punto Monitoreo 4 */
        lat: -12.389082,
        lng: -74.930949
      },
      {
        /* Punto Monitoreo 5 */
        lat: -12.396222,
        lng: -74.921970
      },
      {
        /* Punto Monitoreo 6 */
        lat: -12.404860,
        lng: -74.909142
      },
      {
        /* Punto Monitoreo 7 */
        lat: -12.398305,
        lng: -74.899490
      },
      {
        /* Punto Monitoreo 8 */
        lat: -12.399132,
        lng: -74.897808
      },
      {
        /* Punto Monitoreo 9 */
        lat: -12.398823,
```

```
    lng: -74.895520
  },
  {
    /* Punto Monitoreo 10 */
    lat: -12.397428,
    lng: -74.884568
  },
  {
    /* Punto Monitoreo 11 */
    lat: -12.396943,
    lng: -74.883660
  },
  {
    /* Punto Monitoreo 12 */
    lat: -12.394236,
    lng: -74.875802
  },
  {
    /* Punto Monitoreo 13 */
    lat: -12.391178,
    lng: -74.870208
  },
  {
    /* Punto Monitoreo 14 */
    lat: -12.388586,
    lng: -74.866492
  },
  {
    /* Punto Monitoreo 15 */
    lat: -12.386673,
    lng: -74.864657
  },
  {
    /* Punto Monitoreo 16 */
    lat: -12.385533,
    lng: -74.864554
  },
  {
    /* Punto Monitoreo 17 */
    lat: -12.379238,
    lng: -74.858725
  },
  {
    /* Punto Monitoreo 18 */
    lat: -12.375991,
    lng: -74.855186
  },
  {
    /* Punto Monitoreo 19 */
    lat: -12.370835,
    lng: -74.848690
  },
  {
    /* Punto Monitoreo 20 */
    lat: -12.366904,
    lng: -74.846182
  },
```

```
            {
               /* Punto Monitoreo 21 */
               lat: -12.352242,
               lng: -74.836177
            },
            {
               /* Punto Monitoreo 22 */
               lat: -12.351131,
               lng: -74.834148
            },
            {
               /* Punto Monitoreo 23 */
               lat: -12.341762,
               lng: -74.829881
            },
            {
               /* Punto Monitoreo 24 */
               lat: -12.338028,
               lng: -74.826365
            },
            {
               /* Punto Monitoreo Prueba */
               lat: Latitud_Prototipo,
               lng: Longitud_Prototipo
            }];
            var map = new google.maps.Map(document.getElementById('map'),
            {
               zoom: 13.2,
               mapTypeId: 'satellite',
               heading: 90,
               tilt: 45,
               center: myLatLngs[25]
            });
            var pinColor = "FFFFFF"; //Blanco
            var whitePinImage = new
google.maps.MarkerImage("http://chart.apis.google.com/chart?chst=d_map_pin_letter&chld=%
E2%80%A2|" + pinColor,
               new google.maps.Size(21, 34),
               new google.maps.Point(0, 0),
               new google.maps.Point(10, 34));
            pinColor = "FF7500"; //Color cyan;
            var pinColor = "FFE047"; //Amarillo
            var yellowPinImage = new
google.maps.MarkerImage("http://chart.apis.google.com/chart?chst=d_map_pin_letter&chld=%
E2%80%A2|" + pinColor,
               new google.maps.Size(21, 34),
               new google.maps.Point(0, 0),
               new google.maps.Point(10, 34));
            pinColor = "FF7500"; //Color cyan;
            var redPinImage = new
google.maps.MarkerImage("http://chart.apis.google.com/chart?chst=d_map_pin_letter&chld=%
E2%80%A2|" + pinColor,
               new google.maps.Size(21, 34),
               new google.maps.Point(0, 0),
               new google.maps.Point(10, 34));
            pinColor = "2F76EE";
```

```
            var bluePinImage = new
google.maps.MarkerImage("http://chart.apis.google.com/chart?chst=d_map_pin_letter&chld=%
E2%80%A2|" + pinColor,
                new google.maps.Size(21, 34),
                new google.maps.Point(0, 0),
                new google.maps.Point(10, 34));
            pinColor = "007569";
            var greenPinImage = new
google.maps.MarkerImage("http://chart.apis.google.com/chart?chst=d_map_pin_letter&chld=%
E2%80%A2|" + pinColor,
                new google.maps.Size(21, 34),
                new google.maps.Point(0, 0),
                new google.maps.Point(10, 34));
            pinColor = "00000F";
            var blackPinImage = new
google.maps.MarkerImage("http://chart.apis.google.com/chart?chst=d_map_pin_letter&chld=%
E2%80%A2|" + pinColor,
                new google.maps.Size(21, 34),
                new google.maps.Point(0, 0),
                new google.maps.Point(10, 34));
            var markers = [];
            var setup = function()
            {
                var i = 0,
                    marker;
                var lastIndex = 0;
                var list = document.querySelector('[ni-control-id="43"]');
                while (i < 3)
                {
                    var marker = new google.maps.Marker(
                    {
                        position: myLatLngs[i],
                        map: map,
                        draggable: true,
                        animation: google.maps.Animation.DROP,
                        icon: bluePinImage
                    });
                    markers.push(marker);
                    i++;
                }
                ////////////////////////////////////////////////////////
                for (i = 3; i < 4; i++)
                {
                    var marker = new google.maps.Marker(
                    {
                        position: myLatLngs[i],
                        map: map,
                        draggable: true,
                        animation: google.maps.Animation.DROP,
                        icon: greenPinImage
                    });
                    markers.push(marker);
                }
                ////////////////////////////////////////////////////////
                /*for (i = 4; i < myLatLngs.length; i++)
                {
                    var marker = new google.maps.Marker(
```

```
    {
        position: myLatLngs[i],
        map: map,
        draggable: true,
        animation: google.maps.Animation.DROP,
        icon: redPinImage
    });
    markers.push(marker);
}*/
for (i = 4; i < 7; i++)
{
    var marker = new google.maps.Marker(
    {
        position: myLatLngs[i],
        map: map,
        draggable: true,
        animation: google.maps.Animation.DROP,
        icon: redPinImage
    });
    markers.push(marker);
}
for (i = 7; i < 9; i++)
{
    var marker = new google.maps.Marker(
    {
        position: myLatLngs[i],
        map: map,
        draggable: true,
        animation: google.maps.Animation.DROP,
        icon: yellowPinImage
    });
    markers.push(marker);
}
for (i = 9; i < 10; i++)
{
    var marker = new google.maps.Marker(
    {
        position: myLatLngs[i],
        map: map,
        draggable: true,
        animation: google.maps.Animation.DROP,
        icon: redPinImage
    });
    markers.push(marker);
}
for (i = 10; i < 11; i++)
{
    var marker = new google.maps.Marker(
    {
        position: myLatLngs[i],
        map: map,
        draggable: true,
        animation: google.maps.Animation.DROP,
        icon: yellowPinImage
    });
    markers.push(marker);
}
```

```
for (i = 11; i < 12; i++)
{
   var marker = new google.maps.Marker(
   {
      position: myLatLngs[i],
      map: map,
      draggable: true,
      animation: google.maps.Animation.DROP,
      icon: redPinImage
   });
   markers.push(marker);
}
for (i = 12; i < 14; i++)
{
   var marker = new google.maps.Marker(
   {
      position: myLatLngs[i],
      map: map,
      draggable: true,
      animation: google.maps.Animation.DROP,
      icon: yellowPinImage
   });
   markers.push(marker);
}
for (i = 14; i < 15; i++)
{
   var marker = new google.maps.Marker(
   {
      position: myLatLngs[i],
      map: map,
      draggable: true,
      animation: google.maps.Animation.DROP,
      icon: greenPinImage
   });
   markers.push(marker);
}
for (i = 15; i < 16; i++)
{
   var marker = new google.maps.Marker(
   {
      position: myLatLngs[i],
      map: map,
      draggable: true,
      animation: google.maps.Animation.DROP,
      icon: blackPinImage
   });
   markers.push(marker);
}
for (i = 16; i < 17; i++)
{
   var marker = new google.maps.Marker(
   {
      position: myLatLngs[i],
      map: map,
      draggable: true,
      animation: google.maps.Animation.DROP,
      icon: redPinImage
```

```
    });
    markers.push(marker);
}
for (i = 17; i < 19; i++)
{
    var marker = new google.maps.Marker(
    {
        position: myLatLngs[i],
        map: map,
        draggable: true,
        animation: google.maps.Animation.DROP,
        icon: yellowPinImage
    });
    markers.push(marker);
}
for (i = 19; i < 25; i++)
{
    var marker = new google.maps.Marker(
    {
        position: myLatLngs[i],
        map: map,
        draggable: true,
        animation: google.maps.Animation.DROP,
        icon: greenPinImage
    });
    markers.push(marker);
}
//// Prototipo///////////////
for (i = 25; i < 26; i++)
{
    var marker = new google.maps.Marker(
    {
        position: myLatLngs[i],
        map: map,
        draggable: true,
        animation: google.maps.Animation.DROP,
        icon: bluePinImage
    });
    markers.push(marker);
}
////////////////////////////////////////////////
if (list !== null)
{
    list.addEventListener('change', function(e)
    {
        markers[lastIndex].setMap(null);
        markers[lastIndex] = new google.maps.Marker(
        {
            position: myLatLngs[lastIndex],
            map: map,
            icon: redPinImage
        });
        ////////////////////////////////////
        for (i = 0; i < 3; i++)
        {
            markers[index] = new google.maps.Marker(
            {
```

```
            position: myLatLngs[i],
            map: map,
            icon: bluePinImage
        });
    }
    for (i = 3; i < 4; i++)
    {
        markers[index] = new google.maps.Marker(
        {
            position: myLatLngs[i],
            map: map,
            icon: greenPinImage
        });
    }
    for (i = 7; i < 9; i++)
    {
        markers[index] = new google.maps.Marker(
        {
            position: myLatLngs[i],
            map: map,
            icon: yellowPinImage
        });
    }
    for (i = 10; i < 11; i++)
    {
        markers[index] = new google.maps.Marker(
        {
            position: myLatLngs[i],
            map: map,
            icon: yellowPinImage
        });
    }
    for (i = 12; i < 14; i++)
    {
        markers[index] = new google.maps.Marker(
        {
            position: myLatLngs[i],
            map: map,
            icon: yellowPinImage
        });
    }
    for (i = 14; i < 15; i++)
    {
        markers[index] = new google.maps.Marker(
        {
            position: myLatLngs[i],
            map: map,
            icon: greenPinImage
        });
    }
    for (i = 15; i < 16; i++)
    {
        markers[index] = new google.maps.Marker(
        {
            position: myLatLngs[i],
            map: map,
            icon: blackPinImage
```

```
                    });
                }
                for (i = 17; i < 19; i++)
                {
                    markers[index] = new google.maps.Marker(
                    {
                        position: myLatLngs[i],
                        map: map,
                        icon: yellowPinImage
                    });
                }
                for (i = 19; i < 24; i++)
                {
                    markers[index] = new google.maps.Marker(
                    {
                        position: myLatLngs[i],
                        map: map,
                        icon: greenPinImage
                    });
                }
                for (i = 25; i < 26; i++)
                {
                    markers[index] = new google.maps.Marker(
                    {
                        position: myLatLngs[i],
                        map: map,
                        icon: bluePinImage
                    });
                }
                ////////////////////////////////////////
                var index = list.selectedIndexes[0];
                markers[index].setMap(null);
                ////////////////////////////////////////
                markers[index] = new google.maps.Marker(
                {
                    position: myLatLngs[index],
                    map: map,
                    icon: whitePinImage
                });
                lastIndex = index;
            });
        }
    };
    if (document.readyState === 'complete' || document.readyState === 'loaded')
    {
        setup();
    }
    else
    {
        document.addEventListener('DOMContentLoaded', function()
        {
            setup();
        })
    }
}
</script>
```

Apéndice 2. Datos obtenidos

Tabla A. pH y temperatura medidos a finales de la época de estiaje

Fecha/hora	Puntos de monitoreo	Ubicación y localización geográfica de las mediciones				Indicadores		Observaciones
		Latitud	Longitud	Altura (m)	Distancia	pH_1	Temperatura_1	
28/10/2018 13:04:38	0	-12.340610	-74.982943	4124	0	7.28	10.00	Nacimiento del río Acraquia - Cerro Matacencca
28/10/2018 12:13:41	1	-12.375030	-74.948003	4104	6501	7.13	17.90	Parte baja Cerro Matacencca
28/10/2018 11:48:06	2	-12.380215	-74.945529	3399	725	7.18	18.00	Puente 1 San Juan de Pillo
28/10/2018 11:35:44	3	-12.381724	-74.942261	3370	413	6.80	18.00	Puente 2 San Juan de Pillo
28/10/2018 11:17:22	4	-12.389082	-74.930949	3310	1747	5.20	18.20	Puente Huasapuquio
28/10/2018 10:55:24	5	-12.396222	-74.921970	3281	1973	5.50	18.00	Puente 1 Pamuri
28/10/2018 10:45:57	6	-12.404860	-74.909142	3265	3163	5.80	17.80	Puente 2 Pamuri
28/10/2018 10:33:07	7	-12.398305	-74.899490	3261	1800	5.90	17.50	Puente Acraquia
28/10/2018 10:25:11	8	-12.399132	-74.897808	3260	289	6.22	17.20	Pozo Oxidación Acraquia
28/10/2018 10:12:51	9	-12.398823	-74.895520	3256	310	9.80	17.30	
28/10/2018 09:58:35	10	-12.397428	-74.884568	3249	1637	9.10	19.50	Pozo Oxidación Ahuaycha
28/10/2018 09:47:18	11	-12.396943	-74.883660	3248	250	9.40	19.80	
28/10/2018 09:32:45	12	-12.394236	-74.875802	3247	1646	8.20	19.22	Puente Yarccacancha
28/10/2018 09:15:12	13	-12.391178	-74.870208	3243	820	8.20	19.30	Puente Rumichaca
27/10/2018 12:27:33	14	-12.388586	-74.866492	3240	706	7.88	19.20	Pozo Oxidación Pampas-DH
27/10/2018 12:20:11	15	-12.386673	-74.864657	3239	370	9.98	19.20	
27/10/2018 12:10:23	16	-12.385533	-74.864554	3238	235	9.10	19.00	Puente Huilto
27/10/2018 11:51:52	17	-12.379238	-74.858725	3228	1256	8.50	18.20	Puente Quichcapucro
27/10/2018 11:40:45	18	-12.375991	-74.855186	3223	937	8.37	18.20	Puente Santa María
27/10/2018 11:18:25	19	-12.370835	-74.848690	3209	1358	6.82	18.00	Puente Chilcas
27/10/2018 11:02:22	20	-12.366904	-74.846182	3206	652	6.45	17.70	Puente Huallhuayocc
27/10/2018 10:45:22	21	-12.352242	-74.836177	3199	3150	6.80	17.80	Pozo Oxidación DH-Rundo
27/10/2018 10:32:05	22	-12.351131	-74.834148	3195	315	8.50	13.50	
27/10/2018 10:27:23	23	-12.341762	-74.829881	3185	1336	7.80	13.00	Agua Salada "La Colpa"
27/10/2018 10:07:05	24	-12.338028	-74.826365	3175	588	8.00	12.00	Puente La Colpa

Tabla B. pH y temperatura medida en plena época de estiaje

Fecha/hora	Puntos de monitoreo	Ubicación y localización geográfica de las mediciones				Indicadores		Observaciones
		Latitud	Longitud	Altura (m)	Distancia	pH_2	Temperatura_2	
8/06/2019 10:54:17	0	-12.340610	-74.982943	4124	0	7.40	8.00	Nacimiento del río Acraquia - Cerro Matacencca
8/06/2019 11:30:18	1	-12.375030	-74.948003	4104	6501	7.15	17.00	Parte baja Cerro Matacencca
8/06/2019 11:50:02	2	-12.380215	-74.945529	3399	725	7.20	17.50	Puente 1 San Juan de Pillo
8/06/2019 12:04:08	3	-12.381724	-74.942261	3370	413	6.80	17.80	Puente 2 San Juan de Pillo
8/06/2019 12:23:11	4	-12.389082	-74.930949	3310	1747	5.60	17.90	Puente Huasapuquio
8/06/2019 12:28:12	5	-12.396222	-74.921970	3281	1973	5.40	18.20	Puente 1 Pamuri
8/06/2019 12:45:07	6	-12.404860	-74.909142	3265	3163	5.60	18.50	Puente 2 Pamuri
8/06/2019 12:54:38	7	-12.398305	-74.899490	3261	1800	6.80	19.00	Puente Acraquia
8/06/2019 13:00:45	8	-12.399132	-74.897808	3260	289	6.40	19.00	Pozo Oxidación Acraquia
8/06/2019 13:11:55	9	-12.398823	-74.895520	3256	310	8.28	19.00	
8/06/2019 13:25:00	10	-12.397428	-74.884568	3249	1637	8.20	19.00	Pozo Oxidación Ahuaycha
8/06/2019 13:37:47	11	-12.396943	-74.883660	3248	250	8.70	19.00	
8/06/2019 13:52:23	12	-12.394236	-74.875802	3247	1646	8.67	19.20	Puente Yarccacancha
8/06/2019 14:15:58	13	-12.391178	-74.870208	3243	820	8.67	18.70	Puente Rumichaca
9/06/2019 09:14:05	14	-12.388586	-74.866492	3240	706	7.80	18.80	Pozo Oxidación Pampas-DH
9/06/2019 09:28:03	15	-12.386673	-74.864657	3239	370	9.60	18.80	
9/06/2019 10:43:44	16	-12.385533	-74.864554	3238	235	9.12	18.83	Puente Huilto
9/06/2019 11:10:00	17	-12.379238	-74.858725	3228	1256	8.80	17.50	Puente Quichcapucro
9/06/2019 11:27:08	18	-12.375991	-74.855186	3223	937	8.50	17.50	Puente Santa María
9/06/2019 11:50:15	19	-12.370835	-74.848690	3209	1358	6.88	17.70	Puente Chilcas
9/06/2019 12:10:09	20	-12.366904	-74.846182	3206	652	6.90	17.78	Puente Huallhuayocc
9/06/2019 12:32:04	21	-12.352242	-74.836177	3199	3150	6.80	18.80	Pozo Oxidación DH-Rundo
9/06/2019 12:40:08	22	-12.351131	-74.834148	3195	315	8.38	18.87	
9/06/2019 12:51:18	23	-12.341762	-74.829881	3185	1336	7.82	18.50	Agua Salada "La Colpa"
9/06/2019 13:14:07	24	-12.338028	-74.826365	3175	588	8.20	19.00	Puente La Colpa

Tabla C. pH y temperatura medida en plena época de avenida

Fecha/hora	Muestra	Ubicación y localización geográfica de las mediciones				Indicadores		Observaciones
		Latitud	Longitud	Altura (m)	Distancia	pH_3	Temperatura	
24/01/2019 13:40:41	0	-12.340610	-74.982943	4124	0	7.41	9.00	Nacimiento del río Acraquia -Cerro Matacencca
24/01/2019 12:20:11	1	-12.375030	-74.948003	4104	6501	7.33	16.00	Parte baja Cerro Matacencca
24/01/2019 11:40:01	2	-12.380215	-74.945529	3399	725	7.27	16.00	Puente 1 San Juan de Pillo
24/01/2019 11:30:05	3	-12.381724	-74.942261	3370	413	7.27	16.50	Puente 2 San Juan de Pillo
24/01/2019 11:15:11	4	-12.389082	-74.930949	3310	1747	6.90	16.50	Puente Huasapuquio
24/01/2019 10:55:07	5	-12.396222	-74.921970	3281	1973	6.85	16.30	Puente 1 Pamuri
24/01/2019 10:37:22	6	-12.404860	-74.909142	3265	3163	6.85	16.30	Puente 2 Pamuri
24/0/2019 10:28:17	7	-12.398305	-74.899490	3261	1800	6.90	16.40	Puente Acraquia
24/01/2019 10:20:02	8	-12.399132	-74.897808	3260	289	7.14	15.00	Pozo Oxidación Acraquia
24/01/2019 10:10:22	9	-12.398823	-74.895520	3256	310	7.98	15.00	
24/01/2019 09:50:00	10	-12.397428	-74.884568	3249	1637	7.01	14.00	Pozo Oxidación Ahuaycha
24/01/2019 09:43:22	11	-12.396943	-74.883660	3248	250	6.98	14.00	
24/01/2019 09:30:40	12	-12.394236	-74.875802	3247	1646	6.98	14.00	Puente Yarccacancha
24/01/2019 09:10:10	13	-12.391178	-74.870208	3243	820	7.18	13.84	Puente Rumichaca
23/01/2019 13:04:11	14	-12.388586	-74.866492	3240	706	7.17	15.50	Pozo Oxidación Pampas-DH
23/01/2019 12:30:21	15	-12.386673	-74.864657	3239	370	8.20	15.10	
23/01/2019 12:15:12	16	-12.385533	-74.864554	3238	235	7.92	15.61	Puente Huilto
23/01/2019 12:01:51	17	-12.379238	-74.858725	3228	1256	7.90	15.60	Puente Quichcapucro
23/01/2019 11:42:45	18	-12.375991	-74.855186	3223	937	7.60	15.24	Puente Santa María
23/01/2019 11:10:05	19	-12.370835	-74.848690	3209	1358	6.97	15.20	Puente Chilcas
23/01/2019 10:50:14	20	-12.366904	-74.846182	3206	652	7.00	15.00	Puente Huallhuayocc
23/01/2019 10:43:10	21	-12.352242	-74.836177	3199	3150	6.80	14.70	Pozo Oxidación DH-Rundo
23/01/2019 10:30:07	22	-12.351131	-74.834148	3195	315	7.00	14.60	
23/01/2019 10:10:56	23	-12.341762	-74.829881	3185	1336	7.12	14.50	Agua Salada "La Colpa"
23/01/2019 09:45:44	24	-12.338028	-74.826365	3175	588	7.80	14.00	Puente La Colpa

Tabla D. pH y temperatura medido al finalizar la época de avenida

Fecha/hora	Muestra	Ubicación y localización geográfica de las mediciones				Indicadores		Observaciones
		Latitud	Longitud	Altura (m)	Distancia	pH_4	Temperatura	
30/03/2019 10:00:45	0	-12.340610	-74.982943	4124	0	7.33	7.50	Nacimiento del río Acraquia -Cerro Matacencca
30/03/2019 11:20:18	1	-12.375030	-74.948003	4104	6501	7.29	14.85	Parte baja Cerro Matacencca
30/03/2019 11:50:02	2	-12.380215	-74.945529	3399	725	7.29	14.50	Puente 1 San Juan de Pillo
30/03/2019 12:10:08	3	-12.381724	-74.942261	3370	413	7.29	14.40	Puente 2 San Juan de Pillo
30/03/2019 12:20:00	4	-12.389082	-74.930949	3310	1747	7.18	14.50	Puente Huasapuquio
30/03/2019 12:38:05	5	-12.396222	-74.921970	3281	1973	7.18	14.50	Puente 1 Pamuri
30/03/2019 12:57:00	6	-12.404860	-74.909142	3265	3163	7.14	14.60	Puente 2 Pamuri
30/03/2019 13:10:18	7	-12.398305	-74.899490	3261	1800	7.16	15.20	Puente Acraquia
30/03/2019 13:20:05	8	-12.399132	-74.897808	3260	289	7.15	15.10	Pozo Oxidación Acraquia
30/03/2019 13:11:55	9	-12.398823	-74.895520	3256	310	7.80	15.20	
30/03/2019 13:35:10	10	-12.397428	-74.884568	3249	1637	6.99	15.20	Pozo Oxidación Ahuaycha
30/03/2019 13:48:22	11	-12.396943	-74.883660	3248	250	6.88	15.20	
30/03/2019 14:10:48	12	-12.394236	-74.875802	3247	1646	6.98	15.30	Puente Yarccacancha
30/03/2019 14:25:58	13	-12.391178	-74.870208	3243	820	7.38	15.30	Puente Rumichaca
31/03/2019 10:10:33	14	-12.388586	-74.866492	3240	706	7.16	13.00	Pozo Oxidación Pampas-DH
31/03/2019 10:32:55	15	-12.386673	-74.864657	3239	370	7.98	13.00	
31/03/2019 10:52:00	16	-12.385533	-74.864554	3238	235	7.50	13.20	Puente Huilto
31/03/2019 11:12:44	17	-12.379238	-74.858725	3228	1256	7.50	13.40	Puente Quichcapucro
31/03/2019 11:37:33	18	-12.375991	-74.855186	3223	937	6.99	13.50	Puente Santa María
31/03/2019 11:50:00	19	-12.370835	-74.848690	3209	1358	6.88	14.20	Puente Chilcas
31/03/2019 12:17:44	20	-12.366904	-74.846182	3206	652	6.90	14.30	Puente Huallhuayocc
31/03/2019 12:49:11	21	-12.352242	-74.836177	3199	3150	6.95	14.70	Pozo Oxidación DH-Rundo
31/03/2019 13:10:06	22	-12.351131	-74.834148	3195	315	7.00	14.80	
31/03/2019 13:28:00	23	-12.341762	-74.829881	3185	1336	7.01	15.00	Agua Salada "La Colpa"
31/03/2019 13:40:22	24	-12.338028	-74.826365	3175	588	7.70	15.80	Puente La Colpa

Tabla E. Comportamiento del pH de las aguas del rio Opamayo en temporadas de estiaje y avenida.

Puntos de monitoreo	Ubicación y localización geográfica de las mediciones			Temporada de estiaje				Temporada de avenida			
	Latitud	Longitud	Altura (m)	pH	ICA-NSF pH	Calidad de Agua	Variaciones	pH	ICA-NSF pH	Calidad de Agua	Variaciones
0	-12.340610	-74.982943	4124	7.34	91.5	Excelente	Ref.	7.34	7.37	Excelente	Ref.
1	-12.375030	-74.948003	4104	7.14	90.5	Excelente		7.14	7.31	Excelente	
2	-12.380215	-74.945529	3399	7.19	91	Excelente		7.19	7.28	Excelente	
3	-12.381724	-74.942261	3370	6.80	81	Buena	1	6.80	7.28	Excelente	
4	-12.389082	-74.930949	3310	5.40	40	Mala	2	5.40	7.04	Buena	1
5	-12.396222	-74.921970	3281	5.45	41	Mala		5.45	7.02	Buena	
6	-12.404860	-74.909142	3265	5.70	48	Mala		5.70	7.00	Buena	
7	-12.398305	-74.899490	3261	6.35	58	Regular	3	6.35	7.03	Buena	
8	-12.399132	-74.897808	3260	6.31	64	Regular		6.31	7.15	Buena	
9	-12.398823	-74.895520	3256	9.04	44	Mala	4	9.04	7.89	Buena	
10	-12.397428	-74.884568	3249	8.65	58	Regular	5	8.65	7.00	Buena	
11	-12.396943	-74.883660	3248	9.05	50	Mala	6	9.05	6.93	Buena	
12	-12.394236	-74.875802	3247	8.44	70	Regular	7	8.44	6.98	Buena	
13	-12.391178	-74.870208	3243	8.44	70	Regular		8.44	7.28	Excelente	2
14	-12.388586	-74.866492	3240	7.84	86	Buena	8	7.84	7.17	Excelente	
15	-12.386673	-74.864657	3239	9.79	24	Pésima	9	9.79	8.09	Buena	3
16	-12.385533	-74.864554	3238	9.11	45	Mala	10	9.11	7.71	Buena	
17	-12.379238	-74.858725	3228	8.65	58	Regular	11	8.65	7.70	Buena	
18	-12.375991	-74.855186	3223	8.44	66	Regular		8.44	7.30	Excelente	4
19	-12.370835	-74.848690	3209	6.85	88	Buena	12	6.85	6.93	Buena	5
20	-12.366904	-74.846182	3206	6.68	76	Buena		6.68	6.95	Buena	
21	-12.352242	-74.836177	3199	6.80	82	Buena		6.80	6.88	Buena	
22	-12.351131	-74.834148	3195	8.44	70	Regular	13	8.44	7.00	Buena	
23	-12.341762	-74.829881	3185	7.81	88	Buena	14	7.81	7.07	Buena	
24	-12.338028	-74.826365	3175	8.10	82	Buena		8.10	7.75	Buena	

Apéndice 3. Fotografías

Foto 1. Monitoreo del pH en la laguna de Matacencca, en el nacimiento del río Opamayo con el sistema electrónico en el punto de monitoreo 0.

Foto 2. Monitoreo del pH de las aguas del rio Opamayo en el puente 1 de San Juan de Pillo, con el sistema electrónico en el punto de monitoreo 2.

Foto 3. Monitoreo de las aguas del rio Opamayo a 50 m. aguas arriba del pozo de oxidación de Acraquia, con el sistema electrónico en el punto de monitoreo 8.

Foto 4. Monitoreo de las aguas del rio Opamayo a 200 m. aguas abajo del pozo de oxidación de Acraquia, con el sistema electrónico en el punto de monitoreo 9.

Foto 5. Monitoreo de las aguas del rio Opamayo, a 50 m. aguas arriba del pozo de oxidación de Ahuaycha, con el sistema electrónico en el punto de monitoreo 10.

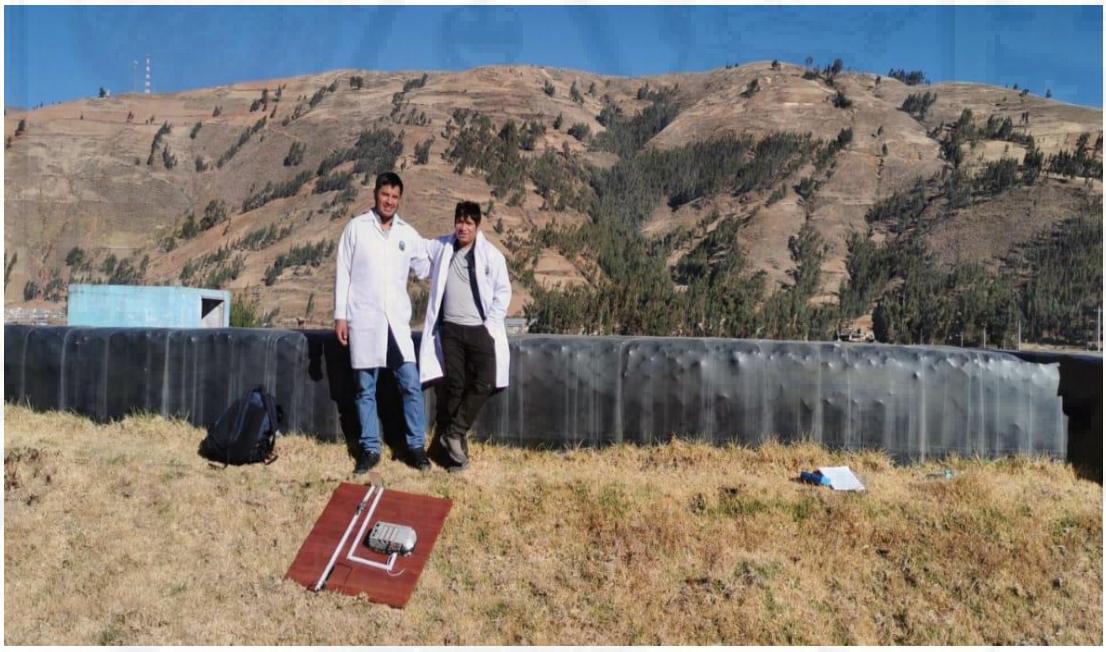

Foto 6. Vista de oxidación de Ahuaycha, cercano a los puntos de monitoreo de 10 y 11.

Foto 7. Monitoreo de las aguas del rio Opamayo, aguas arriba del pozo de oxidación de Pampas-DH, con el sistema electrónico en el punto de monitoreo 14.

Foto 8. Vista de oxidación de Pampas-DH, cercano a los puntos de monitoreo de 14 y 15.

Foto 9. Monitoreo de las aguas del rio Opamayo, aguas abajo del pozo de oxidación de Rundo-DH, con el sistema electrónico en el punto de monitoreo 22.

Foto 10. Vista de pozo de oxidación de Rundo-DH, cercano a los puntos de monitoreo 21 y 22.

Foto 11. Monitoreo de las aguas del rio Opamayo en el puente de La Colpa, con el sistema electrónico en el punto de monitoreo 24.