

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creado por Ley N° 25265)



FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS

**SISTEMA SCADA CON
GEORREFERENCIACIÓN PARA LA
DETERMINACIÓN DE DISPONIBILIDAD
HÍDRICA EN RESERVORIOS DE AGUA EN
EL VALLE DE PAMPAS-TAYACAJA**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

PRESENTADO POR:

BACH. EDITH ROSARIO CASTRO GÓNGORA

BACH. ALEX KENDY TRISTÁN BARZOLA

HUANCAMELICA, OCTUBRE DEL 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
(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 05 días del mes de NOVIEMBRE del año 2018, a horas 12.00., se reunieron; el Jurado Calificador, conformado de la siguiente manera:

Presidente:.....M.Sc. JORGE AMADOR VARELA ABUJE.....

Secretario:.....ING. LUCIO QUISPE CARRION.....

Vocal:.....M. B. EVERETH MANUEL RAMOS LARA.....

Ratificados con Resolución N° 339-2018-FIES-UNH; del: proyecto de investigación (Tesis), Titulado: "SISTEMA SCADA CON GEOREFERENCIACION PARA LA DETERMINACION DE DISPONIBILIDAD HIDRICA EN RESERVOIRIO DE AGUA EN EL VALLE DE PAMPAS - TAYACASA"

Cuyos autores son los graduado (s):

BACHILLER (S): EDITA ROSARIO CASTRO GONZALEZ
ALEX KENDY TRISTAN BARZOLA

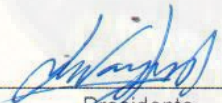
A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del proyecto de investigación, antes citado.

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 ☒ POR MAYORIA

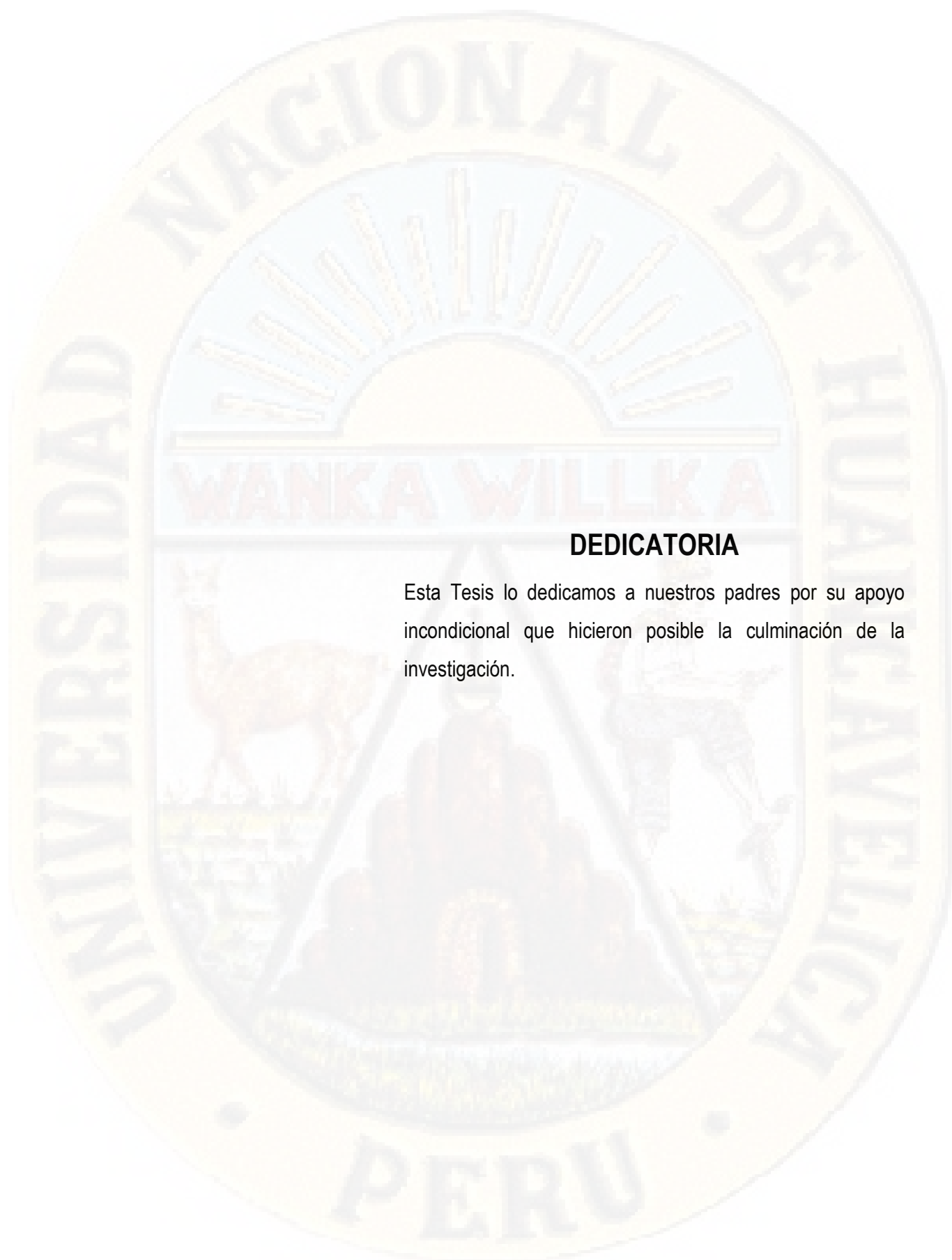
DESAPROBADO ☐

En conformidad a lo actuado firmamos al pie.


Presidente

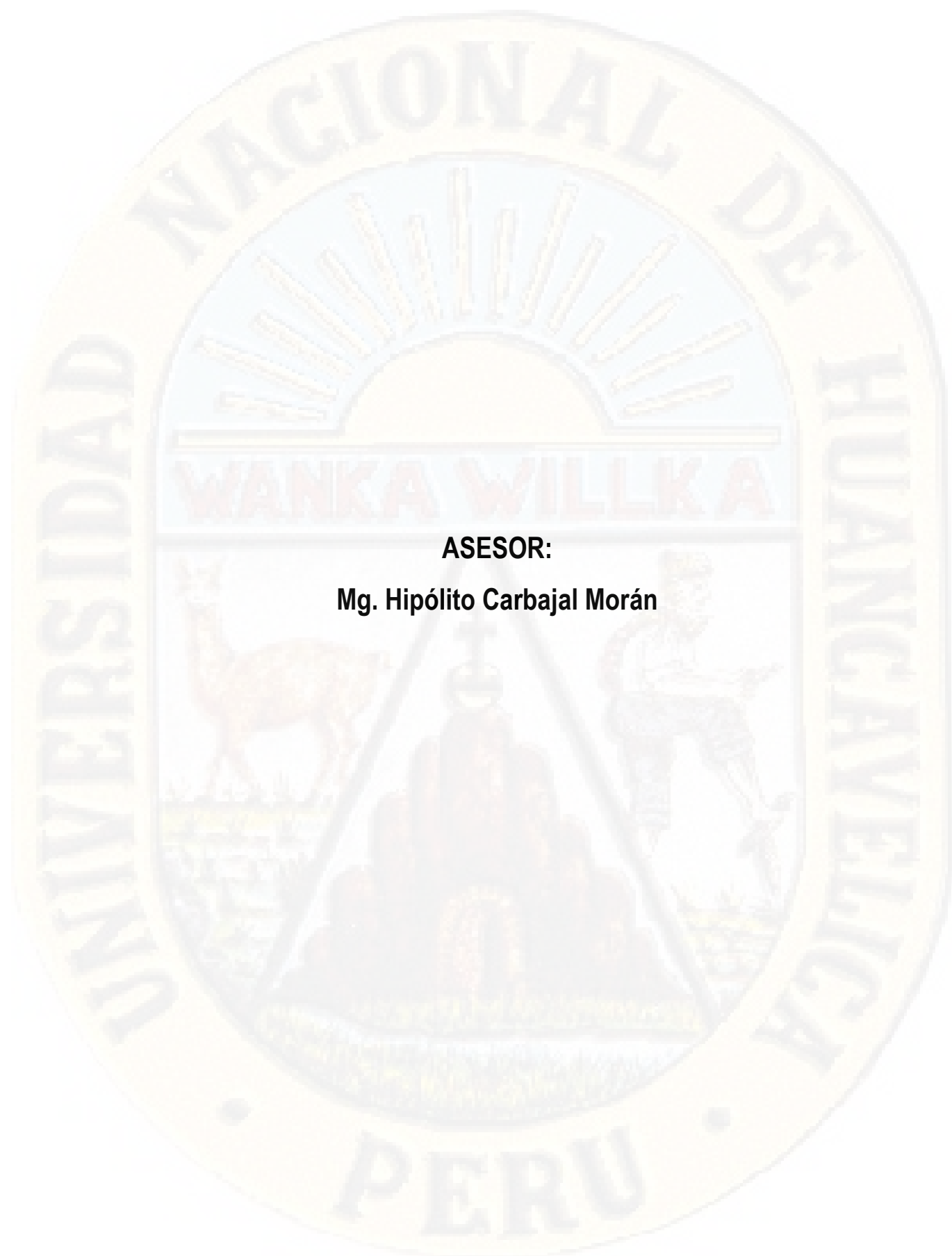

Secretario


Vocal



DEDICATORIA

Esta Tesis lo dedicamos a nuestros padres por su apoyo incondicional que hicieron posible la culminación de la investigación.



ASESOR:

Mg. Hipólito Carbajal Morán

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Nacional de Huancavelica por admitirnos y darnos una formación integral con competencias científicas y tecnológicas en la Carrera Profesional de Ingeniería Electrónica para contribuir al bienestar de la sociedad. Así como también, agradecemos a todos los docentes quienes nos guiaron y volcaron sus conocimientos en nosotros.

Agradecemos al asesor de Tesis Mg. Hipólito Carbajal Morán por haber guiado el desarrollo de esta tesis brindando sus conocimientos referentes a lo académico y metodológico, permitiendo de este modo concretar con los objetivos trazados en la investigación.

Agradecemos a las personas encargadas de los diferentes reservorios del valle de Pampas – Tayacaja, por brindarnos las facilidades para acceder a sus instalaciones y realizar la toma de muestras de la disponibilidad hídrica con el prototipo experimental implementado para este fin.

A nuestros padres por apoyarnos en todo momento e incondicionalmente en forma efectiva permitiendo el logro de nuestras aspiraciones personales y académicas.

Finalmente, agradecemos a todos los integrantes de la comunidad universitaria de la EPIE, quienes se involucraron directa o indirectamente coadyuvando a la cristalización de este proyecto.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I	1
PROBLEMA	1
1.1. PLANTEAMIENTO 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
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES	5
2.2. BASES TEÓRICAS	8
2.2.1. Valle de Pampas-Tayacaja	8
2.2.2. Reservorios de agua en el valle de Pampas	9
2.2.3. Sistema de Información Geográfica	12
2.2.4. Sistema SCADA	14
2.2.5. LabVIEW	21
2.2.6. Codificación JSON	24
2.2.7. GMAP.NET	27

2.2.8.	Microcontrolador ESP32	29
2.2.9.	Sensor de nivel por ultrasonido	30
2.2.10.	Cálculo de volumen de agua en reservorios	31
2.2.11.	Base de datos	33
2.3.	HIPÓTESIS.....	39
2.3.1.	Hipótesis general	39
2.3.2.	Hipótesis específica	40
2.4.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	40
2.5.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	42
2.5.1.	Variable independiente.....	42
2.5.2.	Variable dependiente	43
2.6.	DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES	43
	CAPÍTULO III.....	45
	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	45
3.1.	ÁMBITO DE ESTUDIO	45
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	45
3.3.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	45
3.4.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	45
3.5.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	46
3.6.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	46
3.6.1.	Población	46
3.6.2.	Muestra	47
3.6.3.	Muestreo	49
3.7.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	49
3.8.	PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	50
3.9.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	50
	CAPÍTULO IV.....	52
	RESULTADOS.....	52
4.1.	ADQUISICIÓN DE DATOS	53
4.1.1.	Adquisición de datos de georreferenciación de reservorios	53
4.1.2.	Adquisición de datos de la distancia del sensor a la superficie de agua en reservorios	54
4.2.	COMUNICACIÓN WIFI - INTERNET	57

4.3.	SUPERVISIÓN.....	57
4.3.1.	Supervisión de la georreferenciación	57
4.3.2.	Supervisión de la disponibilidad hídrica en reservorios.....	59
4.4.	DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LOS RESERVORIOS	61
4.5.	MEDICIÓN DE DATOS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE CINCO RESERVORIOS DEL VALLE DE PAMPAS-TAYACAJA CON EL SISTEMA SCADA IMPLEMENTADO.....	66
4.6.	PRUEBA DE HIPÓTESIS	68
4.7.	DISCUSIÓN	71
	CONCLUSIONES	73
	RECOMENDACIONES.....	74
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
	ARTÍCULO CIENTÍFICO	77
	ANEXOS	84
	Anexo 1. Codificación de adquisición de datos de georreferenciación de los reservorios.	85
	Anexo 2. Codificación de la subrutina para el cálculo del valor de L.	91
	Anexo 3. Codificación de la comunicación.....	92
	Anexo 4. Fotografías.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Página</i>
Tabla N° 1.1. Reservorios de agua en la provincia de Tayacaja.....	2
Tabla N° 2.1. Enrutamiento de clúster y datos en JSON	26
Tabla N° 2.2. Capas físicas del estándar 802.11, que establecen modos de transmisión alternativos:.....	38
Tabla N° 2.3. Estándares Wifi	38
Tabla N° 3.1. Estadísticos para la medición de volumen de agua piloto con 20 observaciones. ...	48
Tabla N° 3.2. Instrumento de recolección de datos.....	50
Tabla N° 4.1. Disponibilidad hídrica determinada en reservorios en estudio con el sistema SCADA implementado.	67
Tabla N° 4.2. Eficiencia de determinación de disponibilidad hídrica en reservorios en estudio con el sistema SCADA implementado.....	68
Tabla N° 4.3. Estadísticos descriptivos para la variable eficiencia de determinación de la disponibilidad hídrica en reservorios.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Página</i>
Figura N° 1.1. Distribución de reservorios de agua en la provincia de Tayacaja.	2
Figura N° 2.1. Vista panorámica del valle de Pampas – Tayacaja	8
Figura N° 2.2. Localización del reservorio de agua del distrito de Daniel Hernández.....	9
Figura N° 2.3. Localización del reservorio de agua del distrito de Pampas	10
Figura N° 2.4. Localización del reservorio de agua de la FIES.....	10
Figura N° 2.5. Localización del reservorio de agua del distrito de Ahuaycha	11
Figura N° 2.6. Localización de reservorio de agua del distrito de Acraquia	11
Figura N° 2.7. Imagen obtenida con un SIG.	13
Figura N° 2.8. Presentación inicial de LabVIEW 2018.....	22
Figura N° 2.9. Panel frontal de LabVIEW.	23
Figura N° 2.10. Diagrama de bloques de LabVIEW.....	23
Figura N° 2.11. Diagrama de bloque de JSON en LabVIEW	25
Figura N° 2.12. Mapa trazado con GMap.NET.	28
Figura N° 2.13. Distribución de pines del Microcontrolador ESP32.....	30
Figura N° 2.14. Sensor de nivel ultrasónico.....	31
Figura N° 2.15. Dimensiones de un reservorio cilíndrico.	32
Figura N° 2.16. Dimensiones de un reservorio de forma cúbica.....	32
Figura N° 2.17. Logo de Microsoft Access.....	33
Figura N° 2.18. Arquitectura de ThingSpeak.	37
Figura N° 2.19. GPS NEO-6M	39
Figura N° 3.1. Representación gráfica de Z_{∞} para prueba de una sola cola.....	48
Figura N° 4.1. Diagrama del sistema SCADA con georreferenciación para la determinación de disponibilidad hídrica en reservorios de agua.....	52
Figura N° 4.2. Diagrama de flujo de adquisición de datos de georreferenciación de reservorios.....	53
Figura N° 4.3. Circuito de conexión del GPS NEO 6M al ESP32.	54
Figura N° 4.4. Diagrama de flujo de adquisición de datos para el cálculo del nivel de agua en reservorios.....	55
Figura N° 4.5. Circuito de conexión del sensor de ultrasonido al ESP32.	56

Figura N° 4.6.	Implementación del programa de adquisición de datos en la plataforma de Arduino.	56
Figura N° 4.7.	Circuito y configuración de comunicación con el servidor Web Wifi - Internet.	57
Figura N° 4.8.	Datos de acceso al servidor Web.	57
Figura N° 4.9.	JSON implementado para LabVIEW.	58
Figura N° 4.10.	Diagrama de identificación de la latitud, longitud y altitud de cada reservorio de agua.....	58
Figura N° 4.11.	Despliegue en mapa GIS para la supervisión de los datos de georreferenciación de los reservorios de agua del valle de Pampas.	59
Figura N° 4.12.	Diagrama de cálculo de volumen de agua en los reservorios del valle de Pampas.	60
Figura N° 4.13.	Supervisión de la disponibilidad hídrica en los reservorios de agua del valle de Pampas.	61
Figura N° 4.14.	Edición de los campos de la tabla Disp_Agua para almacenar el volumen de agua por fecha/hora para cada reservorio.....	62
Figura N° 4.15.	Datos que representan volumen de agua almacenados por Fecha/Hora para cada reservorio en la tabla Disp_Agua.	62
Figura N° 4.16.	Interface del cálculo del volumen de agua almacenados en rangos de Fecha/Hora para cada reservorio del valle de Pampas-Tayacaja.	63
Figura N° 4.17.	Diagrama de construcción de la sintaxis para consultar el volumen de agua en reservorio.....	64
Figura N° 4.18.	Diagrama de construcción de la sintaxis para consultar la Fecha/Hora correspondiente al volumen de agua en reservorio consultado.....	64
Figura N° 4.19.	Diagrama de construcción de la sintaxis para consultar la Fecha/Hora correspondiente al volumen de agua en reservorio consultado.....	65
Figura N° 4.20.	Diagrama para el cálculo del volumen de agua almacenados en rangos de Fecha/Hora para el reservorio seleccionado del valle de Pampas-Tayacaja.....	66

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Página

Gráfico 4.1. Prueba t bilateral de la hipótesis relacionado a la variable volumen de agua en reservorios del valle de Pampas – Tayacaja.	71
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

RESUMEN

La investigación tuvo como **objetivo**: implementar un sistema SCADA con georreferenciación cuya configuración permite determinar la disponibilidad hídrica en cinco reservorios del valle de Pampas – Tayacaja; se emplearon como **material y métodos**: el GPS para georreferenciar cada reservorio, sensor ultrasónico para medir el nivel de agua en cada reservorio, módulo con microcontrolador ESP32 para la adquisición de datos y envío por medio de WIFI a servidor web vía Internet. La investigación es del tipo tecnológico con nivel aplicado; la **hipótesis** fue: la configuración del sistema SCADA con georreferenciación y sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi, servidor web y base de datos, permite determinar con una eficiencia superior al 99% la disponibilidad hídrica en cinco reservorios del valle de Pampas – Tayacaja; se obtuvo como **resultados**: con las muestras obtenidas empleando la prueba estadística t de Student se probó la eficiencia de determinación de disponibilidad hídrica de un sistema SCADA configurado en forma particular para esta investigación, encontrando que la eficiencia corresponde a lo planteado en la hipótesis; se realizó la **discusión**: los estudios citados en antecedentes, utilizaron la información satelital para mapeo de áreas y que puede ser empleado para propósitos de georreferenciación, esto sirvió de base para georreferenciar los reservorios de agua en el valle de Pampas, emplea sensores y protocolos de comunicación; finalmente, en **conclusión**: la configuración del sistema SCADA con georreferenciación y sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi, servidor web y base de datos, permite determinar con una eficiencia superior al 99%, la disponibilidad hídrica en reservorios de los distritos de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia en el valle de Pampas – Tayacaja.

Palabras claves: Georreferenciación, disponibilidad hídrica, comunicación Wifi, sensor ultrasónico.

ABSTRACT

The objective of the research was to: implement a SCADA system with georeferencing whose configuration allows the determination of water availability in five reservoirs of the Pampas - Tayacaja valley; The GPS was used as material and methods to georeference each reservoir, ultrasonic sensor to measure the water level in each reservoir, module with ESP32 microcontroller for data acquisition and sending via WIFI to web server via Internet. The research is of the technological type with applied level; the hypothesis was: the configuration of the SCADA system with georeferencing and ultrasonic level sensors with Wi-Fi communication, web server and database, allows to determine with greater efficiency than 99% the water availability in five reservoirs of the Pampas - Tayacaja valley; the results were obtained: with the samples obtained using the Student's t-test, the efficiency of determination of water availability of a SCADA system configured in a particular way for this investigation was proved, finding that the efficiency corresponds to what was proposed in the hypothesis; the discussion was carried out: the studies cited in the background, used satellite information to map areas and can be used for georeferencing purposes, this served as a basis for georeferencing the water reservoirs in the Pampas Valley, using sensors and protocols communication; finally, in conclusion: the configuration of the SCADA system with georeferencing and ultrasonic level sensors with Wi-Fi communication, web server and database, allows to determine with greater efficiency than 99%, the water availability in reservoirs of the districts of Daniel Hernández , Pampas, Ahuaycha and Accraquia in the valley of Pampas - Tayacaja.

Keywords: Georeferencing, water availability, Wifi communication, ultrasonic sensor.

INTRODUCCIÓN

Instituciones nacionales como la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) y la Autoridad Nacional del Agua impulsan el cuidado de las fuentes de agua, mediante los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos en los que se involucra a todos los actores interesados en una gestión adecuada y responsable del recurso hídrico y teniendo en cuenta la escasez del agua a causa de diferentes factores. Por otro lado, no se conoce en tiempo real la disponibilidad del líquido elemento en los reservorios de agua para consumo humano distribuidos en el valle de Pampas, comprensión de los distritos de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia, siendo la disponibilidad de agua un indicador para su gestión y administración por las municipalidades responsables. Por lo que fue necesario implementar el sistema SCADA con georreferenciación y con una configuración particular para ubicar los reservorios, y determinar en tiempo real la disponibilidad de agua para consumo humano. Para este fin se empleó dispositivos electrónicos con tecnología emergentes basados en comunicación Wifi y servidor Web. Se sometió a prueba la eficiencia de determinación de disponibilidad hídrica del sistema SCADA empleando la prueba estadística de t de Student.

El trabajo de investigación está organizado en cuatro capítulos que se describen a continuación:

Capítulo I; en este capítulo se aborda el planteamiento del problema, así como la formulación y los objetivos del estudio.

Capítulo II; contiene el marco teórico incluyendo los antecedentes y las bases teóricas que son el soporte para el desarrollo del trabajo de investigación. También contiene la hipótesis y 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 con estudios similares.

Se complementa la estructura del informe con las conclusiones y recomendaciones.

Los tesisistas.

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), establece que el Perú es el 8° país del mundo en reservas de agua dulce (2 % del planeta), sin embargo, por la naturaleza geoespacial la mayor concentración de agua dulce se encuentra en la vertiente del Atlántico donde se genera el 97.7 % de los recursos hídricos, la vertiente del Pacífico genera 1,8% de los recursos hídricos [1]. La mayor población se encuentra en esta última vertiente sufriendo de estrés hídrico que viene agravándose por efectos del cambio climático, sumado a esto la calidad del servicio de agua y saneamiento deficientes: el poblador en regiones como Huancavelica, Ucayali, Loreto, Cajamarca y Pasco, solo tiene acceso entre 51 % y 60 % de hogares; en la población rural únicamente 2 % cuenta con este servicio [2].

En la provincia de Tayacaja solo el 57.26 % de la población cuenta con el abastecimiento de agua dentro de sus viviendas y de estos más del 25% tiene agua por solo 6 horas diarias [3]. En el valle de Pampas se tiene pobladores con abastecimiento de agua dentro de sus viviendas distribuidos del siguiente modo: distrito de Daniel Hernández 69.99 %, Pampas 74.24%, Ahuaycha 60.33 % y Acraquia 66.73%; esto se debe a la deficiente infraestructura y sobre todo a la escasez del agua, sumándose la falta de planificación de los procesos de captación, medición y distribución.

Para determinar la disponibilidad del agua en diferentes espacios geográficos pueden emplearse tecnologías de georreferenciación asociados a sistemas de supervisión, control y automatización.

Actualmente no se conoce en tiempo real la disponibilidad del líquido elemento en los reservorios de agua para consumo humano (agua segura, ver figura N° 1.1 y tabla N° 1.1) distribuidos en el valle de Pampas, comprensión de los distritos de Daniel Hernández,

Pampas, Ahuaycha y Acraquia, siendo la disponibilidad de agua un indicador para su gestión y administración por las municipalidades responsables.

En este sentido es necesario contar con un sistema que permita ubicar los reservorios, y supervisar la cantidad de agua disponible en tiempo real, por lo que se propone la implementación de un sistema SCADA con georreferenciación para la determinación eficiente de la disponibilidad hídrica en reservorios de agua en el valle de Pampas – Tayacaja.



Figura N° 1.1. Mapa de distribución de reservorios de agua en la provincia de Tayacaja.

(Fuente: adaptado del Plan de Desarrollo Concertado de Tayacaja 2007-2015¹.)

Tabla N° 1.1. Reservorios de agua en la provincia de Tayacaja.

Tayacaja	Reservorio de agua	Agua segura	Letrina	Planta de Tratamiento de Agua		Reservorio de agua	Agua segura	Letrina	Planta Trat. Agua
Colcabamba	14	2	114		Huachocolpa	7	-	50	
Pampas	11	1	59		Tintay punco	6	-	10	
Acraquia	18	7	291		San Isidro de Acobamba	19	-	149	
Ahuaycha	15	1	183		San Marcos de Rochac	9	-	90	
D. Hernández	38	1	994		Coris	16	3	92	
Salcabamba	14	4	311		Paucarbamba	20	5	176	
Acostambo	18	-	371		Churcampa	19	1	387	
Nahuinpuquio	8	-	55		Lloroja	8	-	295	
Quishuar	3	1	89		Mayocc	3	-	24	
Pazos	24	4	396		La Merced	3	-	55	
Huaribamba	19	5	228		Anco	-	-	-	
Salcahuasi	12	-	190		Chinchihuasi	16	-	23	
Surcubamba	19	-	163		Pachamarca	-	-	-	

Fuente: Adaptado de "Red III de Salud Tayacaja, Salud, Medio ambiente y equipo consultor 2007 CGB".

¹ Hallado en: www.munitayacaja.gob.pe/pdc/4%20cuarta%20parte.pdf, referenciado el 16 de agosto de 2017.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es la configuración del sistema SCADA con georreferenciación que permite determinar en forma eficiente la disponibilidad hídrica en cinco reservorios del valle de Pampas - Tayacaja?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué sensores y herramientas permiten al sistema SCADA determinar el nivel de agua en cinco reservorios del valle de Pampas - Tayacaja?
- ¿Cómo determinar la disponibilidad hídrica en cinco reservorios del valle de Pampas-Tayacaja?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Implementar un sistema SCADA con georreferenciación cuya configuración permite determinar en forma eficiente la disponibilidad hídrica en cinco reservorios del valle de Pampas - Tayacaja.

1.3.2. Objetivos específicos

- Implementar un sistema SCADA con georreferenciación, sensores y herramientas para determinar el nivel de agua en cinco reservorios del valle de Pampas – Tayacaja.
- Implementar una base de datos para almacenar la cantidad de agua y determinar la disponibilidad hídrica en cinco reservorios del valle de Pampas-Tayacaja.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Justificación tecnológica

El Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos con georreferenciación permite supervisar la cantidad de agua para consumo humano en 05 reservorios del valle de Pampas en forma eficiente, con cuyos datos se calcula la disponibilidad hídrica instantánea para el consumo humano empleando la plataforma de desarrollo

con instrumentación virtual de LabVIEW. Para esto se empleó software GIS, sensores no invasivos de nivel de agua, comunicación Wifi empleando tecnología ethernet y una base de datos.

1.4.2. Justificación social

El agua es el líquido elemento vital para la subsistencia humana, viene escaseando por efectos del cambio climático y el crecimiento poblacional a nivel mundial, por lo que debe ser gestionado y administrado su uso adecuadamente para la distribución sostenible entre la población de esta parte del país. Para cuyo efecto se debe identificar la cantidad de agua disponible en cada reservorio para su adecuada administración, empleando las tecnologías de información, control y automatización disponibles.

1.4.3. Justificación ecológica

Esta investigación propicia el conocimiento en tiempo real del comportamiento volumétrico del agua en cinco reservorios, contribuyendo de este modo con información sobre el ecosistema acuático del valle de Pampas-Tayacaja.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

El trabajo de investigación se basó en investigaciones que se desarrollaron con sistemas de información geográfica que involucra mediciones de parámetros y mejora en la distribución de agua, así como también el empleo de sensores y sistemas SCADA relacionados con la administración del agua. Estos antecedentes son los siguientes:

Hernán Velásquez. Los Sistemas de Información Geográfica SIG como herramientas de apoyo al estudio de los recursos naturales y la planificación. [VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo]. Ecuador, 2015.

En esta investigación se desarrolla una metodología que permite utilizar la información digitalizada a efectos de proporcionar información espacial cuantitativa sobre: superficies cultivadas, zonas cubiertas con bosques naturales, pendientes, suelos, aptitudes agrícolas, clima, hidrología. De manera confiable, y superficies afectadas por un determinado impacto ambiental. También, establece un sistema de monitoreo (relevamiento de información) de los recursos naturales renovables, estimaciones agrícolas (basado en el uso de información satelital). En la formulación de un Sistema de Información Geográfica Agrícola, basado en el uso de imágenes satelitales, información cartográfica temática, levantamientos in situ (GPS), se deben considerar diferentes subsistemas, cuyo desarrollo, en algunos casos simultáneos y en otros secuencial, permitirá alcanzar los resultados parciales que confluyen en la obtención del resultado final: el funcionamiento operativo del SIG. Obteniendo: mapas actualizados, mapas de áreas homogéneas, información satelital para usos estadísticos. Siendo los SIG herramientas aplicables a diferentes propósitos de georreferenciación.²

² Hallado en: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/6-Los-SIG-como-herramientas-de-apoyo-Velasquez-H1.pdf>, referenciado el 18 de agosto de 2017.

Juan Erasmo Pineda Rodríguez. Uso de los sistemas de información geográfica en la Ingeniería Civil. [Tesis para la obtención del título de ingeniero civil]. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. México, 2012.³

Esta investigación tuvo por objetivo principal mostrar los usos de los Sistemas de Información Geográfica en los diferentes campos de acción de la ingeniería civil. Esperando lograr el interés de una mayor población y ser una alternativa para la generación de soluciones. Se concluye que: los Sistemas de Información Geográfica han demostrado ser una herramienta excepcional en el manejo de información espacial, sus participaciones en las distintas tareas de la ingeniería civil han puesto en evidencia su potencialidad obteniéndose de estos resultados muy satisfactorios. También indica que, a la fecha, las potencialidades de estos sistemas no han sido explotadas a su máxima capacidad, por una parte, debido al poco interés por parte de los ingenieros y por la falta de conocimiento de sus alcances. Por el empleo de las Sistemas de Información Geográfica (GIS) ayudará al desarrollo de la investigación que se plantea, en lo referente a la georreferenciación.

Pedro Pablo Florencio Inga. Desarrollo del Software de un Sistema SCADA para la distribución de agua potable en la quebrada de Manchay. Universidad Nacional de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Electrónica. Perú; 2012.⁴

Esta investigación tiene como objetivo principal aplicar un sistema SCADA, para control y supervisión desde un centro de control, de todas las estaciones de bombeo del sistema de distribución de agua potable en la quebrada de Manchay. Además, busca reducir los costos de operación, desarrollando una lógica de funcionamiento para las estaciones de bombeo, de tal manera que puedan funcionar automáticamente sin intervención de operadores. Con esto se busca conseguir que a la población del pueblo de Manchay no le falte agua en ningún momento del día, ya que las estaciones de bombeo deben operar de manera continua. Finalmente, además de supervisar y comandar el proceso desde un centro de control, también se desea poder hacerlo desde la misma estación de bombeo, con el uso de un panel de operador.

³ Hallado en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2498/1/Tesis.pdf.pdf>, referenciado el 18 de agosto de 2017.

⁴ Hallado en: <http://bibliotecas.univa.edu.pe/catalogos-y-recursos/tesis-digitales-uni/>, referenciado el 18 de agosto de 2017.

José L. Apolo Marchán. Proyecto de evaluación y reducción de pérdidas en el sistema de abastecimiento de agua potable. EMFAPA TUMBES S.A (Empresa Fronteriza de Agua Potable de Tumbes S.A). [Tesis para la obtención del título de ingeniero mecánico de fluidos]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas. Perú; 2004.⁵

En esta investigación se describe los sistemas de clarificación existentes, funcionando con tecnologías y procedimientos de operación obsoletos, que no garantizan la buena calidad de la meladura en etapas posteriores de producción. El principal objetivo de la clarificación es eliminar la máxima cantidad de impurezas en la etapa más temprana del proceso, que permitan las otras consideraciones del mismo, tales como la claridad y reacción del jugo claro. Buscando solucionar este problema, se propone la automatización del proceso mencionado por medio de elementos de campo, controladores de lazos múltiples y elementos finales de control para buscar lograr mejorar la eficiencia del sistema de clarificación. Así, con un proceso controlado sumado a una metodología de proceso adecuada, se podría lograr una operación más estable y consistente, traduciéndose en mayor capacidad de procesamiento, mejor calidad y menor costo en insumos químicos y energéticos.

Rosario R. Castillo. Diseño y simulación del sistema de automatización y control del proceso de floculación para una planta de tratamiento de agua potable utilizando protocolo de comunicación CANOPEN. [Tesis para la obtención del título de ingeniero electricista]. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingenierías: Eléctrica, Electrónica, Física, Ciencias de la Computación. Colombia; 2012.⁶

Este trabajo se ha realizado con el objetivo principal de mejorar sustancialmente uno de los procesos más importantes en el campo de la industria como son las plantas de tratamiento de agua y en este caso particular la etapa de floculación (proceso químico de adición de sustancias coagulantes para el mejor filtrado de partículas en el agua), que es donde se aglutinan las partículas contaminantes del agua mediante un proceso de agitación para posteriormente ser retiradas tras una fase de sedimentación.

Gracias a la implementación de la automatización de procesos industriales se diseñó un sistema centralizado en donde se controlan las condiciones de operación de cada uno de los motores que componen los agitadores y se supervisarán las variables de estado más

⁵ Hallado en: http://biblioteca.unms.edu.gt/tesis/08/08_0153_ME.pdf, referenciado el 18 de agosto de 2017.

⁶ Hallado en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/21GEFDRt.pdf>, referenciado el 18 de agosto de 2017.

representativas del proceso a través de una red de comunicación industrial y así lograr una operación óptima del sistema. Se evidenciará posterior a todo el desarrollo que la operación del sistema de modo automático y controlado por los operarios o por el personal a cargo del sistema es mucho más sencillo y eficiente que el sistema actual el cual opera de manera manual y a criterio de algunas condiciones no necesariamente reales.

2.2. BASES TEÓRICAS

Las bases teóricas para el desarrollo de esta investigación consideran: las características del valle de Pampas, los reservorios de agua existentes, las tecnologías de georreferenciación disponibles y la tecnología de los sistemas de adquisición de datos, control y supervisión.

2.2.1. Valle de Pampas-Tayacaja

El valle de Pampas, comprende los distritos de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia que son parte de los 16 distritos que componen la provincia de Tayacaja, en el departamento de Huancavelica. Se encuentran en la zona suroeste de la mencionada provincia, su capital, la ciudad de Pampas a 3,276 m.s.n.m. La capital distrital se localiza a 12° 23'42 de latitud sur y 74°52' 02 de longitud oeste.

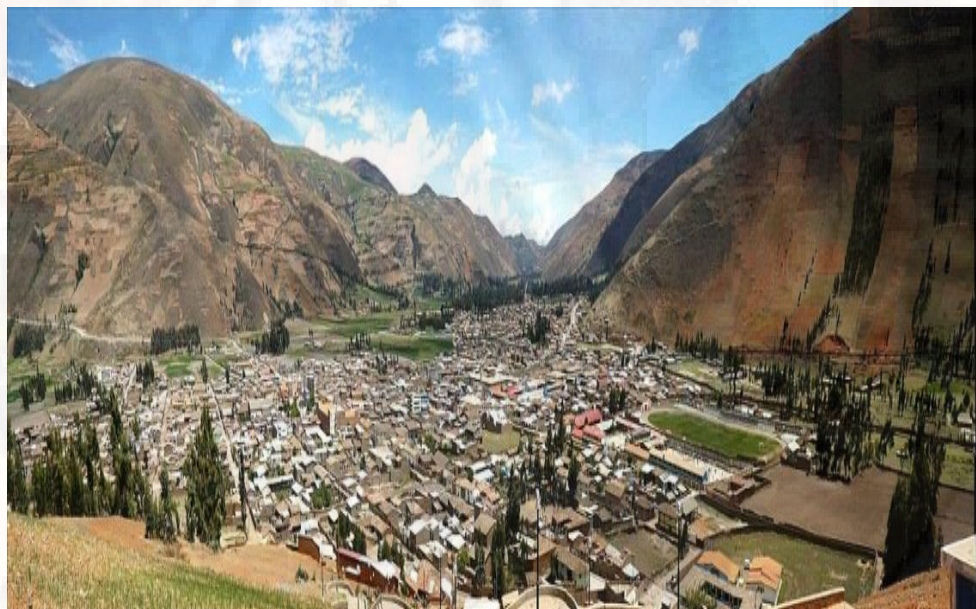


Figura N° 2.1. Vista panorámica del valle de Pampas – Tayacaja

2.2.2. Reservorios de agua en el valle de Pampas

Cada distrito en el valle de Pampas cuenta por lo menos con un reservorio de agua para consumo humano los mismos que fueron georreferenciados y calculados la disponibilidad hídrica.

El distrito de Daniel Hernández cuenta con 01 reservorio ubicado en el anexo de Atocc a 3 Km de la plaza principal, el reservorio tiene una capacidad de almacenamiento de 68 m^3 (ver figura N° 2.2).



Figura N° 2.2. Localización del reservorio de agua del distrito de Daniel Hernández

El distrito de Pampas cuenta con 01 reservorio ubicado en el anexo de Viñas a 2 Km de la plaza de armas, este reservorio es alimentado por captación superficial proveniente de la fuente de agua ubicado en el paraje denominado Ustuna, tiene capacidad de almacenamiento de 96 m^3 (ver figura N° 2.3).



Figura N° 2.3. Localización del reservorio de agua del distrito de Pampas

La facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas en el distrito de Pampas cuenta con 01 reservorio ubicado en el Campus Universitario del Jr. La Mar 601, tiene capacidad de almacenamiento de 18 m^3 (ver figura N° 2.4).



Figura N° 2.4. Localización del reservorio de agua de la FIES

El distrito de Ahuaycha cuenta con 01 reservorio de 74 m³ ubicado en el anexo de Purhuay a 800 m de la plaza principal (ver figura N° 2.5).



Figura N° 2.5. Localización del reservorio de agua del distrito de Ahuaycha

El distrito de Acraquia cuenta con 07 reservorios de agua para consumo humano, de estos 01 reservorio de 51 m³ ubicado a 1.2 Km al sur de la plaza principal (ver figura N° 2.6) es el que tiene mayor capacidad de almacenamiento, por lo que este se considera para efectos del estudio, ya que este reservorio suministra agua a la población urbana del distrito.



Figura N° 2.6. Localización de reservorio de agua del distrito de Acraquia

2.2.3. Sistema de Información Geográfica

Un sistema de información geográfica (también conocido con los acrónimos SIG en español o GIS en inglés) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz⁷.

En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

La tecnología de los SIG puede ser utilizada para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, el marketing, la logística por nombrar unos pocos. Un SIG podría permitir a los grupos de emergencia calcular fácilmente los tiempos de respuesta en caso de un desastre natural, o encontrar los ecosistemas acuáticos para su dimensionamiento y protección contra la contaminación⁸. (ver figura N° 2.7).

⁷ Sistema de información geográfica https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica, visitado el 15 de octubre de 2017.

⁸ QGIS Manual: Una breve introducción a un programa de código abierto de Sistemas de Información Geográfica (SIG). URL: http://ecolegios.org.pe/umwelt/recursos/publicaciones/Doc.de-trabajo16-Sernanp_Manual-QGIS.pdf. Visitado el 20 de setiembre de 2017.

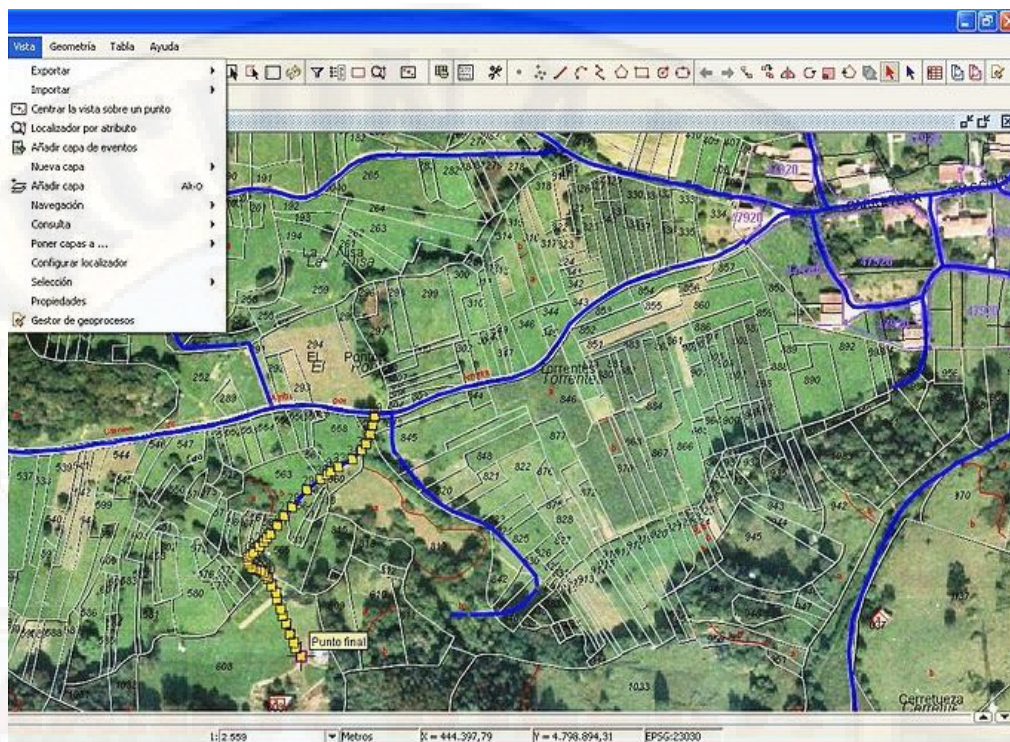


Figura N° 2.7. Imagen obtenida con un SIG⁹.

2.2.3.1. Datos SIG

Dato es otra palabra para información. La información que se usa en un SIG normalmente tiene un aspecto geográfico (coordenadas).

Una característica común de los SIG es que permiten asociar información (datos no geográficos) con los lugares (datos geográficos). De hecho, la aplicación SIG puede almacenar muchos datos que están asociados a cada lugar, algo que en los mapas de papel no es posible. Cuando la aplicación SIG dibuja la capa, se puede decir que lo hace en base al género satisfactoriamente [4]. Así que con una aplicación SIG tenemos una manera de cambiar fácilmente la apariencia de los mapas que hemos creado basados en los datos no geográficos asociados a los lugares.

2.2.3.2. Datos vectoriales

Los SIG trabajan con diferentes tipos de datos. Los datos vectoriales se almacenan como una serie de par coordenadas X, Y dentro de la memoria de la computadora.

⁹ Hallado en: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica#/media/File:GvSIG_-_GIS.jpg, Referenciado el 18 de agosto de 2017.

Estos suelen usarse para representar puntos, líneas y áreas. figura 1.8 muestra los diferentes tipos de datos vectoriales que se pueden visualizar en una aplicación SIG.

2.2.3.3. Archivo shape

El archivo shape es un formato específico de archivo que te permite guardar datos SIG en grupos de archivos asociados. Cada capa consiste en muchos elementos con el mismo nombre, pero con diferentes tipos de archivo. Los Archivos Shape son fáciles de enviar de un lado a otro, y la mayoría del software SIG pueden leerlos [5].

2.2.4. Sistema SCADA

SCADA, acrónimo de Supervisión, Control y Adquisición de Datos. Es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo. A diferencia de los Sistemas de Control Distribuido, el lazo de control es generalmente cerrado por el operador. Los Sistemas de Control Distribuido se caracterizan por realizar las acciones de control en forma automática¹⁰.

2.2.4.1. Descripción general de un SCADA

El SCADA permite la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interfaz gráfica que comunica al usuario con el sistema [6]. Un sistema SCADA es una aplicación o conjunto de aplicaciones de software especialmente diseñadas para funcionar sobre ordenadores de control de producción, con acceso a la planta mediante la comunicación digital con instrumentos y actuadores, e interfaz gráfica de alto nivel para el operador (pantallas, cursores, lápices ópticos, etc.).

Aunque inicialmente solo era un programa que permitía la supervisión y adquisición de datos en procesos de control, en los últimos tiempos ha surgido una serie de productos de hardware y buses especialmente diseñados o adaptados para este tipo de sistemas. La interconexión de los sistemas SCADA también es propia, y se realiza mediante una interfaz del PC a la planta centralizada, cerrando el lazo sobre el ordenador principal de supervisión.

El sistema permite comunicarse con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, sistemas de dosificación, etc.) para controlar el proceso en forma automática desde la pantalla del ordenador, que es configurada

¹⁰ Hallado en: <https://es.wikipedia.org/wiki/SCADA>. Referenciado el 18 de agosto de 2017.

por el usuario y puede ser modificada con facilidad. Además, provee a diversos usuarios de toda la información que se genera en el proceso productivo.

2.2.4.2. Características de un sistema SCADA

Un SCADA abarca la recolección de la información y la transferencia de datos al sitio central, llevando a cabo el análisis y el control necesario, para luego mostrar la información sobre una serie de pantallas de operador y de esta manera permitir la interacción, cuando las acciones de control requeridas se transportan de nuevo al proceso [7].

En su función de sistemas de control, los SCADA ofrecen una nueva característica de automatización que realmente pocos sistemas tienen: la de supervisión [8].

Existen muchos y muy variados sistemas de control y todos, si se aplican bien, ofrecen soluciones óptimas en entornos industriales. Lo que hace de los sistemas SCADA una herramienta diferenciada es la característica de control supervisado. De hecho, la parte de control está definida y supeditada por el proceso que se desea controlar y, en última instancia, por el hardware e instrumental de control o los algoritmos lógicos de control aplicados sobre la planta, que pueden existir previamente a la implantación del SCADA, que se instalará sobre y en función de estos sistemas de control.

En consecuencia, el operador supervisa el control de la planta y no solo monitorea las variables que en un momento determinado están actuando sobre la planta; esto significa que puede actuar y modificar las variables de control en tiempo real, algo que pocos sistemas permiten con la facilidad intuitiva que ofrecen los sistemas SCADA.

Se puede definir la palabra supervisar como ejercer la inspección superior en determinados casos, ver con atención o cuidado y someter una cosa a un nuevo examen para corregirla o repararla permitiendo una acción sobre la cosa supervisada. La labor del supervisor representa una tarea delicada y esencial desde el punto de vista normativo y operativo. De esta acción depende en gran medida el poder garantizar la calidad y eficiencia del proceso que se desarrolla. En el supervisor descansa la responsabilidad de orientar o corregir las acciones que se desarrollan. Por lo tanto, la toma de decisiones sobre las acciones de control está en manos del supervisor, que en el caso de SCADA es el operario.

Esto diferencia notablemente a SCADA de los sistemas clásicos de automatización, en los que las variables de control están distribuidas sobre los controladores

electrónicos de la planta. Eso dificulta mucho las variaciones en el proceso, ya que una vez implementados, estos sistemas no permiten un control óptimo en tiempo real.

La función de monitoreo de estos sistemas se realiza sobre un computador de preferencia industrial, ofreciendo una visión de los parámetros de control sobre la pantalla de ordenador, lo que se denomina un HMI (Human Machine Interface), como en SCADA, pero solo ofrecen una función complementaria de monitorización.

Los sistemas SCADA ofrecen una interfaz gráfica PC-Operario tipo HMI, pero no todos los sistemas de automatización que tienen HMI son SCADA. La diferencia radica en la función de supervisión que pueden realizar estos últimos a través del HMI.

Las características principales de un SCADA son las siguientes [8]:

- Adquisición y almacenado de datos para recoger, procesar y almacenar la información recibida en forma continua y confiable.
- Representación gráfica y animada de variables de proceso y su monitorización por medio de alarmas
- Ejecutar acciones de control para modificar la evolución del proceso, actuando ya sea sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.) o directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.
- Arquitectura abierta y flexible con capacidad de ampliación y adaptación.
- Conectividad con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidas en redes de comunicación.
- Supervisión, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
- Transmisión de información con dispositivos de campo y otros PC.
- Base de datos, gestión de datos con bajos tiempos de acceso.
- Presentación, representación gráfica de los datos. Interfaz del Operador o HMI.
- Explotación de los datos adquiridos para gestión de la calidad, control estadístico, gestión de la producción y gestión administrativa y financiera.
- Alertar al operador sobre cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como los que se produzcan en su operación diaria (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.

2.2.4.3. Prestaciones de un SCADA

El clásico supervisor soportado por un SCADA es un sistema de control que integra las tareas de detección y diagnóstico de fallas, como una actividad previa que permite incorporar de manera natural el control de fallas [9].

Las prestaciones que ofrece un sistema SCADA son las siguientes:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del ordenador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de datos históricos de señal de planta, que pueden ser incorporados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Creación de informes, avisos y documentación en general.
- Ejecución de programas que modifican la ley de control o incluso el programa total sobre el autómatas (bajo ciertas condiciones).
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador y no sobre el procesador, menos especializado, etc.

2.2.4.4. Requisitos de un SCADA

Estos son algunos de los requisitos que debe tener un sistema SCADA para sacarle el máximo provecho:

- Deben ser sistemas de arquitecturas abiertas, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente para el usuario con el proceso.
- Los programas deben ser sencillos de instalar, sin excesivas exigencias, y fáciles de utilizar, con interfaces amables con el usuario (sonido, imágenes, pantallas, etc.)

2.2.4.5. Componentes de Hardware

Para Gómez y otros [8], un sistema SCADA, como aplicación de *software* industrial específica, necesita ciertos componentes inherentes de *hardware* en su sistema para poder tratar y gestionar la información captada, que se describen a continuación.

a) Controlador central o MTU (Master Terminal Unit):

Se trata del ordenador principal del sistema, el cual supervisa y recoge la información del resto de las subestaciones, ya sean otros ordenadores conectados (en sistemas complejos) a los instrumentos de campo o directamente sobre dichos instrumentos. Este ordenador suele ser un PC que soporta la interface hombre máquina.

De esto se deriva que el sistema SCADA más sencillo es el compuesto por un único ordenador, que es el MTU que supervisa toda la estación.

Las funciones principales del MTU son las siguientes:

- Interroga en forma periódica a las RTU y les transmite consignas; siguiendo usualmente un esquema maestro-esclavo.
- Puede ejecutar *software* especializado que cumple funciones específicas asociadas al proceso supervisado por el SCADA. Por ejemplo, *software* para detección de pérdidas en un oleoducto.

b) Controladores Remotos o RTU (Remote Terminal Unit):

Estos controladores están situados en los nodos estratégicos del sistema gestionando y controlando las subestaciones; reciben las señales de los sensores de campo y comandan los elementos finales de control ejecutando el software de la aplicación SCADA.

Se encuentran en el nivel intermedio o de automatización; a un nivel superior está el MTU y a un nivel inferior los distintos instrumentos de campo que son los que ejercen la automatización física del sistema, control y adquisición de datos.

Estos ordenadores no tienen que ser PC, ya que la necesidad de soportar un HMI no es tan grande a este nivel, por lo tanto, suelen ser ordenadores industriales tipo armarios de control, aunque en sistemas muy complejos puede haber subestaciones intermedias en formato de interface hombre máquina.

Una tendencia actual es dotar a los controladores con la capacidad de funcionar como RTU gracias a un nivel de integración mayor y CPU con mayor potencia de cálculo. Esta solución minimiza costos en sistemas en los que las subestaciones no sean muy complejas, sustituyendo el ordenador industrial mucho más costoso. Un ejemplo de esto son los nuevos PLC (adaptables a los sistemas SCADA).

2.2.4.6. Red de comunicación:

Este es el nivel que gestiona la información que los instrumentos de campo envían a la red de ordenadores desde el sistema. El tipo de BUS utilizado en las comunicaciones puede ser muy variados según las necesidades del sistema y del software escogido para implementar el sistema SCADA.

Hoy en día, gracias a la estandarización de las comunicaciones con los dispositivos de campo, se puede implementar un sistema SCADA sobre prácticamente cualquier tipo de BUS. Se encuentran SCADA sobre formatos estándares como los RS-232, RS-422 y RS-485 a partir de los cuales, y mediante un protocolo TCP/IP, se puede conectar el sistema sobre un bus en configuración DMS ya existente; pasando por todo tipo de buses de campo industriales hasta formas más modernas de comunicación como Bluetooth (Bus de Radio), microondas, satélite, cable.

Otra característica de SCADA es que la mayoría se implementa sobre sistemas Wifi LAN - WAN de comunicaciones, es decir, los distintos terminales RTU pueden estar deslocalizados geográficamente.

2.2.4.7. Estructura y componentes de un software SCADA

Los módulos o bloques de software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes [6]:

a) Configuración: permite definir el entorno de trabajo de la aplicación según la disposición de pantallas requerida y los niveles de acceso para los distintos usuarios. En este módulo, el usuario define las pantallas gráficas o de texto que va a utilizar, importándolas desde otra aplicación o generándolas en el propio SCADA. Para ello, se incorpora un editor gráfico que permite dibujar a nivel de píxel (punto de pantalla) o utilizar elementos estándar disponibles, líneas, círculos, textos o figuras, con funciones de edición típicas como copiar, mover, borrar, etc. Durante la configuración también se seleccionan los *drivers* de comunicación que permitirán el enlace con los elementos de campo y la conexión o no en red de estos últimos; se selecciona el puerto de comunicación sobre el ordenador y sus parámetros, etc. En algunos sistemas también es en la configuración donde se indican las variables que se van a visualizar, procesar o controlar, en forma de lista o tabla en la que éstas pueden definirse y facilitar la programación posterior.

b) Interfaz gráfica del operador: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso que se supervisará se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación de uso general. Los sinópticos están formados por un fondo fijo y varias zonas activas que cambian dinámicamente de formas y colores, según los valores leídos en la planta o en respuesta a las acciones del operador. Deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones a la hora de diseñar las pantallas:

- Las pantallas deben tener apariencia consistente, con zonas diferenciadas para mostrar la planta (sinópticos), las botoneras y entradas de mando (control) y las salidas de mensajes del sistema (estados, alarmas).
- La representación del proceso se realizará preferentemente mediante sinópticos que se desarrollan de izquierda a derecha.
- La información presentada aparecerá sobre el elemento gráfico que la genera o soporta, y las señales de control estarán agrupadas por funciones.
- La clasificación por colores ayuda a la comprensión rápida de la información.
- Los colores deben usarse de forma consistente en toda la aplicación: si rojo significa peligro o alarma y verde indica normalidad, estos serán sus significados en cualquier parte de la aplicación.

Previendo dificultades en la observación del color, debe añadirse alguna forma de redundancia, sobre todo en los mensajes de alarma y atención: textos adicionales, símbolos gráficos dinámicos, intermitencias u otros. La redundancia como un componente de seguridad SCADA consiste en lograr respaldos de información, duplicar (cuando un elemento asume la función de otro), contar con centros de control separados geográficamente que proporcionen redundancia y, por tanto, protección contra los ataques humanos y desastres naturales. Este elemento permite seguir operando, aunque el sistema primario esté desactivado, funcionando incluso de manera remota [10].

c) Módulo de proceso: ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas. Sobre cada pantalla se pueden programar relaciones entre variables del ordenador o del autómatas que se ejecutan continuamente mientras esté activa. Es muy frecuente que el sistema SCADA confíe

a los dispositivos de campo, principalmente autómatas, el trabajo de control directo de la planta, reservándose para sí las operaciones propias de la supervisión, como el control del proceso, análisis de tendencias, generación de históricos, etc. Las relaciones entre variables que constituyen el programa de mando que el SCADA ejecuta de forma automática pueden ser de varios tipos:

- Acciones de mando automáticas preprogramadas que dependen de valores de señales de entrada, salida o combinaciones de éstas.
- Maniobras o secuencias de acciones de mando.
- Animación de figuras y dibujos, asociando su forma, color, tamaño, etc., al valor actual de las variables.

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

2.2.5. LabVIEW

LabVIEW es un software de ingeniería de sistemas que requiere pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware y análisis de datos.

El entorno de programación de LabVIEW simplifica la integración de hardware para aplicaciones de ingeniería, así usted tiene una manera consistente de adquirir datos desde hardware de NI y de terceros. LabVIEW está en la versión 2018 (ver figura N° 2.8), reduce la complejidad de la programación, así usted puede enfocarse en su problema de ingeniería. LabVIEW le permite visualizar resultados inmediatamente con la creación integrada de interfaces de usuario de clic-y-arrastre y visualizadores de datos integrados. Para convertir sus datos adquiridos en resultados del negocio reales, usted puede desarrollar algoritmos para análisis de datos y control avanzado con IP de matemáticas y procesamiento de señales o reutilizar sus propias bibliotecas desde una variedad de herramientas. Para garantizar la compatibilidad con otras

herramientas de ingeniería, LabVIEW puede interactuar o reutilizar bibliotecas de otros software y lenguajes de fuente abierta [11].



Figura N° 2.8. Presentación inicial de LabVIEW 2018.

Los programas de LabVIEW son llamados instrumentos virtuales o VIs ya que su apariencia y operación generalmente imitan a los instrumentos físicos, como osciloscopios y multímetros. LabVIEW contiene una extensa variedad de herramientas para adquirir, analizar, visualizar y almacenar datos, así como herramientas para ayudarle a solucionar problemas en el código que escriba. LabVIEW tiene 02 ventanas, uno el panel frontal y el otro el diagrama de bloques.

a. Panel frontal

Cuando se abre un VI nuevo o existente, aparece la ventana del panel frontal del VI. La ventana del panel frontal es la interfaz de usuario para el VI. La figura N° 2.9 muestra un ejemplo de una ventana del panel frontal, con la barra de herramientas y paleta de control.

2.2.6. Codificación JSON

JSON (JavaScript Object Notation - Notación de Objetos de JavaScript) es un formato ligero de intercambio de datos. Leerlo y escribirlo es simple para el usuario, mientras que para las máquinas es simple interpretarlo y generarlo [12]. Está basado en un subconjunto del Lenguaje de Programación JavaScript, Standard¹¹. JSON es un formato de texto que es completamente independiente del lenguaje, pero utiliza convenciones que son ampliamente conocidos por los programadores de la familia de lenguajes C, incluyendo C, C++, C#, Java, JavaScript, Perl, Python, y muchos otros. Estas propiedades hacen que JSON sea un lenguaje ideal para el intercambio de datos.

JSON está constituido por dos estructuras:

- Una colección de pares de nombre/valor. En varios lenguajes esto es conocido como un objeto, registro, estructura, diccionario, tabla hash, lista de claves o un arreglo asociativo.
- Una lista ordenada de valores. En la mayoría de los lenguajes, esto se implementa como arreglos, vectores, listas o secuencias.

Estas son estructuras universales; virtualmente todos los lenguajes de programación las soportan de una forma u otra. Es razonable que un formato de intercambio de datos que es independiente del lenguaje de programación se base en estas estructuras.

Durante un buen tiempo, XML ha sido la única opción para compartir datos libremente. No había otros formatos abiertos disponibles y XML fue considerado como la solución para todos los problemas de intercambio de datos. Este único formato podía manejar datos clásicos como números y texto, pero también podía manejar documentos, formatos, imágenes, audio, vídeo, y mucho más. Ahora que otras opciones están disponibles, XML puede ser una exageración en muchos casos. Estabilidad.

JSON, se está limitado a almacenar sólo datos clásicos como texto y números. XML le permite almacenar cualquier tipo de datos que se le pueda ocurrir. La capacidad para extender los atributos de los datos almacenados en los ficheros XML es lo que le permite ser más flexible que JSON. Sin embargo, también lo hace más difícil de

¹¹ ECMA. ECMA-404 The JSON Data Interchange Standard. <http://www.ecma-international.org/publications/files/ecma-st/ECMA-262.pdf>

leer. Esto hace a XML más extensible, pero puede que no sea algo bueno. Esto depende del tipo de la información que trata de transferir. Los documentos requieren extensibilidad para gestionar imágenes, tablas, gráficos, y otros elementos de formato. Sin embargo, los datos clásicos no requieren esta extensibilidad y pueden beneficiarse de la simplicidad de JSON.

Los ficheros JSON son más restrictivos y, por lo tanto, ligeramente más legibles. Esto se debe a que el número de formatos de datos permitidos por JSON es mucho menor que XML. Además, la estructura de los datos está más estandarizada con los ficheros JSON debido al hecho de que existen menos opciones cuando se compara con el formato XML.

JSON permite intercambiar texto y números entre el servidor web y el sistema SCADA desarrollado en LabVIEW.

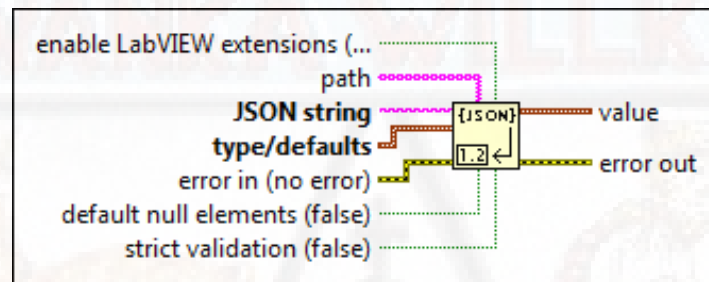


Figura N° 2.11. Diagrama de bloque de JSON en LabVIEW

(Fuente: National Instrument. Unflatten from JSON.
http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361K-01/glang/unflatten_from_json/)

Las líneas de entradas y salidas se detallan a continuación:




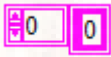

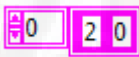

habilitar las extensiones de LabVIEW permite que las **extensiones** LabVIEW JSON sean compatibles con los valores NaN e Inf de los números en coma flotante. No todos los JSON admiten estas extensiones.



path identifica un elemento específico en **cadena JSON**. Se usa el path si su **cadena JSON** contiene múltiples elementos, y le gustaría extraer un elemento específico de ella. **path** utiliza una matriz de cadenas para identificar el elemento, donde cada elemento de la matriz hace referencia al nombre de un elemento de clúster o a un índice entero de una matriz.


Se especifica un elemento utilizando el path, debe conectar un tipo de datos para leer /escribir valores predeterminados que correspondan al tipo de datos del elemento especificado. Por ejemplo, considere la cadena JSON {"0": "abc", "1": falso, "2": [9,8,7]} . La siguiente tabla ilustra las entradas de tipo predeterminado requeridas para varias rutas y las salidas de valor resultantes.


Tabla N° 2.1. Enrutamiento de clúster y datos en JSON


Path	Tipo / predeterminado	Valor	Comentarios
-		Un clúster que contiene una cadena abc, Boolean FALSE y una matriz [9,8,7]	Si la ruta está vacía, se escribe por defecto para cada elemento en la cadena JSON. Para la cadena JSON de ejemplo, debe conectar un clúster que contenga una cadena, un booleano y una matriz para escribir valores predeterminados .
		String abc	En este ejemplo, la ruta apunta al elemento del clúster de cadena abc . Por lo tanto, debe cablear una cadena para escribir / valores predeterminados.
		DBL numeric 9	En este ejemplo, la ruta apunta al elemento del clúster llamado 2, que es una matriz, y al elemento en el índice 0 de esa matriz. Este elemento es un número de punto flotante, por lo que un DBL numérico debe estar cableado para escribir valores predeterminados .





JSON string es la **cadena** UTF-8 aplanada que desea desenlazar. Puede usar la función JSON para generar esta cadena.


 **type / defaults** especifica el tipo de datos y los valores predeterminados a los que desea desenlazar la cadena JSON. Esta entrada acepta Booleanos, enteros, números de punto flotante, cadenas y matrices o clústeres de estos tipos. Los elementos del clúster pueden estar etiquetados o no etiquetados, pero no una combinación de ambos. Si los elementos de un clúster están etiquetados, cada nombre debe ser exclusivo de ese clúster.

 **error in** describe las condiciones de error que ocurren antes de que se ejecute este nodo. Esta entrada proporciona un error estándar en la funcionalidad.

 **default null elements** especifican si LabVIEW usa valores predeterminados del clúster de entrada para valores nulos en JSON. Si los elementos nulos predeterminados son FALSOS, LabVIEW devuelve un error para los valores nulos.

 **strict validation** determina si LabVIEW devuelve un error cuando el objeto JSON contiene elementos no definidos en el grupo de entrada. Si la validación estricta es FALSA, los objetos JSON pueden contener elementos no definidos en el clúster.

 **value** devuelve una cadena JSON como datos no agrupados del mismo tipo y estructura de datos de **type / defaults**.

 **error out** contiene información de error. Esta salida proporciona una funcionalidad estándar de error de salida.

2.2.7. GMAP.NET

GMap.NET es excelente y potente, gratuito, de plataforma cruzada, control de código abierto .NET [13]. Habilita el uso del enrutamiento para la geocodificación, se pueden graficar mapas de Google, ¡Yahoo!, Bing, OpenStreetMap, ArcGIS, Pergo, SigPac, Yendux, Mapy.cz, Maps.It, iKarte.lv, NearMap, OviMap, CloudMade, WikiMapia y MapQuest en Windows, admite el almacenamiento en caché y se ejecuta en Windows Mobile¹².

¹² GMAP.NET. URL: http://greatmaps.wikia.com/wiki/Main_Page. Referenciado el 10 de diciembre de 2017.

Ventaja: flexible y altamente personalizable.

Desventaja: difícil porque no hay documentación y ejemplos que permitan implementar modelos con facilidad.

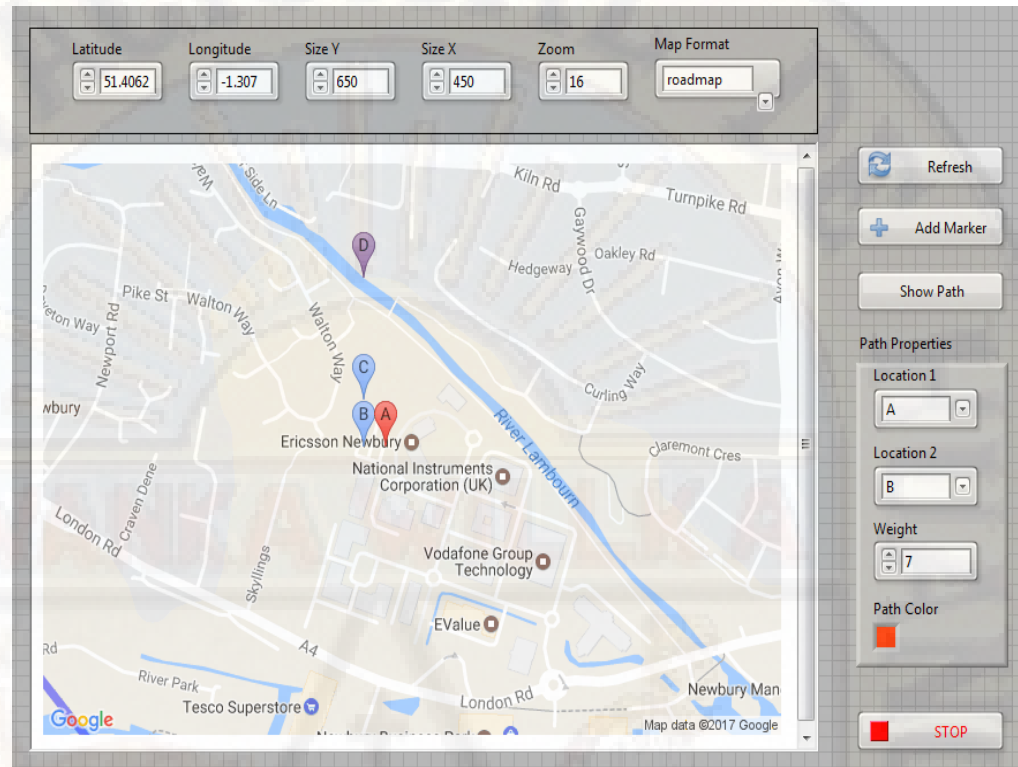


Figura N° 2.12. Mapa trazado con GMap.NET.

Google Maps es bueno. Pero solo es útil en el navegador y no es suficiente para el seguimiento en tiempo real. Tampoco tiene memoria caché, por lo que los servidores de Google están sobrecargados. Este control elimina todas estas deficiencias. También le da al desarrollador de .NET una capacidad ilimitada para extenderlo.

GMap.Net se desarrolla para LabVIEW cada bloque cumple una determinada función:



Permite inicializar la configuración de GMAP



Permite crear un nuevo mapa



Permite crear marcadores de tipo globo



Permite adicionar otro marcador



Permite crear marcadores de color verde



Permite crear marcadores de color rojo

2.2.8. Microcontrolador ESP32

El ESP32 es un kit de desarrollo de código abierto, que utiliza el lenguaje de programación del Arduino para crear un ambiente de desarrollo propicio para aplicaciones que requiera conectividad Wifi de manera rápida [14].

El ESP32 es un chip altamente integrado diseñado para las necesidades de un nuevo mundo conectado. Ofrece una solución completa y autónoma de redes Wi-Fi, lo que le permite alojar la aplicación o servir como puente entre Internet y un microcontrolador.

El ESP32 tiene potentes capacidades a bordo de procesamiento y almacenamiento que le permiten integrarse con sensores y dispositivos específicos de aplicación a través de sus GPIOs con un desarrollo mínimo y carga mínima durante el tiempo de ejecución. Su alto grado de integración en el chip permite una circuitería externa mínima, y la totalidad de la solución, incluyendo el módulo está diseñado para ocupar el área mínima en un PCB [15].

Los dispositivos utilizados comúnmente de la línea de Arduino no tienen conectividad a Internet. Sus últimos modelos han sido introducidos con este enfoque en mente. El kit se muestra en la figura N° 2.13, este kit es suficiente para los propósitos de este trabajo de investigación.

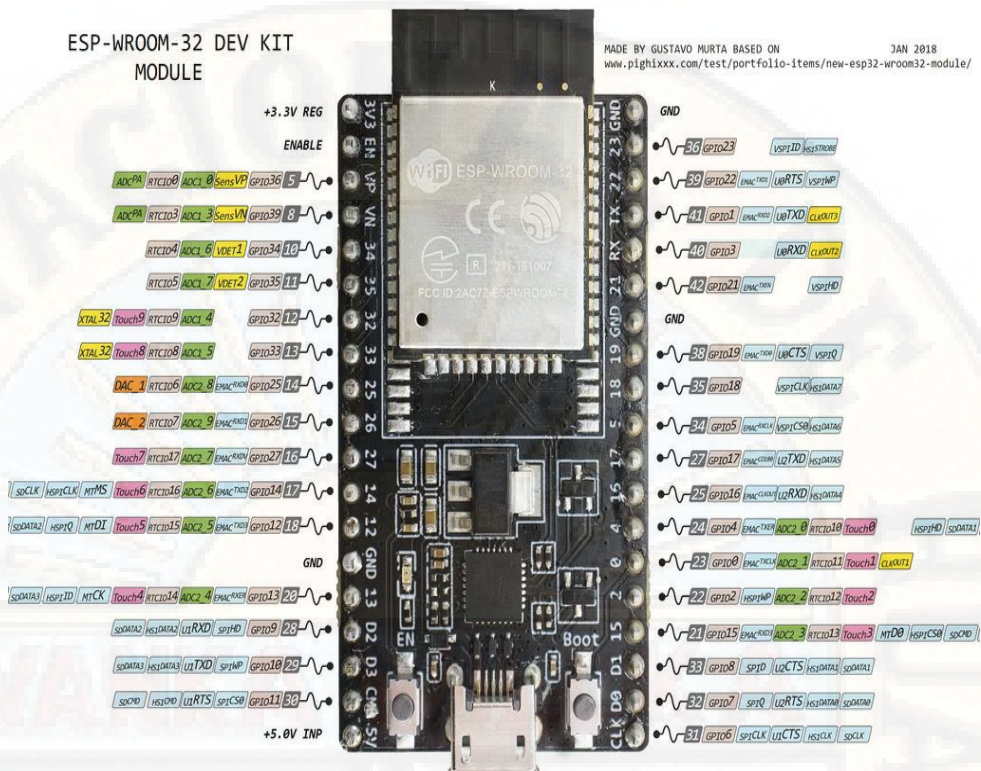


Figura N° 2.13. Distribución de pines del Microcontrolador ESP32.

2.2.9. Sensor de nivel por ultrasonido

El Sensor de nivel es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente. Integral para el control de procesos en muchas industrias, los sensores de nivel se dividen en dos tipos principales. Los sensores de nivel de punto, se utilizan para marcar una altura de un líquido en un determinado nivel preestablecido. Generalmente, este tipo de sensor funciona como alarma, indicando un sobre llenado cuando el nivel determinado ha sido adquirido, o al contrario una alarma de nivel bajo. Los sensores de nivel continuos, son más sofisticados y pueden realizar el seguimiento del nivel de todo un sistema. Estos miden el nivel del fluido dentro de un rango especificado, en lugar de un único punto, produciendo una salida analógica que se correlaciona directamente con el nivel en el recipiente. Para crear un sistema de gestión de nivel, la señal de salida está vinculada a un bucle de control de proceso y a un indicador visual. Los sensores ultrasónicos como su nombre lo indica, miden la distancia mediante el uso de ondas ultrasónicas. El cabezal emite una onda ultrasónica y recibe la onda

reflejada que retorna desde el objeto. Los sensores ultrasónicos miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción (ver figura N° 2.14).

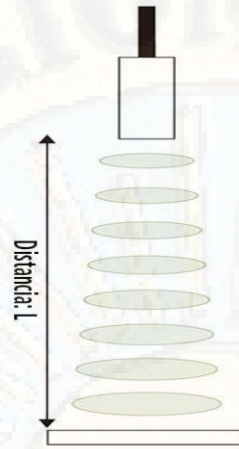


Figura N° 2.14. Sensor de nivel ultrasónico.

(Fuente. <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/>)

La distancia se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$distancia\ L = \frac{txv_{sonido}}{2}$$

Donde:

L es la distancia a la superficie del líquido.

t es el tiempo entre la emisión y la recepción.

v_{sonido} es la velocidad del sonido.

Los sensores ultrasónicos tienen características típicas habilitadas por el sistema de detección.

Detecta objetos transparentes: dado que las ondas ultrasónicas pueden reflejarse en una superficie de vidrio o líquido, y retornar al cabezal, incluso los objetos transparentes pueden ser detectados.

Es inmune a acumulación de niebla y suciedad: la detección no se ve afectada por la acumulación de polvo o suciedad.

2.2.10. Cálculo de volumen de agua en reservorios

El volumen de agua en contenedores cilíndricos se halla calculando el área de la base multiplicando por el nivel de agua h (ver figura N° 2.15).

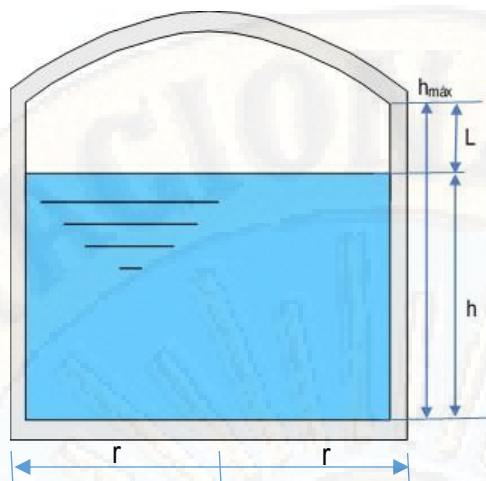


Figura N° 2.15. Dimensiones de un reservorio cilíndrico.

El volumen está definido por:

$$V = \pi r^2 x h$$

Donde:

$$\pi = 3.141516$$

r= radio de la base del cilindro

h= nivel de agua en el cilindro

En caso del reservorio de la FIES es de forma cúbica, la fórmula empleada para hallar el volumen de agua es:

$$V = a x b x h$$

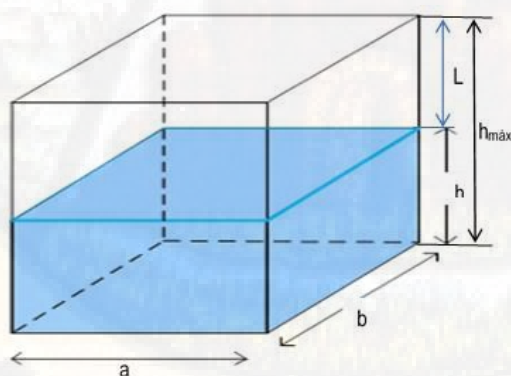


Figura N° 2.16. Dimensiones de un reservorio de forma cúbica.

2.2.11. Base de datos

Una base de datos es una herramienta para recopilar y organizar información. Las bases de datos pueden almacenar información sobre personas, productos, pedidos u otras cosas. Muchas bases de datos comienzan como una lista en una hoja de cálculo o en un programa de procesamiento de texto. A medida que la lista aumenta su tamaño, empiezan a aparecer redundancias e inconsistencias en los datos. Cada vez es más difícil comprender los datos en forma de lista y los métodos de búsqueda o extracción de subconjuntos de datos para revisión son limitados. Una vez que estos problemas comienzan a aparecer, una buena idea es transferir los datos a una base de datos creada con un sistema de administración de bases de datos (DBMS), como Access¹³.

Una base de datos computarizada es un contenedor de objetos. Una base de datos puede contener más de una tabla. Por ejemplo, un sistema de seguimiento de comportamiento de tres variables físicas no son tres bases de datos, sino una base de datos que contiene tres tablas.

2.2.11.1. Microsoft Access

Es un sistema de gestión de base de datos¹⁴ incluido en el paquete de programas de Microsoft Office. Es un gestor de datos que permite almacenar datos en una tabla, así como también leer los datos para sistematizarlo, como hacer el seguimiento del comportamiento de los datos que puede provenir de sensores de variables físicas en un proceso.



Figura N° 2.17. Logo de Microsoft Access.

(Fuente: Microsoft Corporation, 2017)

¹³ Microsoft. Conceptos básicos sobre base de datos. <https://support.office.com/es-es/article/conceptos-b%C3%A1sicos-sobre-bases-de-datos-a849ac16-07c7-4a31-9948-3c8c94a7c204>. Referenciado el 18 de noviembre de 2017.

¹⁴ SGBD, es una agrupación de programas que sirve para definir, construir y manipular una base de datos.

2.2.11.1.1. Características:

Permite administrar mucha información en un único archivo de BD/DB

- Contiene tablas, formularios e informes accesibles desde LabVIEW.
- Es usado para crear soluciones de B.D.
- Permite crear una solución en VBA 10, y manipular datos y controles.
- Permite crear formularios para insertar y modificar datos fácilmente.
- Es compatible con MY SQL.
- Exporta e importa información desde y hacia varios formatos.

2.2.11.1.2. Partes de una base de datos de Access

Las partes de una base de datos de Access típica contempla: tablas, formularios, informes, consultas, macros y módulos.

Tablas: Una tabla de base de datos es similar en apariencia a una hoja de cálculo en cuanto a que los datos se almacenan en filas y columnas. Por ende, es bastante fácil importar una hoja de cálculo en una tabla de base de datos. La principal diferencia entre almacenar los datos en una hoja de cálculo y almacenarlos en una base de datos es la forma en la que están organizados los datos.

Para aprovechar al máximo la flexibilidad de una base de datos, los datos deben organizarse en tablas para que no se produzcan redundancias. Por ejemplo, si quiere almacenar información sobre los empleados, cada empleado debe especificarse solo una vez en la tabla que está configurada para los datos de los empleados. Los datos sobre los productos se almacenarán en su propia tabla y los datos sobre las sucursales se almacenarán en otra tabla. Este proceso se denomina normalización.

Cada fila de una tabla se denomina registro. En los registros se almacena información. Cada registro está formado por uno o varios campos. Los campos equivalen a las columnas de la tabla. Cada registro (fila) puede contener información distinta y cada campo (columna) contiene otro tipo de información como nombre, apellido, dirección, etc. Los campos deben designarse como un determinado tipo de datos, ya sea texto, fecha u hora, número o algún otro tipo.

Otra forma de describir los registros y los campos es imaginar un catálogo de tarjetas antiguo de una biblioteca. Cada tarjeta del archivador corresponde a un registro de la base de datos. Cada dato de una tarjeta individual (autor, título, etc.) equivale a un campo de la base de datos.

Formularios: Los formularios permiten crear una interfaz de usuario en la que puede escribir y modificar datos. Los formularios a menudo contienen botones de comandos y otros controles que realizan distintas tareas. Puede crear una base de datos sin usar formularios con tan solo modificar los datos en las hojas de datos de la tabla. Sin embargo, la mayoría de los usuarios de bases de datos prefieren usar formularios para ver, escribir y modificar datos en las tablas.

Puede programarse los botones de comandos para determinar qué datos aparecen en el formulario, abrir otros formularios o informes, o ejecutar otras tareas. Por ejemplo, puede tener un formulario llamado "Formulario de cliente" en el que trabaja con los datos de los clientes.

Informes: Los informes se usan para dar formato a los datos, resumirlos y presentarlos. Por lo general, un informe responde a una pregunta específica. A cada informe se le puede dar formato para presentar la información de la manera más legible posible.

Se puede ejecutar un informe por vez y siempre se reflejan los datos actuales de la base de datos. Generalmente, se les da formato a los informes para imprimirlos, pero también pueden verse en pantalla, exportarse a otro programa o enviarse como datos adjuntos en un correo electrónico.

Consultas: Las consultas pueden realizar diversas funciones en una base de datos. La función más común es recuperar datos específicos de las tablas. Los datos que quiere ver generalmente están distribuidos en varias tablas y las consultas le permiten verlos en una única hoja de datos. Además, debido a que muchas veces no quiere ver todos los registros a la vez, las consultas le permiten agregar criterios para "filtrar" los datos y obtener solo los registros que quiere. Ciertas consultas son "actualizables", es decir, puede modificar los datos de las tablas subyacentes mediante la hoja de datos de la consulta. Si está trabajando

en una consulta actualizable, recuerde que los cambios se realizan en realidad en las tablas, no solo en la hoja de datos de la consulta.

Macros: Las macros en Access pueden considerarse un lenguaje de programación simplificado que puede usar para agregar funciones a la base de datos. Por ejemplo, puede adjuntar una macro a un botón de comando en un formulario para que la macro se ejecute cada vez que se hace clic en ese botón. Las macros contienen acciones que ejecutan tareas, como abrir un informe, ejecutar una consulta o cerrar la base de datos. La mayoría de las operaciones de la base de datos que realiza manualmente se pueden automatizar mediante el uso de macros, por lo que se convierten en dispositivos que permiten ahorrar mucho tiempo.

Módulos: Los módulos, como las macros, son objetos que puede usar para agregar funciones a la base de datos. Mientras que las macros se crean en Access mediante la elección de una lista de acciones de macro, los módulos se escriben en el lenguaje de programación Visual Basic para Aplicaciones (VBA). Un módulo es una colección de declaraciones, instrucciones y procedimientos que se almacenan juntos como una unidad. Un módulo puede ser un módulo de clase o un módulo estándar. Los módulos de clase se adjuntan a formularios o informes y, por lo general, contienen procedimientos que son específicos para el formulario o el informe al que están adjuntos. Los módulos estándar contienen procedimientos generales que no están asociados a ningún otro objeto. Los módulos estándar aparecen en Módulos en el panel de navegación mientras que los módulos de clase no.

2.2.12. ThingSpeak

Es un servicio de plataforma de análisis de IoT que permite almacenar y recuperar los datos de sensores en la nube y desarrollar aplicaciones de IoT [16]. El servicio ThingSpeak también permite realizar análisis en línea y actuar sobre sus datos. Los datos del sensor pueden ser enviados a ThingSpeak desde cualquier hardware que pueda comunicarse usando una API KEY o usando el protocolo MQTT. MQTT es extremadamente simple y ligero, para la publicación y suscripción; diseñado para dispositivos que están limitados por el bajo ancho

de banda y alta latencia. En la figura N° 2.18 se representa la arquitectura de esta plataforma [17].

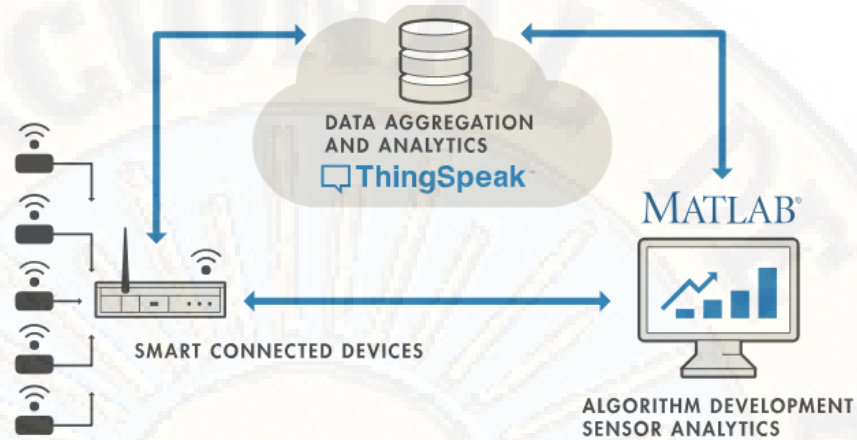


Figura N° 2.18. Arquitectura de ThingSpeak.

2.2.13. Comunicación Wifi

La palabra Wi-Fi (Wireless Fidelity, Fidelidad inalámbrica) es el nombre de la certificación otorgada por la Wi-Fi Alliance, anteriormente WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), grupo que garantiza la compatibilidad entre dispositivos que utilizan el estándar 802.11 [18]. Por el uso indebido de los términos (y por razones de marketing) el nombre del estándar se confunde con el nombre de la certificación. Una red Wifi es en realidad una red que cumple con el estándar 802.11.

Con wifi se pueden crear redes de área local inalámbricas de alta velocidad siempre y cuando el equipo que se vaya a conectar no esté muy alejado del punto de acceso. En la práctica, Wifi admite ordenadores portátiles, procesadores ESP32 que incorporan esta tecnología, equipos de escritorio, asistentes digitales personales (PDA) o cualquier otro tipo de dispositivo de alta velocidad con propiedades de conexión también de alta velocidad (11 Mbps o superior) dentro de un radio de varias docenas de metros en ambientes cerrados (de 20 a 50 metros en general) o dentro de un radio de cientos de metros al aire libre.

2.2.13.1. Funcionamiento de una red wifi (802.11)

El estándar 802.11 establece los niveles inferiores del modelo OSI para las conexiones inalámbricas que utilizan ondas electromagnéticas, por ejemplo, la capa física (a veces abreviada capa PHY) ofrece tres tipos de codificación de información. La capa de enlace de datos compuesta por dos subcapas: control de enlace lógico (LLC) y control de acceso al medio (MAC) [18].

La capa física define la modulación de las ondas de radio y las características de señalización para la transmisión de datos mientras que la capa de enlace de datos define la interfaz entre el bus del equipo y la capa física, en particular un método de acceso parecido al utilizado en el estándar Ethernet, y las reglas para la comunicación entre las estaciones de la red.

Tabla N° 2.2. Capas físicas del estándar 802.11, que establecen modos de transmisión alternativos:

Capa de enlace de datos (MAC)	802.2		
	802.11		
Capa física (PHY)	DSSS	FHSS	Infrarrojo

Cualquier protocolo de nivel superior puede utilizarse en una red inalámbrica wifi de la misma manera que puede utilizarse en una red Ethernet.

2.2.13.2. Estándares Wifi

Los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g, llamados "estándares físicos", son modificaciones del estándar 802.11 y operan de modos diferentes, lo que les permite alcanzar distintas velocidades en la transferencia de datos según sus rangos.

Tabla N° 2.3. Estándares Wifi

Estándar	Frecuencia	Velocidad	Rango
wifi a (802.11a)	5 GHz	54 Mbit/s	10 m
wifi B (802.11b)	2,4 GHz	11 Mbit/s	100 m
wifi G (802.11b)	2,4 GHz	54 Mbit/s	100 m

2.2.14. GPS NEO-6M

Los dispositivos NEO-6 son una familia de receptores fabricados por U-Blox, que pueden ser conectados con facilidad a un autómatas o procesador como Arduino.

Los GPS NEO-6 disponen de interface de comunicación UART, SPI, DDC (I2C) y USB. Soportan los protocolos NMEA, UBX binary y RTCM [19].

La familia de receptores GPS NEO-6 están diseñados para tener un pequeño tamaño, pequeño coste, y pequeño consumo. La intensidad de corriente necesaria es de unos 37 mA en modo de medición continuo.

La tensión de alimentación es de 2.7 a 3.6 V para los modelos NEO-6Q/6M, y 1.75-2.0 V para los modelos NEO-6G.

Frecuentemente se encuentran integrados en módulos que incorporan la electrónica necesaria para conectarla de forma sencilla a un Arduino. En la mayoría de los módulos, esto incluye un regulador de voltaje que permite alimentar directamente a 5V.

El GPS NEO-6 tiene un tiempo de encendido cold y warm de unos 30 s, y en hot 1 segundo. La frecuencia máxima de medición es de 5 Hz.

La precisión que en posición es de 2.5 m, en velocidad 0,1 m/s y en orientación 0.5°, valores más que aceptables para un sistema de posicionamiento GPS.

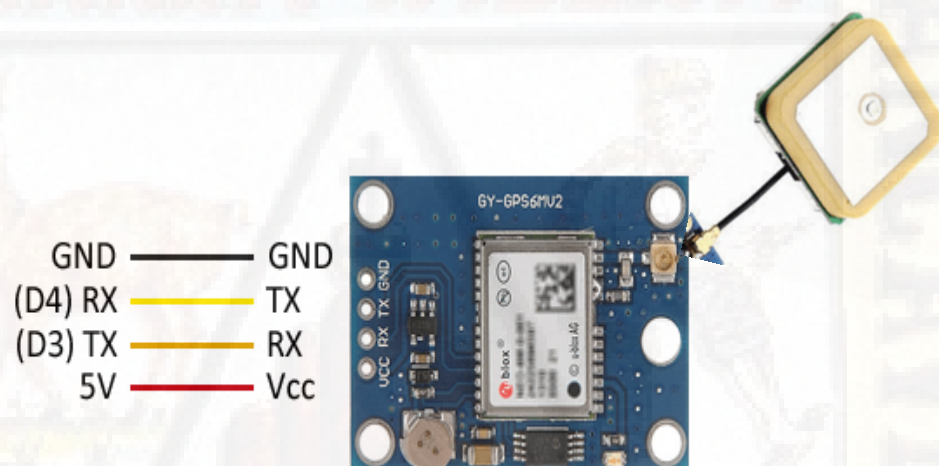


Figura N° 2.19. GPS NEO-6M

2.1. HIPÓTESIS

2.1.1. Hipótesis general

- La configuración del sistema SCADA con georreferenciación y sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi, servidor web y base de datos, permite determinar con una eficiencia superior al 99% la disponibilidad hídrica en reservorios del valle de Pampas - Tayacaja.

2.1.2. Hipótesis específica

- Los sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi y servidor web permiten al sistema SCADA con georreferenciación determinar adecuadamente el nivel de agua en cinco reservorios del valle de Pampas – Tayacaja.
- Por medio de una base de datos desarrollado en Access que almacena la cantidad de agua se determina de modo adecuado la disponibilidad hídrica en cinco reservorios del valle de Pampas-Tayacaja.

2.2. 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. La calidad del agua potable es una cuestión que preocupa en países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados, por su repercusión en la salud de la población [19].
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 9,5.¹⁵
- **Datos ráster:** Se componen de una matriz de píxeles (también llamadas celdas), cada uno con un valor que representa las condiciones de la zona cubierta por dicha celda¹⁶. Son matrices de células discretas que representan características sobre, encima o debajo de la superficie terrestre. Cada celda de la cuadrícula de la trama es del mismo tamaño, y las células son generalmente rectangulares. Los conjuntos de datos ráster típicos incluyen datos de sensores remotos, como por ejemplo fotografía aérea o imágenes de satélite y datos modelos, como una matriz de elevación.
- **Datos vectoriales:** Es una estructura de datos utilizada para almacenar datos geográficos constatado de elementos discretos contruidos a partir de vértices, y pueden ser conectados con líneas y/o áreas.

¹⁵ Wikipedia. Agua potable. <http://es.wikipedia.org/wiki/aguapotable%C3%B3n>. Referenciado el 17 de agosto de 2017.

¹⁶ Datos ráster. https://docs.qgis.org/2.14/es/docs/gentle_gis_introduction/raster_data.html. Referenciado el 17 de agosto del 2017.

- **Geometría:** Describe un objeto espacial que tiene su forma, al cual está representado con una o más vértices interconectados.
- **Georreferenciación:** Es el proceso de definir exactamente dónde en la superficie de la tierra fue creada una imagen o conjunto de datos ráster. Esta información de posición se almacena con la versión digital de la foto aérea. Cuando la aplicación GIS abre la fotografía, utiliza la información de posición para asegurar que aparezca en el lugar correcto en el mapa¹⁷.
- **Nivel:** En su sentido más general nivel hace referencia a una "altura" relativa a otra altura; generalmente se toma como punto de referencia una base¹⁸.
- **Presión:** La presión (símbolo p) es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea. En el Sistema Internacional de Unidades la presión se mide en una unidad derivada que se denomina pascal (Pa) que es equivalente a una fuerza total de un newton (N) actuando uniformemente en un metro cuadrado (m^2).
- **GIS:** Sistema de Información Geográfica (SIG), permite manejar formatos ráster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR, así como bases de datos.
- **GMap.NET:** Plataforma cruzada de control de código abierto .NET. Habilita el uso del enrutamiento para la geocodificación y demarcación sobre un mapa de Google, ¡Yahoo!, Bing, OpenStreetMap, ArcGIS, Pergo, SigPac, Yendux, Mapy.cz, Maps.It, iKarte.lv, NearMap, OviMap, CloudMade, WikiMapia, etc¹⁹.
- **Reservorios de agua:** inmuebles que permiten la preservación del líquido para el uso de una población donde se construyen y a su vez compensan las variaciones horarias de su demanda²⁰.

¹⁷ Una introducción a GI. https://docs.qgis.org/2.14/es/docs/gentle_gis_introduction/raster_data.html. Referenciado el 17 de agosto de 2017.

¹⁸ Wikipedia. Nivel. <http://es.wikipedia.org/wiki/niveles>. Referenciado el 17 de agosto de 2017.

¹⁹ GMap.net. <https://archive.codeplex.com/?p=greatmaps>. Referenciado el 17 de agosto de 2017.

²⁰ Wikipedia. Reservorios de agua. <http://www.emapad.gob.ec/home/9-ultimas-noticias/121-reservorios-de-agua>. Referenciado el 25 de julio de 2017.

- **SCADA:** Es acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención.²¹.
- **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.²².
- **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.²³.
- **Tanque de agua:** Elemento fundamental en una red de abastecimiento de agua potable, para compensar las variaciones horarias de la demanda de agua potable²⁴.

2.3. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

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

2.3.1. Variable independiente

- **Sistema SCADA:** Es el sistema que se encarga de adquirir datos del nivel de agua en cada reservorio, enviar por wifi al servidor web y sistematizar para determinar la disponibilidad hídrica.

Indicadores:

- a) Frecuencia de muestreo (Muestras/s)
- b) Tiempo de retardo de envío de datos (s)

²¹ Wikipedia. SCADA. <https://es.wikipedia.org/wiki/SCADA>. Referenciado el 17 de agosto de 2017.

²² Wikipedia. Sistema de control. https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_control. Referenciado el 17 de agosto de 2017.

²³ Wikipedia. Supervision. <http://es.wikipedia.org/wiki/Supervisi%C3%B3n>. Referenciado el 17 de agosto de 2017.

²⁴ Wikipedia. Tanque de agua. <http://es.wikipedia.org/wiki/tanquedeagua>. Referenciado el 17 de agosto de 2017.

2.3.2. Variable dependiente

- **Eficiencia de determinación de la disponibilidad hídrica en reservorios:**

La eficiencia se determina por:

$$Eficiencia = \left(1 - \left| \frac{DH_{SCADA} - DH_{ref}}{DH_{ref}} \right| \right) 100\%$$

Indicadores:

- DH_{SCADA} : Disponibilidad hídrica determinada con el sistema SCADA implementado (m³).
- DH_{ref} : Disponibilidad hídrica referencial determinado en forma manual empleando un flexómetro (m³).
- Eficiencia (%)

2.4. DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES
Sistema SCADA (SSCADA)	El sistema de adquisición de datos, control y supervisión (SCADA) con georreferenciación configurado con sensores de nivel por ultrasonido, comunicación Wifi, servidor web y base de datos, permite inicialmente muestrear cada 15 segundos la distancia de la ubicación del sensor a la superficie del agua, siendo este el dato para calcular el nivel de agua, luego este dato se transmite al servidor web implementado en la plataforma ThingSpeak.com, los datos de este servidor son leídos desde la aplicación desarrollada en LabVIEW donde es posible determinar la disponibilidad hídrica por cada reservorio.	<ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia de muestreo (Muestras/s) - Tiempo de retardo de envío de datos (s)

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES
<p>Eficiencia de determinación de la disponibilidad hídrica en reservorios. (EDDHR).</p>	<p>La eficiencia de determinación de disponibilidad hídrica se calcula con respecto a la diferencia de la disponibilidad hídrica medido con el sistema SCADA y la disponibilidad hídrica referencial calculado en forma manual empleando flexómetro para cada reservorio, viene definido por la siguiente fórmula:</p> $Eficiencia = \left(1 - \left \frac{DH_{SCADA} - DH_{ref}}{DH_{ref}} \right \right) 100\%$	<ul style="list-style-type: none"> - DH_{SCADA} (m³) - DH_{ref} (m³) - Eficiencia (%)
OPERACIONALIZACIÓN		
EDDHR= f(SSCADA)		

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo en el valle de Pampas, comprensión de los distritos de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia. Se emplearon herramientas de georreferenciación, para ubicar los reservorios, y el sistema SCADA para determinar la disponibilidad hídrica en los reservorios.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es del tipo Tecnológico, donde se estableció la configuración del sistema SCADA con georreferenciación empleando sensores para adquisición de datos, comunicación inalámbrica con protocolo TCP/IP para envío de datos a servidor web y sistema de supervisión para almacenamiento en base de datos y la determinación de disponibilidad hídrica correspondiente. Este tipo de investigación según Cegarra [20], también es denominada de “desarrollo”, tiene por finalidad la invención de artefactos o de procesos con el objeto de ofrecerlos al servicio de la sociedad y obtener beneficios.

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Por el tipo de investigación, el nivel a la que corresponde esta investigación es aplicativo, ya que se implementó un sistema SCADA con georreferenciación, siendo probado la eficiencia del mismo a través del análisis estadístico de los datos, para el cálculo de la eficiencia de determinación de la disponibilidad hídrica en los cinco reservorios del valle de Pampas-Tayacaja. La investigación a este nivel según Lozada [21], busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo

3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación se empleó el método científico, que como manifiesta Hernández y Baptista [22], es aquel que tiene como objetivo principal la obtención de información precisa

y confiable. Como método específico el método experimental, que tiene como procesos lógicos la inducción y la deducción. Como manifiesta De la Cruz [23], en el paradigma de la investigación de tipo tecnológico tenemos un proceso que integra la investigación y la transformación a la vez, es decir, se requiere realizar experimentos con prueba-error. En el caso de esta investigación se tomaron datos de manera experimental en los reservorios con mediciones o toma de muestras cada cierto tiempo, estos datos procesados y almacenados en una base de datos por el sistema SCADA con una configuración particular, permitió calcular la eficiencia de este sistema en la determinación de la disponibilidad hídrica en reservorios de agua. La eficiencia del sistema en mención está relacionada con su configuración que tiene como indicadores la frecuencia de muestreo y el tiempo de envío de datos con cierto retardo.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación se hizo uso del diseño cuasiexperimental, como manifiesta Rusu [24], son rápidos y menos costosos que otros diseños. Se trabajó con dos grupos de datos cuasiexperimentales, con mediciones periódicas de la variable dependiente que representa la disponibilidad hídrica en reservorios del valle de Pampas. El diseño de la investigación queda representada con el siguiente esquema:

GE:	A	X	O1
GC:	B		O2

Donde:

A: grupo experimental.

B: grupo control.

X: Sistema SCADA

O1: Observaciones de la cantidad de agua con el sistema SCADA implementado en cinco reservorios del valle de Pampas-Tayacaja (grupo experimental).

O2: Observaciones de la cantidad de agua de forma manual en cinco reservorios del valle de Pampas-Tayacaja que es referencial (grupo control).

3.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.6.1. Población

El trabajo de investigación se desarrolló en el valle de Pampas donde se estable la

disponibilidad hídrica instantánea en reservorios. Inicialmente se ubicaron geográficamente los 05 reservorios de agua pre establecidos y luego se midieron el nivel de agua en tiempo real, para determinar la disponibilidad hídrica, estas mediciones representan una población infinita.

3.6.2. Muestra

Por tratarse de una investigación aplicada y no contando con datos estadísticos de las mediciones de volumen de agua con un sistema SCADA donde se indique el valor de la desviación estándar (σ), se implementó un piloto de 20 observaciones con mediciones de la variable antes indicada (ver tabla N° 3.1), siendo los estadísticos del volumen de agua el que se indica en la tabla N° 3.2.

Tabla N° 3.1. Toma de muestras piloto para la determinación de la desviación estándar (σ).

N° muestra	Volumen de Agua Referencial (m³)	Volumen obtenido con el sistema SCADA implementado (m³)
1	23.20	23.00
2	23.20	23.50
3	23.20	23.47
4	23.20	23.25
5	23.20	23.15
6	23.20	23.23
7	23.20	23.18
8	23.20	23.29
9	23.20	23.30
10	23.20	23.19
11	23.20	23.22
12	23.20	23.28
13	23.20	23.34
14	23.20	23.27
15	23.20	22.83
16	23.20	23.27
17	23.20	23.25
18	23.20	23.44
19	23.20	23.58
20	23.20	23.22

Tabla N° 3.2. Estadísticos para la medición de volumen de agua piloto con 20 observaciones.

Estadístico	Volumen m ³
N° de observaciones	20
Mínimo	22.830
Máximo	23.580
Mediana	23.255
Media	23.263
Varianza (n-1)	0.028
Desviación típica (n-1)	0.166

La muestra se determina para un análisis a una cola ya que en la investigación se busca probar la eficiencia de las mediciones con respecto a las mediciones referenciales para un $\alpha = 0.05$, “n” es el tamaño de la muestra para una población infinita con datos cuantitativos [25], el mismo que se calcula mediante la fórmula siguiente en función del estadístico Z, la desviación estándar (σ), y el error estimado (E).

$$n = \frac{Z^2_{\alpha} \sigma^2}{E^2}$$

El valor de Z para $\alpha = 0.05$ se determinó en Microsoft Excel con la siguiente instrucción:

$$Z_{\alpha=0.05} = \text{inv.norm.estand}(0.05) = -1.64485$$

El valor de Z_{α} se representa en la figura N° 3.1.

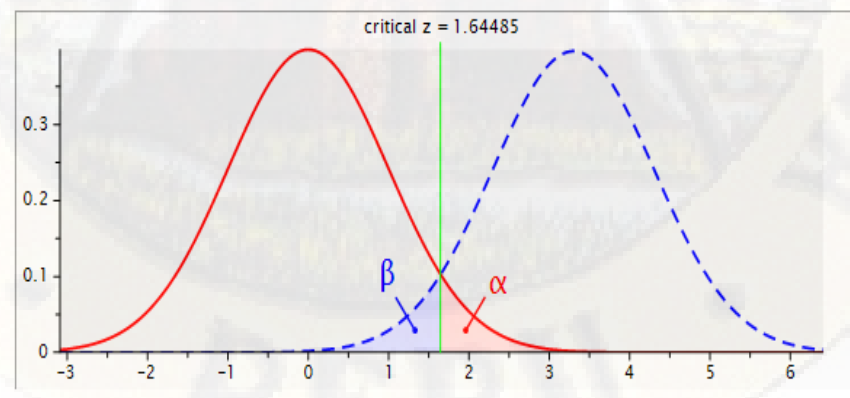


Figura N° 3.1. Representación gráfica de Z_{α} para prueba unilateral.

(Fuente: G*Power, Software para análisis estadístico. <http://www.gpower.hhu.de/>)

La desviación estándar se calculó en función a las 20 observaciones ($n=20$) obtenidos en la prueba piloto, donde x es una muestra y $\bar{x} = 23.263$ es la media de las muestras, con estos valores se calculó la desviación estándar (σ).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$
$$\sigma = 0.166$$

Se estima un error de medición de $E = 5\%$ ²⁵.

Luego el tamaño de muestra es:

$$n = 29.82 \cong 30$$

Por lo que se tomaron 30 muestras de medición de volumen de agua del total de reservorios en su respectiva ubicación.

3.6.3. Muestreo

El muestreo fue aleatorio simple, ya que todo el universo de la población tuvo la misma oportunidad de ser seleccionado para integrar las muestras del grupo experimental.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se empleó la técnica de la observación y toma de datos directos por instrumentos que son parte del sistema SCADA con georreferenciación. La ubicación y localización de los reservorios fueron determinados por medio del GPS y la disponibilidad hídrica en los reservorios por mediciones con sensores de ultrasonido. Los datos recolectados se almacenaron en el instrumento de recolección de datos que se presenta en la tabla N° 3.3.

²⁵ Se estima el error de 5% considerando la variación de la superficie del agua en tanque por efectos de caída de agua.

Tabla N° 3.3. Instrumento de recolección de datos.

N° muestra	Reservorio	Disponibilidad Hídrica Referencial en m ³ (DH _{ref})	Disponibilidad Hídrica determinada con el sistema SCADA en m ³ (DH _{SCADA})
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
.			
.			
30			

3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los datos se recolectaron a propósito de la investigación por indicadores de la disponibilidad hídrica en los cinco reservorios del valle de Pampas-Tayacaja, en total se tomaron 30 muestras, 06 muestras al azar por cada reservorio en estudio y se almacenaron en el instrumento representado por la tabla N° 3.3.

3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para procesar los datos del trabajo de investigación se empleó la técnica de procesamiento de dos medias independientes, la primera media corresponde a la media referencial los mismos que son calculados de forma manual, mientras que la segunda media corresponde a la media de las muestras del volumen de agua medidos en cinco reservorios de agua con el sistema SCADA implementado, se organizaron los datos por cada reservorio, se establecieron las hipótesis nula y alternativa. La hipótesis nula fue sometido a la prueba t de Student para una sola muestra con un nivel de confianza del 99%. Siendo la fórmula empleada para la prueba de hipótesis:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

Dónde:

\bar{X} : media muestral de la eficiencia.

S: desviación típica,

n: Número de muestras o casos.

La prueba de hipótesis se lleva a cabo en la sección 4.6.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Se identificaron reservorios de agua de consumo humano: un reservorio en el distrito de Daniel Hernández, dos reservorios en el distrito de Pampas, un reservorio en el distrito de Ahuaycha y un reservorio en el distrito de Acraquia. cada reservorio cuenta con una ubicación geográfica y tiene dimensiones diferentes, 04 son del tipo cilíndrico y uno del tipo cúbico. En la investigación fue necesario contar con la señal de acceso a internet para georreferenciar los reservorios y medir el nivel de líquido en los reservorios. En la figura N° 4.1, se presenta el diagrama del sistema SCADA implementado en la investigación.

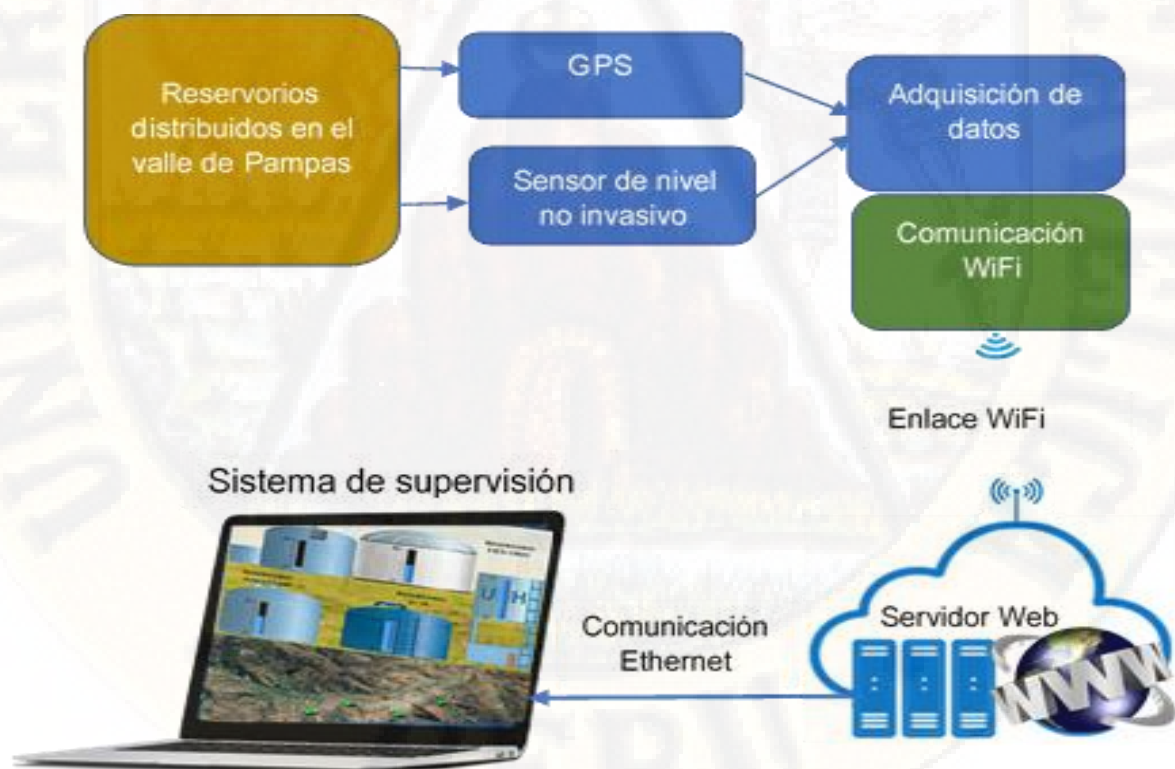


Figura N° 4.1. Diagrama del sistema SCADA con georreferenciación para la determinación de disponibilidad hídrica en reservorios de agua.

4.1. ADQUISICIÓN DE DATOS

4.1.1. Adquisición de datos de georreferenciación de reservorios

El sistema de posicionamiento global (GPS NEO 6M), se colocó en la parte superior de cada reservorio. Este dispositivo inicialmente fue configurado para enviar datos de latitud, longitud y altitud al módulo de adquisición a una velocidad de 9600 bps. El módulo de adquisición envía los datos al módulo de comunicación Wifi, este último módulo envía los datos a un servidor Web por Internet. El diagrama de flujo de este proceso se muestra en la figura N° 4.2.

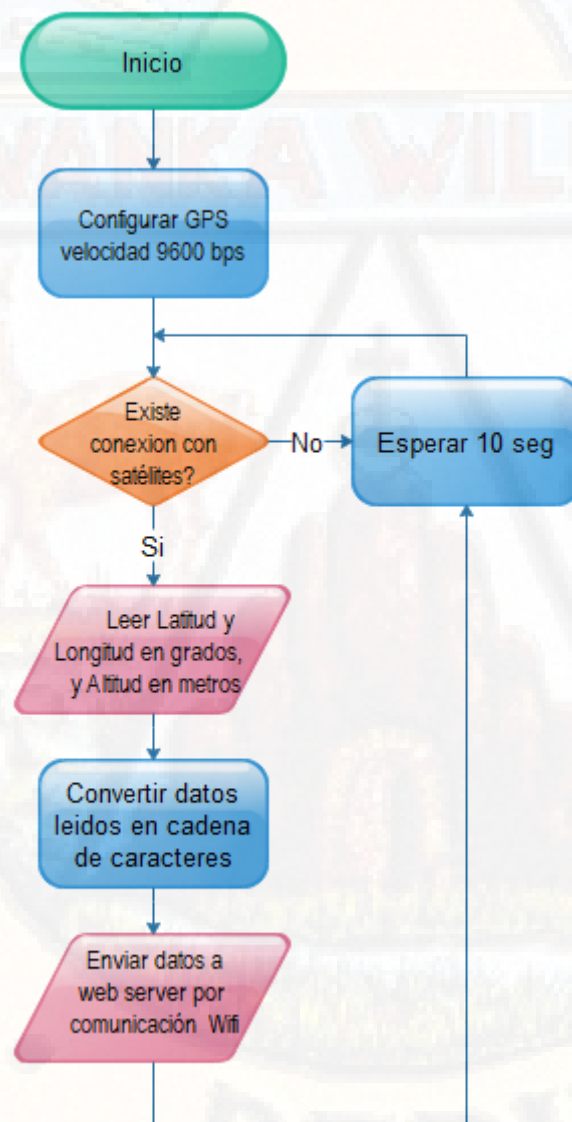


Figura N° 4.2. Diagrama de flujo de adquisición de datos de georreferenciación de reservorios.

La codificación de la adquisición de datos de georreferenciación de reservorios se implementó sobre un microcontrolador ESP32, cuyas conexiones se muestra en la figura N° 4.3. La codificación del programa se despliega en Anexo 1.

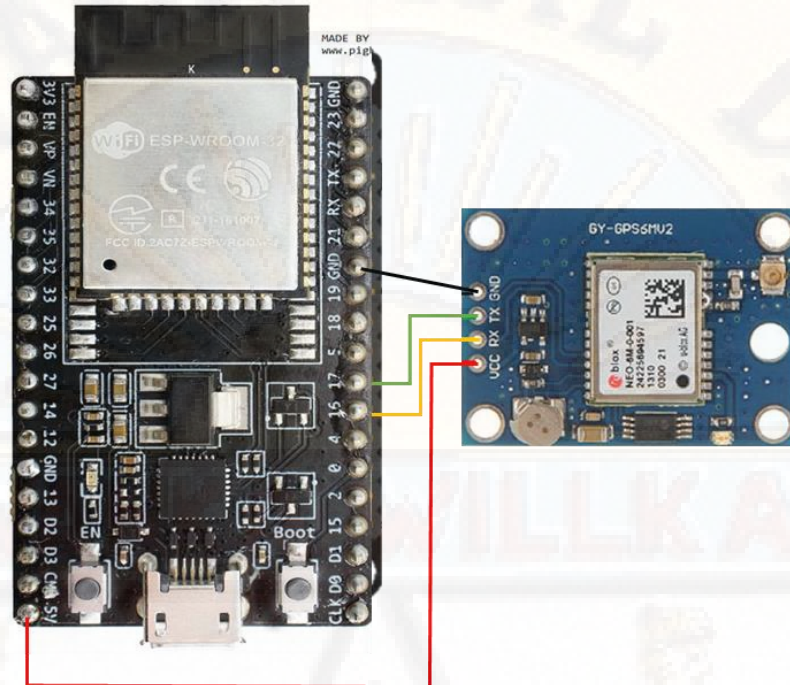


Figura N° 4.3. Circuito de conexión del GPS NEO 6M al ESP32.

La programación del adquirente de datos es similar para todas las estaciones remotas ubicadas sobre cada reservorio, diferenciando el uno de los otros sólo en el canal del servidor web y la clave de la interfaz de programas de aplicación (APIKey).

4.1.2. Adquisición de datos de la distancia del sensor a la superficie de agua en reservorios

La distancia del sensor a la superficie del agua en cada uno de los cinco reservorios ubicados en los distritos de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia, se obtiene en función del tiempo (t) que demora en retornar el eco de una señal transmitida por un módulo de sensores de ultrasonido que operan a 40 KHz, esta distancia es representado por: $L = t(360/2)$ m. El valor de L es enviado al servidor web por medio de la comunicación wifi con acceso a internet. El proceso de adquisición del nivel de agua en reservorios se lleva a cabo de acuerdo con lo establecido en la figura N° 4.4.

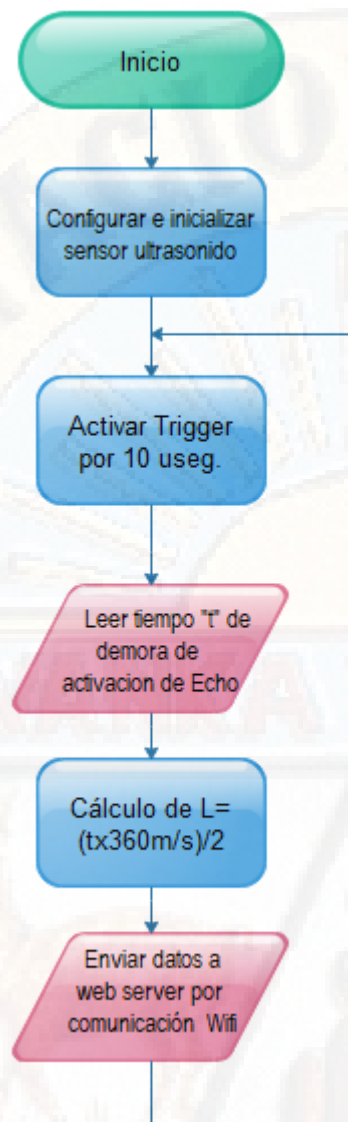


Figura N° 4.4. Diagrama de flujo de adquisición de datos para el cálculo del nivel de agua en reservorios.

Con el valor de L enviado, se calcula en la sección del sistema de supervisión el nivel y volumen del agua en los reservorios en función a la geometría de estos.

La codificación de la adquisición de datos de L se implementó sobre un microcontrolador ESP32, las conexiones se muestran en la figura N° 4.5.

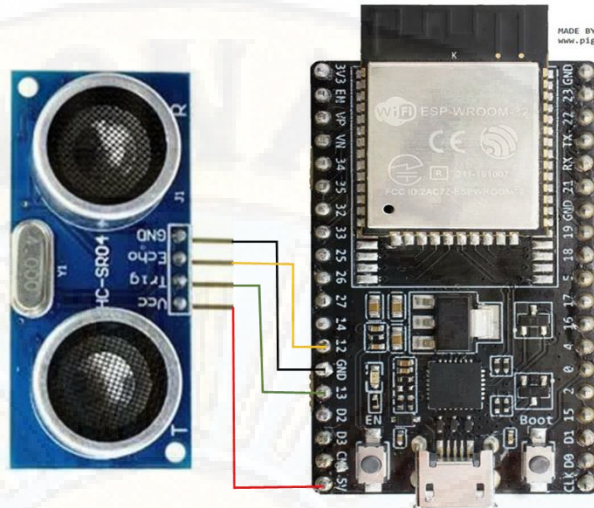


Figura N° 4.5. Circuito de conexión del sensor de ultrasonido al ESP32.

La programación se desarrolló en la plataforma de Arduino empleando el lenguaje C++ (ver figura N° 4.6), cada estación remota ubicado sobre cada reservorio tiene una programación similar. La codificación completa del programa se muestra en Anexo 2.

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
✓ ➕ 📄 ⬆️ ⬇️
ProgramacionFinal_Arduino_SCADA_Agua

#include <HCSR04.h>
UltrasonicDistanceSensor distanceSensor(13, 12); // Initialize sensor that uses digital pins 13 and 12.

float buf1[10], temp, temp1, distancia;

//*****Para GPS *****
#include <TinyGPS++.h>
TinyGPSPlus gps;
//HardwareSerial Serial1(1);
char buf[16];
String strLatitud;
String strLongitud;
float Altura; //msnm
//*****
#include <WiFi.h>
#include <WiFiMulti.h>
WiFiMulti WiFiMulti;

const char* ssid = "Edith"; // SSID de la red WIFI con acceso a internet
const char* password = "Charito123";
const char* host = "api.thingspeak.com";
String api_key = "MVZBGHQI7IIQBUJF";
//*****
IPAddress local_IP(192, 168, 43, 115);
IPAddress gateway(192, 168, 43, 1);
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);
IPAddress primaryDNS(8, 8, 8, 8); //
IPAddress secondaryDNS(8, 8, 4, 4); //

Guardado.

```

Figura N° 4.6. Implementación del programa de adquisición de datos en la plataforma de Arduino.

4.2. COMUNICACIÓN WIFI - INTERNET

Los datos de la georreferenciación de los reservorios y del sensor de nivel son enviados por el módulo de comunicación del procesador ESP32 empleando el protocolo TCP/IP. Para realizar el enlace el ESP32 requiere de un punto de acceso a Internet por medio de Wifi, por este medio se enlaza al servidor Web empleando un canal y la interface de aplicación para escritura (WriteAPIKey). Se envía los datos de la georreferenciación y el valor de L que es la distancia del sensor ultrasónico a la superficie del agua, por otro lado, se tiene la interface de aplicación para la lectura de datos del servidor Web empleando el código de ReadAPIKey. El circuito y su configuración de esta comunicación Wifi – Internet se muestra en la figura N° 4.7. La codificación del programa se muestra en el Anexo 3.



Figura N° 4.7. Circuito y configuración de comunicación con el servidor Web Wifi - Internet.

4.3. SUPERVISIÓN

4.3.1. Supervisión de la georreferenciación

Los datos almacenados desde el GPS en el servidor Web son leídos desde una aplicación desarrollado en LabVIEW. Estos datos georreferencian a los reservorios del valle de Pampas. Se acceden a estos datos a través de un registro por medio de correo electrónico y una contraseña por http, ver figura N° 4.8.

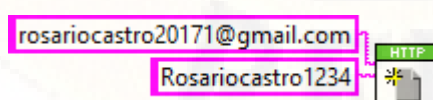


Figura N° 4.8. Datos de acceso al servidor Web.

Los datos son leídos por medio de una interface de programación de aplicaciones (API) para lectura (ReadAPIKey). Los datos son identificados desde un formato de texto ligero para el intercambio de datos con JavaScript Object Notation (JSON) implementado para LabVIEW.

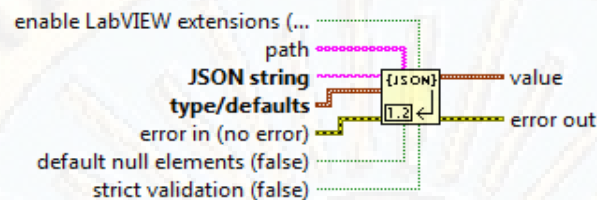


Figura N° 4.9. JSON implementado para LabVIEW.

Se identifican los campos que contiene la información de la latitud, longitud y altitud de cada reservorio por medio del canal asociado al servidor Web (ver figura N° 4.10)

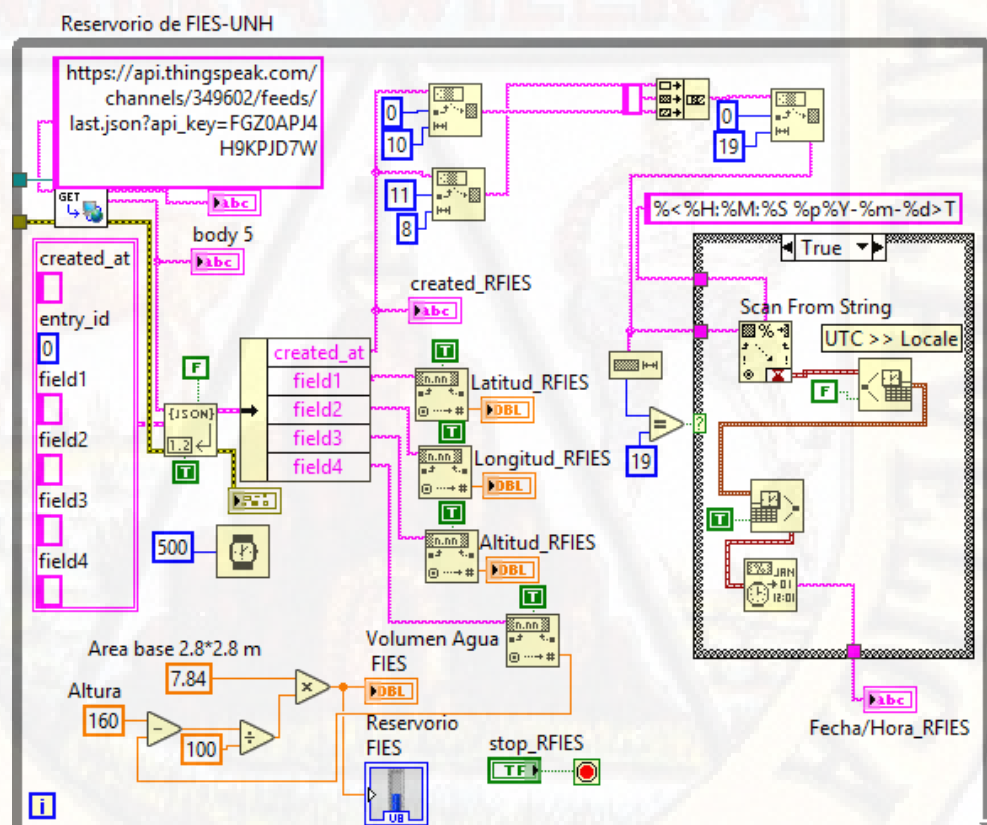


Figura N° 4.10. Diagrama de identificación de la latitud, longitud y altitud de cada reservorio de agua.

Una vez identificado los datos de georreferenciación estos son desplegados sobre un mapa GIS, lo que se muestra en la figura N° 4.11. Al pasar el mouse sobre las marcas

en el mapa se puede visualizar los datos de georreferenciación por cada reservorio de agua, permitiendo de este modo la supervisión de la georreferenciación de los reservorios de agua en el valle de Pampas.



Figura N° 4.11. Despliegue en mapa GIS para la supervisión de los datos de georreferenciación de los reservorios de agua del valle de Pampas.

4.3.2. Supervisión de la disponibilidad hídrica en reservorios

La disponibilidad hídrica para un reservorio fue determinada a partir de la distancia del nivel máximo en reservorio de agua a la superficie del agua. Con las dimensiones físicas de cada reservorio se obtiene inicialmente el nivel de líquido por cada reservorio, luego, se obtiene el volumen multiplicando el nivel de agua por el área de la base del reservorio.

$$h = h_{m\acute{a}x} - L$$

donde:

h= nivel de agua en el reservorio.

L = distancia de la altura máxima del reservorio a la superficie del agua.

$h_{m\acute{a}x}$ = altura máxima del reservorio.

El volumen de agua en los reservorios del distrito de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia tiene forma cilíndrica por lo que este volumen se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$V = \pi r^2 x h$$

Donde:

$\pi = 3.141516$

r = radio de la base del reservorio

h = nivel de agua en el reservorio

En caso del reservorio de la FIES que es de forma cúbica, la fórmula es:

$$V = a x b x h$$

Donde:

a = lado 1 de la base del reservorio.

b = lado 2 de la base del cilindro.

h = nivel de agua en el reservorio.

El diagrama de cálculo de volumen se muestra en la figura N° 4.12.

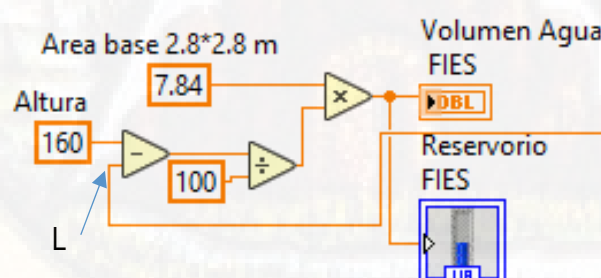


Figura N° 4.12. Diagrama de cálculo de volumen de agua en los reservorios del valle de Pampas.

El volumen de agua determinado en unidades de m^3 , de todos los reservorios del valle de Pampas, son supervisados desde una interface desarrollado en LabVIEW (ver figura N° 4.13).

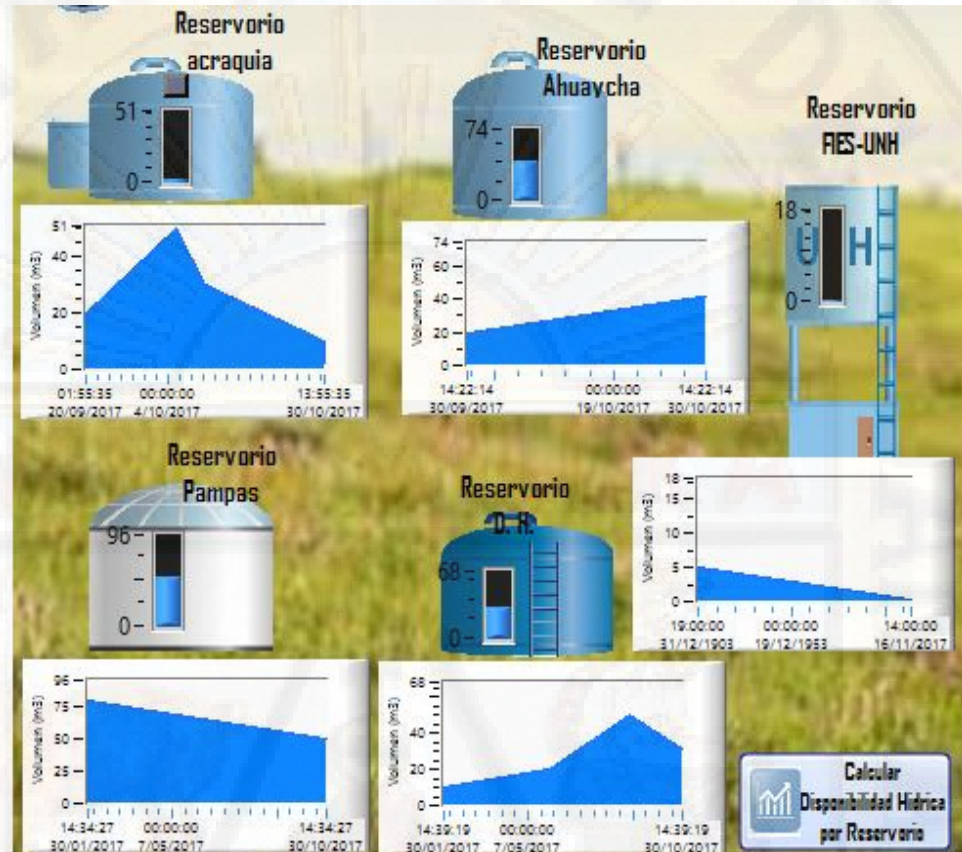
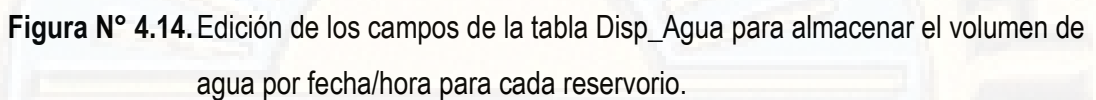


Figura N° 4.13. Supervisión de la disponibilidad hídrica en los reservorios de agua del valle de Pampas.

4.4. DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LOS RESERVORIOS

La disponibilidad hídrica se determina con los datos almacenados en la tabla "Disp_Agua" en la base de datos de Access. Los campos "Fecha/Hora" almacenan la fecha y hora de lectura del nivel de agua por cada reservorio, los campos del tipo "Texto corto" contienen el nivel de agua de cada uno de los reservorios. La edición de los campos de esta tabla se ve en la figura N° 4.14.



Quedando los datos del volumen de agua por cada reservorio almacenados en la tabla “Disp_Agua” tal como se muestra en la figura N° 4.15.

Figura N° 4.15. Datos que representan volumen de agua almacenados por Fecha/Hora para cada reservorio en la tabla Disp_Agua.

La disponibilidad hídrica en cada reservorio es calculada en rangos de “fecha inicial” a “fecha final”, en este rango se determina el mínimo, máximo y el promedio de agua disponible en metros cúbicos (ver figura N° 4.16).



Figura N° 4.16. Interface del cálculo del volumen de agua almacenados en rangos de Fecha/Hora para cada reservorio del valle de Pampas-Tayacaja.

Inicialmente se selecciona un reservorio, luego el intervalo de la Fecha/Hora inicial y fecha/hora final para construir la sintaxis de consulta a la base de datos. Se realizan dos consultas a la base de datos de manera simultánea; la primera consulta es sobre el volumen de agua en cualquiera de los cinco reservorios, siendo la sintaxis:

*Select **Volumen de Reservorio** FROM **Nombre de Tabla** where **Fecha inicial**>=#d/m/Y H:M:S# and **Fecha final**<=#d/m/Y H:M:S# order by fecha/hora*

Esta sintaxis es construida en base a la concatenación de cadenas de caracteres obtenidos con el diagrama de la figura N° 4.17.

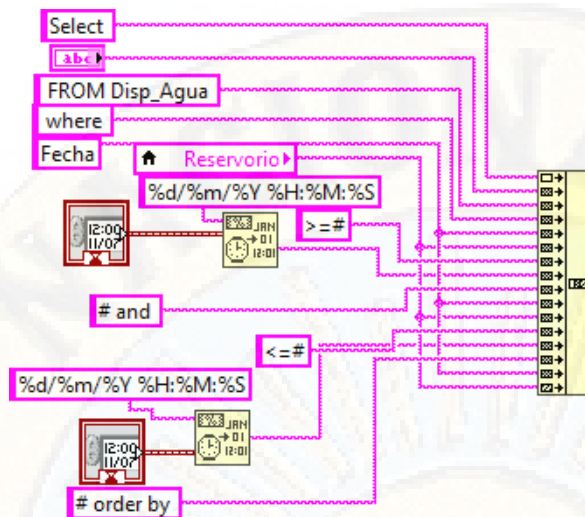


Figura N° 4.17. Diagrama de construcción de la sintaxis para consultar el volumen de agua en reservorio.

La otra consulta a la base de datos es sobre la Fecha/Hora en el intervalo del volumen de agua, siendo la sintaxis:

Select **Fecha/Hora de reservorio** FROM **Nombre de Tabla** where **Fecha inicial**>=#d/m/Y H:M:S# and **Fecha final**<=#d/m/Y H:M:S# order by fecha/hora

Esta sintaxis es construida en base a la concatenación de cadenas de caracteres obtenidos con el diagrama de la figura N° 4.18.

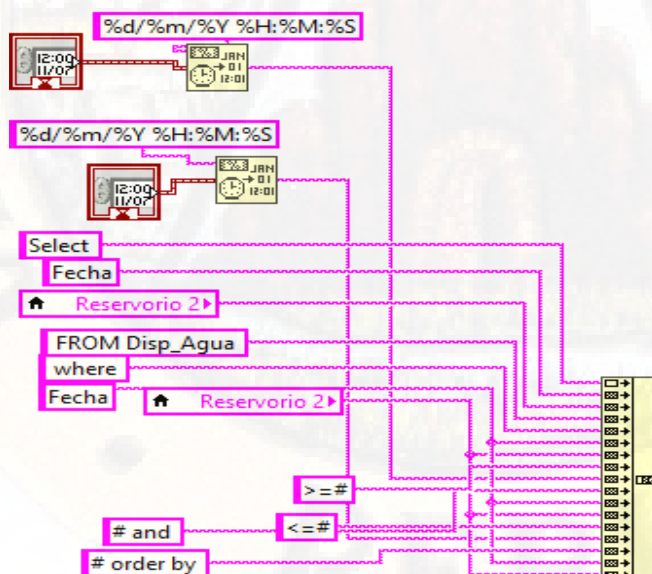


Figura N° 4.18. Diagrama de construcción de la sintaxis para consultar la Fecha/Hora correspondiente al volumen de agua en reservorio consultado.

Las consultas se obtienen enviando las dos sintaxis al bloque de ejecución y lectura (ver figura N° 4.19). Una vez adquirido los datos son procesadas para obtener los valores máximos, mínimos y el promedio de disponibilidad de agua en el reservorio previamente seleccionado.

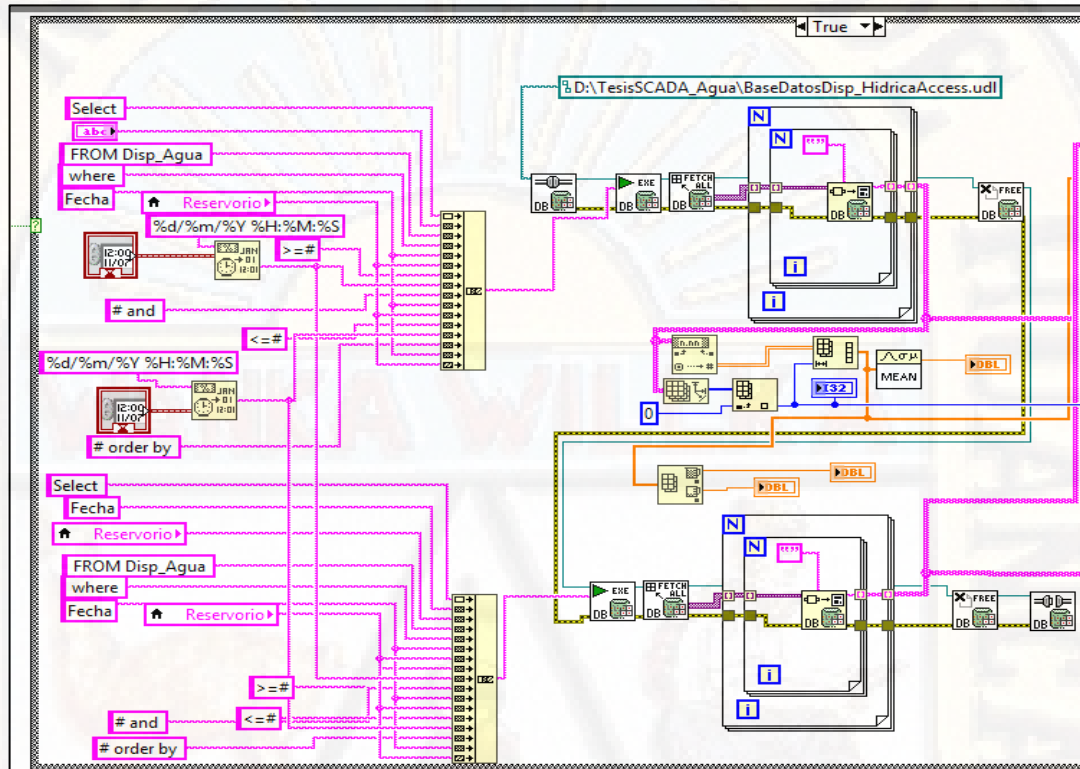


Figura N° 4.19. Diagrama de construcción de la sintaxis para consultar la Fecha/Hora correspondiente al volumen de agua en reservorio consultado.

Los datos adquiridos son graficados sobre un *waveform char* lo que se muestra en la figura N° 4.20, que es el diagrama donde se calcula el volumen de agua almacenados en rangos de Fecha/Hora para cada reservorio del valle de Pampas-Tayacaja.

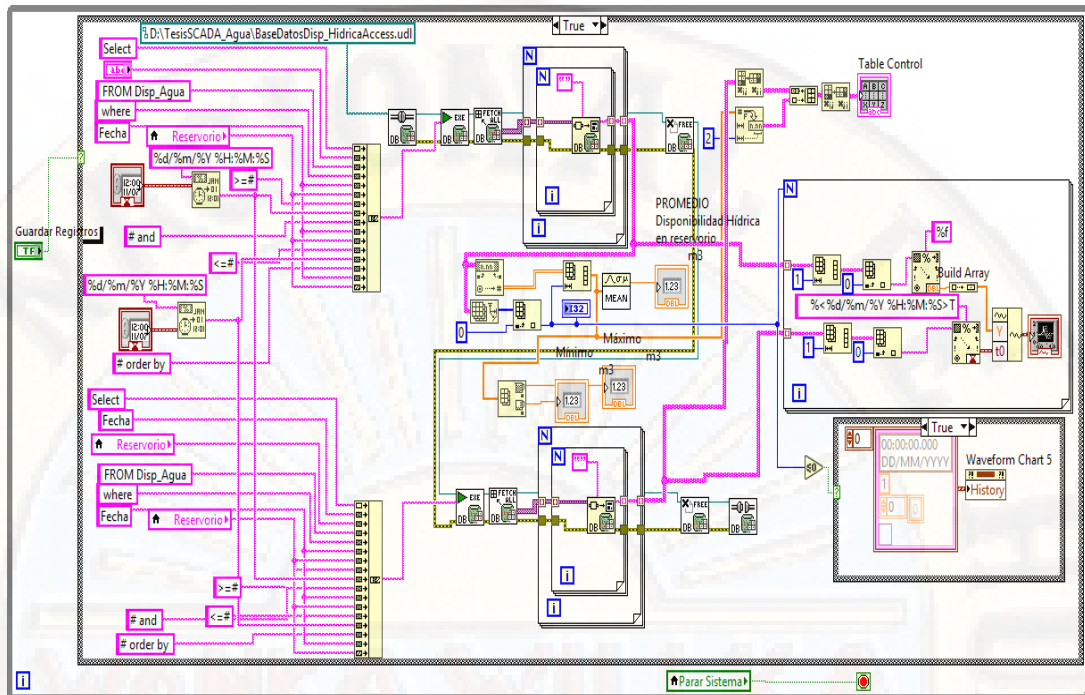


Figura N° 4.20. Diagrama para el cálculo del volumen de agua almacenados en rangos de Fecha/Hora para el reservorio seleccionado del valle de Pampas-Tayacaja.

4.5. MEDICIÓN DE DATOS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE CINCO RESERVORIOS DEL VALLE DE PAMPAS-TAYACAJA CON EL SISTEMA SCADA IMPLEMENTADO

Con el sistema SCADA implementado se tomaron en total 30 datos que representan el volumen de agua en los cinco reservorios en horarios independientes para cada reservorio, el cual depende de la transmisión asíncrona de cada una de las estaciones hacia el Web server. Se inicia tomando los datos del reservorio ubicado en el distrito de Daniel Hernández, en seguida, se tomaron los datos del reservorio del distrito de Pampas, se continua con la toma de datos del reservorio ubicado en el campus de la FIES-UNH, en seguida se toma los datos del reservorio de Ahuaycha, finalmente se toman datos del reservorio de Acraquia. Los datos adquiridos representan la disponibilidad hídrica, estos se muestran en la tabla N° 4.1. La diferencia de la disponibilidad hídrica medida entre el sistema SCADA y la medición referencial, complementado a 1 multiplicado por 100 representa la eficiencia de medición de disponibilidad hídrica del sistema SCADA, esta eficiencia para cada muestra se calcula en la tabla N° 4.2.

Tabla N° 4.1. Disponibilidad hídrica determinada en reservorios en estudio con el sistema SCADA implementado.

N° muestra	Reservorio	Disponibilidad Hídrica Referencial en m ³ (DH _{ref})	Disponibilidad Hídrica determinada con el sistema SCADA en m ³ (DH _{SCADA})
1	Daniel Hernández	23.20	23.50
2	Daniel Hernández	23.20	23.30
3	Daniel Hernández	23.20	23.40
4	Daniel Hernández	23.20	23.30
5	Daniel Hernández	23.20	23.55
6	Daniel Hernández	23.20	23.52
7	Pampas	52.00	52.20
8	Pampas	52.00	51.40
9	Pampas	52.00	51.90
10	Pampas	52.00	52.20
11	Pampas	52.00	51.80
12	Pampas	52.00	52.50
13	FIES	3.24	3.28
14	FIES	3.24	3.25
15	FIES	3.24	3.25
16	FIES	3.24	3.25
17	FIES	3.24	3.27
18	FIES	3.24	3.22
19	Ahuaycha	37.00	37.31
20	Ahuaycha	37.00	37.41
21	Ahuaycha	37.00	37.11
22	Ahuaycha	37.00	37.41
23	Ahuaycha	37.00	36.51
24	Ahuaycha	37.00	36.81
25	Acraquia	20.00	20.01
26	Acraquia	20.00	19.81
27	Acraquia	20.00	20.10
28	Acraquia	20.00	19.51
29	Acraquia	20.00	19.71
30	Acraquia	20.00	19.77

Tabla N° 4.2. Eficiencia de determinación de disponibilidad hídrica en reservorios en estudio con el sistema SCADA implementado.

N° muestra	Disponibilidad Hídrica Referencial en m ³ (DH _{ref})	Disponibilidad Hídrica determinada con el sistema SCADA en m ³ (DH _{SCADA})	Error de medición referencial: $\left \frac{DH_{SCADA} - DH_{ref}}{DH_{ref}} \right $	Eficiencia de determinación de disponibilidad hídrica del sistema SCADA $\left(1 - \left \frac{DH_{SCADA} - DH_{ref}}{DH_{ref}} \right \right) 100\%$
1	23.20	23.50	0.013	98.707
2	23.20	23.30	0.004	99.569
3	23.20	23.40	0.009	99.138
4	23.20	23.30	0.004	99.569
5	23.20	23.55	0.015	98.491
6	23.20	23.52	0.014	98.621
7	52.00	52.20	0.004	99.615
8	52.00	51.40	0.012	98.846
9	52.00	51.90	0.002	99.808
10	52.00	52.20	0.004	99.615
11	52.00	51.80	0.004	99.615
12	52.00	52.50	0.010	99.038
13	3.24	3.28	0.012	98.765
14	3.24	3.25	0.003	99.691
15	3.24	3.25	0.003	99.691
16	3.24	3.25	0.003	99.691
17	3.24	3.27	0.009	99.074
18	3.24	3.22	0.006	99.383
19	37.00	37.31	0.008	99.162
20	37.00	37.41	0.011	98.892
21	37.00	37.11	0.003	99.703
22	37.00	37.41	0.011	98.892
23	37.00	36.51	0.013	98.676
24	37.00	36.81	0.005	99.486
25	20.00	20.01	0.001	99.950
26	20.00	19.81	0.010	99.050
27	20.00	20.10	0.005	99.500
28	20.00	19.51	0.024	97.550
29	20.00	19.71	0.015	98.550
30	20.00	19.77	0.012	98.850

4.6. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hipótesis: La configuración del sistema SCADA con georreferenciación y sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi, servidor web y base de datos, permite determinar, con una eficiencia superior al 99%, la disponibilidad hídrica en reservorios del valle de Pampas – Tayacaja.

Para demostrar el cumplimiento de esta hipótesis se emplea la prueba “t” para una muestra independiente / prueba unilateral (una cola):

La disponibilidad hídrica es el volumen de agua en metros cúbicos, calculados en forma manual usando flexómetro se considera valores referenciales, sobre la que se probó la hipótesis nula H_0 .

Hipótesis estadística:

Las hipótesis estadísticas son dos: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa, los mismos que se derivan de la hipótesis de la investigación, y estas son:

Hipótesis nula H_0 :

La configuración del sistema SCADA con georreferenciación y sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi, servidor web y base de datos, permite determinar, con una eficiencia menor igual al 99%, la disponibilidad hídrica en reservorios del valle de Pampas – Tayacaja

$$\mu \leq 99 \%$$

Donde:

μ : media poblacional de la eficiencia de determinación de la disponibilidad hídrica en reservorios de agua del valle de Pampas-Tayacaja con el sistema SCADA implementado.

Hipótesis alternativa H_1 : La configuración del sistema SCADA con georreferenciación y sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi, servidor web y base de datos, permite determinar, con una eficiencia superior al 99%, la disponibilidad hídrica en reservorios del valle de Pampas – Tayacaja.

$$\mu > 99 \%$$

Regla de decisión:

Si el “valor-p” calculado es **menor** que el nivel de significancia **alfa=0.05**, se **rechaza la hipótesis nula H_0** y se **acepta la hipótesis alternativa H_1** .

Como resultado se obtiene los datos estadísticos descriptivos de la tabla N° 4.3.

Tabla N° 4.3. Estadísticos descriptivos para la variable eficiencia de determinación de la disponibilidad hídrica en reservorios.

Variable	Muestras	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Eficiencia de determinación de disponibilidad hídrica en reservorios.	30	0	30	97.550	99.950	99.173	0.528

Prueba de t para la variable de estudio:

Diferencia	0.173
t (Valor observado)	1.795
t (Valor crítico)	1.699
GL	29
valor-p (unilateral)	0.042
alfa	0.05

En concordancia con la regla de decisión, puesto que el valor-p=0.042 calculado es menor que el nivel de significancia alfa=0.05, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_1 .

En el Gráfico 4.1 se observa que el estadístico t de Student tiene la característica siguiente: $|t_{(obs)}| > |t_{(crit)}|$, (1.795 > 1.699); por consiguiente, esta condición permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa.

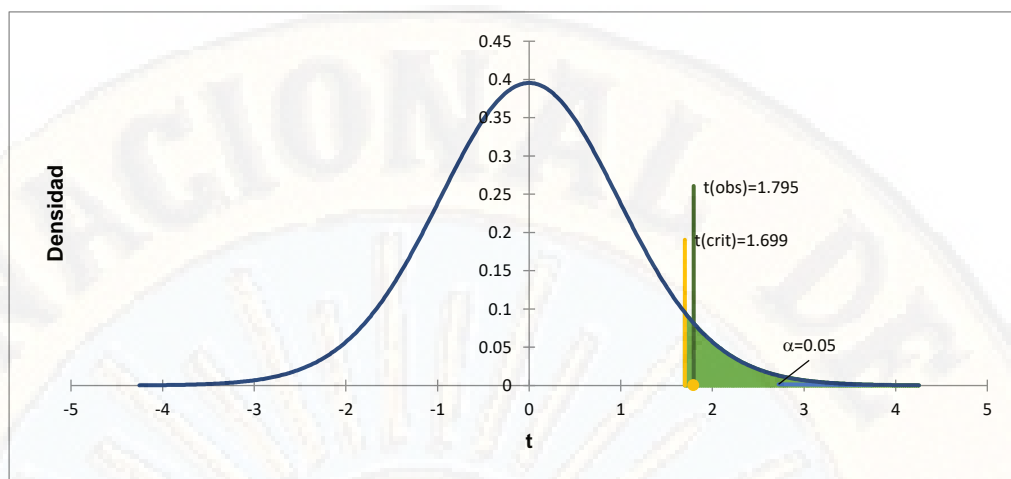


Gráfico 4.1. Prueba t unilateral de la hipótesis nula H_0 relacionada a la variable eficiencia de determinación de la disponibilidad hídrica en reservorios de agua del valle de Pampas – Tayacaja.

Por lo que la prueba de hipótesis concluye afirmando la siguiente decisión estadística:

Decisión estadística:

La configuración del sistema SCADA con georreferenciación y sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi, servidor web y base de datos, permite determinar, con una eficiencia superior al 99%, la disponibilidad hídrica en reservorios del valle de Pampas – Tayacaja.

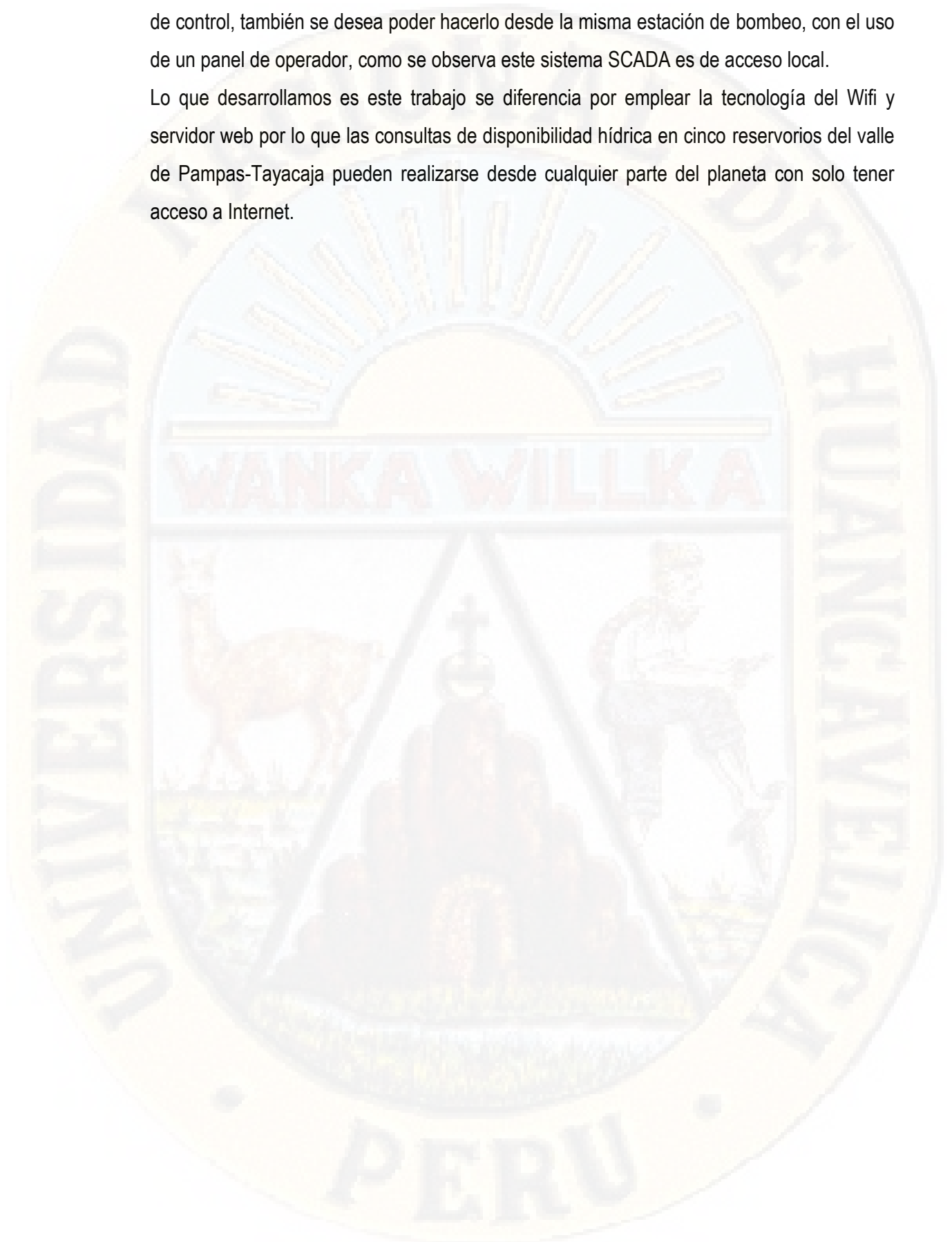
4.7. DISCUSIÓN

En el trabajo de Hernán Velásquez titulado “Los Sistemas de Información Geográfica SIG como herramientas de apoyo al estudio de los recursos naturales y la planificación” y Juan Erasmo Pineda Rodríguez con el trabajo “Uso de los sistemas de información geográfica en la Ingeniería Civil”, utilizaron la información satelital para mapeo de áreas y que puede ser empleado para propósitos de georreferenciación. Lo que concuerda con esta investigación que hace uso de SIG para georreferenciar los reservorios de agua en el valle de Pampas.

Por otro lado, Pedro Pablo Florencio Inga en su trabajo “Desarrollo del Software de un sistema SCADA para la distribución de agua potable en la quebrada de Manchay”. Universidad Nacional de Ingeniería, donde busca conseguir que a la población del pueblo de Manchay no le falte agua en ningún momento del día, ya que las estaciones de bombeo deben operar de manera continua. Finalmente, además de supervisar y comandar el proceso desde un centro

de control, también se desea poder hacerlo desde la misma estación de bombeo, con el uso de un panel de operador, como se observa este sistema SCADA es de acceso local.

Lo que desarrollamos es este trabajo se diferencia por emplear la tecnología del Wifi y servidor web por lo que las consultas de disponibilidad hídrica en cinco reservorios del valle de Pampas-Tayacaja pueden realizarse desde cualquier parte del planeta con solo tener acceso a Internet.



CONCLUSIONES

Los sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi y servidor web permiten al sistema SCADA con georreferenciación determinar adecuadamente el nivel de agua en cinco reservorios del valle de Pampas – Tayacaja, y por medio de una base de datos desarrollado en Access que almacena el nivel de agua se determina de modo adecuado la disponibilidad hídrica en cinco reservorios del valle de Pampas-Tayacaja, en un intervalo de tiempo establecido por el usuario.

Se estableció que la medida de la disponibilidad hídrica con el sistema SCADA con georreferenciación y sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi, servidor web y base de datos implementado con respecto a los valores referenciales que son mediciones manuales, se calculó la eficiencia de determinación de la disponibilidad hídrica en reservorios con el sistema SCADA implementado siendo sometido los datos de esta variable a prueba t de Student, se obtuvo un valor- $p=0.042$ calculado que es menor al nivel de significancia $\alpha=0.05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula H_0 , y se acepta la hipótesis alternativa H_1 .

Finalmente, la configuración del sistema SCADA con georreferenciación y sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi, servidor web y base de datos, permite determinar de forma remota con una eficiencia superior al 99% la disponibilidad hídrica en reservorios del valle de Pampas - Tayacaja.

RECOMENDACIONES

Para georreferenciar los reservorios con el sistema SCADA se deberá utilizar GMAP.net para LabVIEW de modo que se tendrá la posibilidad de emplear diferentes tipos de fuentes GIS.

Para las mediciones adecuadas con el sensor no invasivo el muestreo de los datos se debe llevar a cabo cada 10 s como máximo. El sensor de nivel ultrasónico debe tener alcance superior a los 3 metros y se deberá trabajar en coma flotante, con la librería <HCSR04.h> para Arduino, que permite alcance de hasta 5.00 metros, y fue creado por Martin Sosicel en el año 2016.

El sistema SCADA para su correcto funcionamiento requiere del acceso a Internet vía Wifi con una velocidad superior a 128 kbps en el terminal remoto donde se encuentran los reservorios, y conexión Wifi/Ethernet al lado del cliente para la supervisión de los reservorios de los distritos de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia en el valle de Pampas – Tayacaja.

Por otro lado, la alimentación de los terminales en cada reservorio se torna crítico toda vez que los reservorios se encuentran en lugares sin acceso a la energía convencional, por lo que fue necesario dotar a los terminales, de energía autónoma con baterías de ion litio y cargador solar.

De acuerdo a los Censos Nacionales 2017: XII de población, VI de vivienda y III de comunidades indígenas, tal como se presentó en el problema; en el valle de Pampas se tiene pobladores con abastecimiento de agua dentro de sus viviendas distribuidos del siguiente modo: distrito de Daniel Hernández 69.99 %, Pampas 74.24%, Ahuaycha 60.33 % y Acraquia 66.73%, para reducir estas brechas se debe realizar estudios planificados para mejorar diversos procesos como la captación, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua empleando tecnología emergente y sustentable; en el marco de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) (Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos), establecidos en la agenda al 2030 [27].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MINAM, "La situación del agua en el Perú", 2016. [En línea]. Disponible en: <http://cambioclimatico.minam.gob.pe/manejo-de-la-tierra-y-el-agua/manejo-del-agua/la-situacion-del-agua-en-el-peru/>. [Último acceso: 25 Octubre 2017].
- [2] A. Palacios, "Problemática del agua y saneamiento en el Perú", 2 Enero 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.planteamientosperu.com/2016/01/problematika-del-agua-y-saneamiento-en.html>. [Último acceso: 10 Octubre 2017].
- [3] INEI, "Censos nacionales 2017: XII de población, VI de vivienda y III de comunidades indígenas", 2017. [En línea]. Disponible en: <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>.
- [4] D. Alonso, "Cómo georreferenciar una imagen en QGIS", Octubre 2014. [En línea]. Disponible en: <http://mappinggis.com/2014/10/como-georreferenciar-una-imagen-en-qgis/>. [Último acceso: 25 Octubre 2017].
- [5] E. Melero, Taller introductorio al uso de QGIS, Venezuela, 2014.
- [6] A. Rodríguez, Sistemas SCADA, Segunda ed., Barcelona: Marcombo, 2008.
- [7] B. D y W. E, Practical SCADA for Industry, IDC Technologies, 2003.
- [8] J. Gómez, R. Reyes y D. Guzmán del Río, Temas especiales de instrumentación y control, Cuba: Félix Valera, 2008.
- [9] M. Cerrada, "Diagnóstico de fallas basado en modelos: Una solución factible para el desarrollo de aplicaciones SCADA en tiempo real", *Ciencia e Ingeniería*, Vol. 3, Nº 32, pp. 163-172., 2011.
- [10] R. Krutz, Securing SCADA Systems, Indiana: Wiley Publishing Inc, 2006.
- [11] NI, "LabVIEW", 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.ni.com/es-cr/shop/labview/buy-labview.html>. [Último acceso: 15 Julio 2018].
- [12] "Introducción a JSON". [En línea]. Disponible en: <https://www.json.org/json-es.html>. [Último acceso: 18 Agosto 2017].
- [13] "GMap.NET", 2017. [En línea]. Disponible en: <https://archive.codeplex.com/?p=greatmaps>. [Último acceso: 20 Agosto 2017].
- [14] "Placa de desarrollo para ESP32 NodeMcu-32", [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/384-placa-de-desarrollo-para-esp32-nodemcu-32.html>. [Último acceso: 17 Abril 2018].
- [15] Zeroday, "Nodemcu-32s LUA ESP32 module", 2 Abril 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.smart-prototyping.com/NodeMCU-32S-Lua-WiFi-ESP32-module>. [Último acceso: 20 Agosto 2017].

- [16] M. Asghar y N. Mohammadzadeh, "Design and simulation of energy efficiency in node based on MQTT protocol in Internet of Things", *International Conference On Green Computing And Internet Of Things (ICGCIOT)*, p. 15, 2015.
- [17] Mathwork, "Sign up for ThingSpeak", 2018. [En línea]. Disponible en: https://thingspeak.com/users/sign_up. [Último acceso: 18 Abril 2018].
- [18] C. Vialfa, "Introducción a Wifi (802.11 o WiFi)", 13 Febrero 2018. [En línea]. Disponible en: <https://es.ccm.net/contents/789-introduccion-a-wifi-802-11-o-wifi>. [Último acceso: 28 Marzo 2018].
- [19] L. Llamas, "Localización GPS con arduino y los módulos GPS NEO-6". [En línea]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/localizacion-gps-con-arduino-y-los-modulos-gps-neo-6/>. [Último acceso: 10 Junio 2017].
- [20] OMS, "Agua, saneamiento e higiene", 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/. [Último acceso: 27 Abril 2018].
- [21] J. Cegarra Sánchez, Metodología de la investigación científica y tecnológica, Madrid, 2004.
- [22] J. Lozada, "Investigación aplicada: definición, propiedad intelectual e industria", *Centro de investigación en mecatrónica y sistemas interactivos*, N° 3, pp. 34-39.
- [23] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la Investigación, D.F.: McGRAW-HILL, 2014, p. 528.
- [24] C. De La Cruz Casaño, "Metodología de la investigación tecnológica en ingeniería", *Ingenium*, Vol. I, N° 1, pp. 43-47, 2016.
- [25] C. Rusu, "Metodología de la Investigación", p. 40, 2016.
- [26] R. Walpole, R. Myers, S. Myers y Y. Keying, Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, México: Pearson, 2012, p. 816.
- [27] PNUD, Objetivos del desarrollo sostenible [En línea]. Disponible en: <http://www.pe.undp.org/content/peru/es/home/sustainable-development-goals.html>. [Último acceso: 15 Abril 2018].



ARTÍCULO CIENTÍFICO

SISTEMA SCADA CON GEORREFERENCIACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN RESERVORIOS DE AGUA EN EL VALLE DE PAMPAS-TAYACAJA

SCADA SYSTEM WITH GEOREFERENCING FOR THE DETERMINATION OF WATER AVAILABILITY IN WATER RESERVOIRS IN THE VALLEY OF PAMPAS-TAYACAJA

Edith Rosario Castro Góngora, Alex Kendy Tristán Barzola

Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo: implementar un sistema SCADA con georreferenciación cuya configuración permite determinar la disponibilidad hídrica en cinco reservorios del valle de Pampas – Tayacaja; se emplearon como material y métodos: el GPS para georreferenciar cada reservorio, sensor ultrasónico para medir el nivel de agua en cada reservorio, módulo con microcontrolador ESP32 para la adquisición de datos y envío por medio de WIFI a servidor web vía Internet. La investigación es del tipo tecnológico con nivel aplicado; la hipótesis fue: la configuración del sistema SCADA con georreferenciación y sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi, servidor web y base de datos, permite determinar con una eficiencia superior al 99% la disponibilidad hídrica en cinco reservorios del valle de Pampas – Tayacaja; se obtuvo como resultados: con las muestras obtenidas empleando la prueba estadística t de Student se probó la eficiencia de determinación de disponibilidad hídrica de un sistema SCADA configurado en forma particular para esta investigación, encontrando que la eficiencia corresponde a lo planteado en la hipótesis; se realizó la discusión: los estudios citados en antecedentes, utilizaron la información satelital para mapeo de áreas y que puede ser empleado para propósitos de georreferenciación, esto sirvió de base para georreferenciar los reservorios de agua en el valle de Pampas, emplea sensores y protocolos de comunicación; finalmente, en conclusión: la configuración del sistema SCADA con georreferenciación y sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi, servidor web y base de datos, permite determinar con una eficiencia superior al 99%, la disponibilidad hídrica en reservorios de los distritos de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia en el valle de Pampas – Tayacaja.

Palabras claves: Georreferenciación, disponibilidad hídrica, comunicación Wifi, sensor ultrasónico.

ABSTRACT

The objective of the research was to: implement a SCADA system with georeferencing whose configuration allows the determination of water availability in five reservoirs of the Pampas - Tayacaja valley; The GPS was used as material and methods to georeference each reservoir, ultrasonic sensor to measure the water level in each reservoir, module with ESP32 microcontroller for data acquisition and sending via WIFI to web server via Internet. The research is of the technological type with applied level; the hypothesis was: the configuration of the SCADA system with georeferencing and ultrasonic level sensors with Wi-Fi communication, web server and database, allows to determine with greater efficiency than 99% the water availability in five reservoirs of the Pampas - Tayacaja valley; the results

were obtained: with the samples obtained using the Student's t-test, the efficiency of determination of water availability of a SCADA system configured in a particular way for this investigation was proved, finding that the efficiency corresponds to what was proposed in the hypothesis; the discussion was carried out: the studies cited in the background, used satellite information to map areas and can be used for georeferencing purposes, this served as a basis for georeferencing the water reservoirs in the Pampas Valley, using sensors and protocols communication; finally, in conclusion: the configuration of the SCADA system with georeferencing and ultrasonic level sensors with Wi-Fi communication, web server and database, allows to determine with greater efficiency than 99%, the water availability in reservoirs of the districts of Daniel Hernández , Pampas, Ahuaycha and Accraquia in the valley of Pampas - Tayacaja.

Key words: Georeferencing, water availability, Wifi communication, ultrasonic sensor.

INTRODUCCIÓN

Instituciones nacionales como la superintendencia nacional de servicios de saneamiento (SUNASS), autoridad nacional del agua impulsan el cuidado de las fuentes de agua, mediante los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos en los que se involucrará a todos los actores interesados en una gestión adecuada y responsable del recurso hídrico y teniendo en cuenta la escases del agua a causa de diferentes factores [1], [2]. Por otro lado, no se conoce en tiempo real la disponibilidad del líquido elemento en los reservorios de agua para consumo humano distribuidos en el valle de Pampas, comprensión de los distritos de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia [3], siendo la disponibilidad de agua un indicador para su gestión y administración por las municipalidades responsables. Por lo que fue necesario contar con este sistema SCADA para ubicar los reservorios, y supervisar en tiempo real la disponibilidad de agua para consumo humano con GIS [4], [5]. Para este fin se empleó dispositivos electrónicos con tecnología emergentes basados en comunicación Wifi y servidor Web [7].

MATERIAL Y MÉTODOS

Como material para la implementación del sistema SCADA se empleó GPS para georreferenciar cada reservorio, sensor ultrasónico para medir el nivel de agua en cada reservorio, módulo con microcontrolador ESP32 para la adquisición de datos y envío por medio de WIFI a servidor web vía Internet, plataforma de desarrollo LabVIEW [8], para sistematización de datos y obtención de disponibilidad hídrica en reservorios de agua. La investigación es del tipo tecnológico con nivel aplicado, se empleó el método científico y como método específico el experimental que permitió la toma de un total de 30 muestras en los cinco reservorios.

RESULTADOS

Se estableció un sistema SCADA capaz de georreferenciar los reservorios del valle de Pampas y determinar la disponibilidad de agua en m³ en los reservorios, el diagrama general se muestra en la figura 1.



Figura 1. Diagrama del sistema SCADA con georreferenciación para la determinación de disponibilidad hídrica en reservorios de agua.

Adquisición de datos

El sistema de posicionamiento global (GPS NEO 6M), se colocó en la parte superior de cada reservorio. Este dispositivo inicialmente fue configurado para enviar datos de latitud, longitud y altitud al módulo de adquisición a una velocidad de 9600 bps. El módulo de adquisición envía los datos al módulo de comunicación Wifi, este último módulo envía los datos a un servidor Web por Internet. El diagrama de flujo de este proceso se muestra en la figura 2.

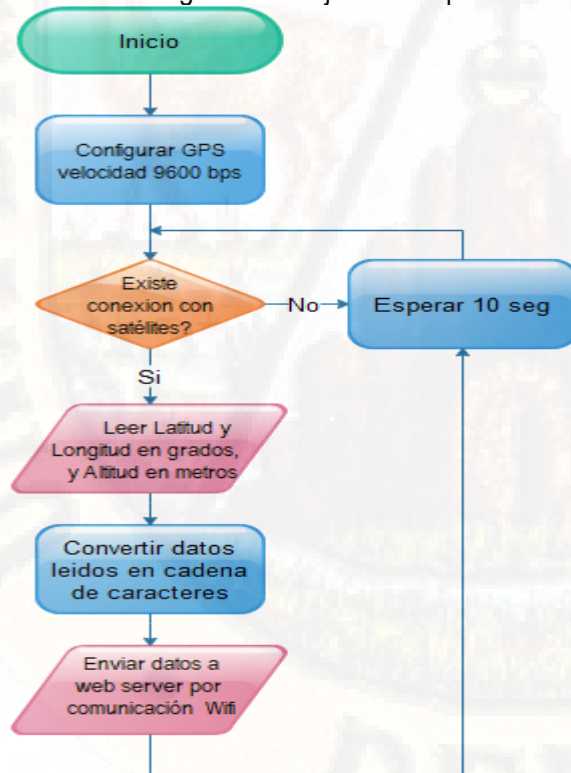


Figura 2. Diagrama de flujo de adquisición de datos de georreferenciación de reservorios.

Los datos de nivel de agua en los cinco reservorios ubicados en los distritos de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia, se adquieren por medio de sensores de ultrasonido que operan a 40 KHz. (ver figura 3).

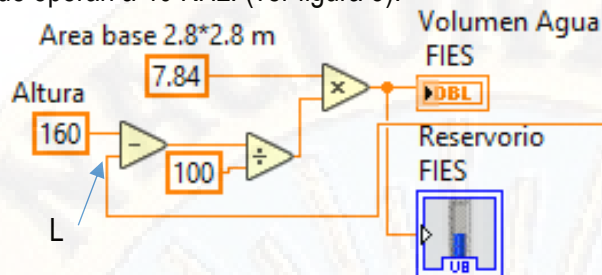
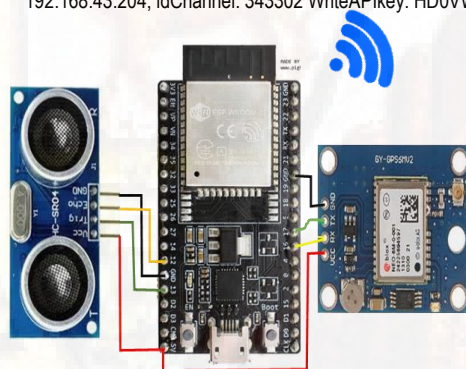


Figura 3. Diagrama de flujo de adquisición de datos de georreferenciación de reservorios.

Comunicación wifi

Los datos de la georreferenciación de los reservorios y del sensor de nivel son enviados por el módulo de comunicación ESP32 empleando el protocolo TCP/IP. Para realizar el enlace el ESP32 requiere de un punto de acceso a Internet por medio de Wifi, por este medio se enlaza al servidor Web empleando un canal y la interface de aplicación para escritura (WriteAPIKey). Se envía los datos de la georreferenciación y el valor de L que es la distancia del sensor ultrasónico a la superficie del agua, por otro lado, se tiene la interface de aplicación para la lectura de datos del servidor Web empleando el código de ReadAPIKey. El circuito y su configuración de esta comunicación Wifi – Internet se muestra en la figura 4.

Ip 192.168.43.200, idChannel: 343293 WriteAPIKey: U9XGWQ3IG2DRY75H
 192.168.43.201, idChannel: 343297 WriteAPIKey: STC1G48VL1Y6ELRG
 192.168.43.202, idChannel: 349602 WriteAPIKey: MVZBGHQI7IIQBUJF
 192.168.43.203, idChannel: 343301 WriteAPIKey: XUTK91JR8JJO1KZT
 192.168.43.204, idChannel: 343302 WriteAPIKey: HD0VW69IPFBA7JC5



IdChannel: 343293 ReadAPIKey: 7HWEU710BQZ6YHJZ
 IdChannel: 343297 ReadAPIKey: Q14ZVCRATTT6LJIG
 IdChannel: 349602 ReadAPIKey: FGZ0APJ4H9KPJD7W
 IdChannel: 343301 ReadAPIKey: C9ZLKVVQ54LWD9NJ
 IdChannel: 343302 ReadAPIKey: QW2J7J7D2RBDT0UX

Figura 4. Circuito y configuración de comunicación con el servidor Web Wifi – Internet.

Supervisión:

Los datos almacenados desde el GPS en el servidor Web son leídos desde una aplicación desarrollado en LabVIEW. Estos datos georreferencian a los reservorios del valle de Pampas.



Figura 5. Despliegue en mapa GIS para la supervisión de los datos de georreferenciación de los reservorios de agua del valle de Pampas.

La disponibilidad hídrica para un reservorio fue determinada a partir de la distancia del nivel máximo en reservorio de agua a la superficie del agua. Con las dimensiones físicas de cada reservorio se obtiene inicialmente el nivel de líquido por cada reservorio, luego, se obtiene el volumen multiplicando el nivel de agua por el área de la base del reservorio.



Figura 6. Supervisión de la disponibilidad hídrica en los reservorios de agua del valle de Pampas.

DISCUSIÓN

En el trabajo de Hernán Velásquez titulado “Los Sistemas de Información Geográfica SIG como herramientas de apoyo al estudio de los recursos naturales y la planificación” y Juan Erasmo Pineda Rodríguez con el trabajo “Uso de los sistemas de información geográfica en la Ingeniería Civil”, utilizaron la información satelital para mapeo de áreas y que puede ser empleado para propósitos de georreferenciación. Lo que concuerda con esta investigación que hace uso de SIG para georreferenciar los reservorios de agua en el valle de Pampas.

Por otro lado, Pedro Pablo Florencio Inga en su trabajo “Desarrollo del Software de un Sistema SCADA para la distribución de agua potable en la quebrada de Manchay”. Universidad Nacional de Ingeniería, donde busca conseguir que a la población del pueblo de Manchay no le falte agua en ningún momento del día, ya que las estaciones de bombeo deben operar de manera continua. Finalmente, además de supervisar y comandar el proceso desde un centro de control, también se desea poder hacerlo desde la misma estación de bombeo, con el uso de un panel de operador. Como se observa este sistema SCADA es solo de acceso local, lo que el trabajo que desarrollamos en esta investigación se diferencia por emplear la tecnología del Wifi y servidor Web.

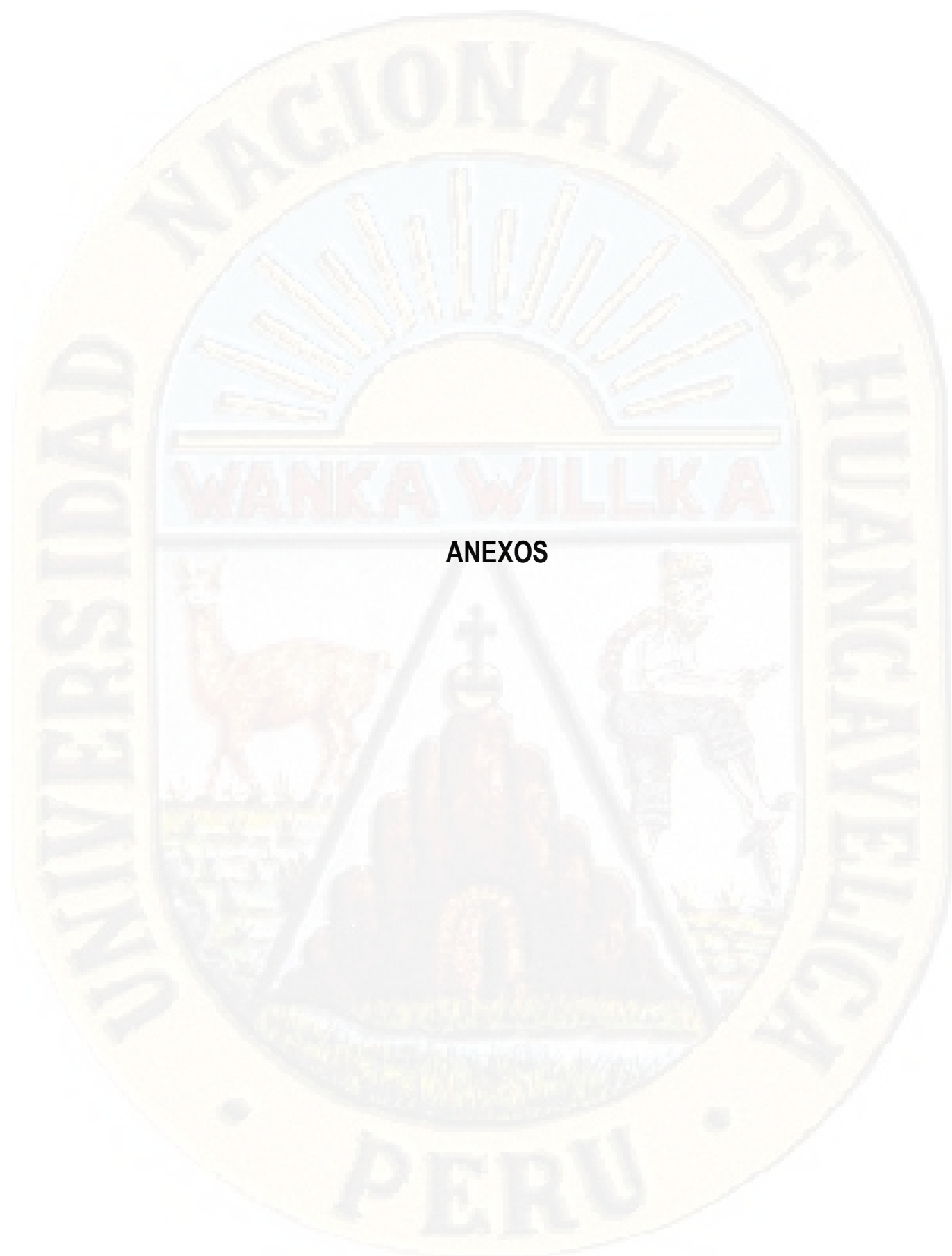
CONCLUSIÓN

Se determinó que el software GIS permite georreferenciar adecuadamente los reservorios de agua del valle de Pampas - Tayacaja. Para esto se sometió a prueba de t Student la hipótesis nula referente a la georreferenciación y se obtuvo como resultado: $|t| > |t_{crit}|$, por lo que se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa.

Finalmente, la configuración del sistema SCADA con georreferenciación y sensores de nivel por ultrasonido con comunicación Wifi, servidor web y base de datos, permite determinar con una eficiencia superior a 99 %, la disponibilidad hídrica en reservorios de los distritos de Daniel Hernández, Pampas, Ahuaycha y Acraquia en el valle de Pampas – Tayacaja.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. MINAM, “La situación del agua en el Perú”, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://cambioclimatico.minam.gob.pe/manejo-de-la-tierra-y-el-agua/manejo-del-agua/la-situacion-del-agua-en-el-peru/>. [Último acceso: 25 Octubre 2017].
- [2]. A. Palacios, “Problemática del agua y saneamiento en el Perú”, 2 Enero 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.planteamientosperu.com/2016/01/problematika-del-agua-y-saneamiento-en.html>. [Último acceso: 10 Octubre 2017].
- [3]. INEI. 2009, “Huancavelica Pobreza e Indicadores” 2011. [En línea]. Disponible en: https://www.snip.gob.pe/contenidos/politicas/estadisticas/estadisticas_locales/pobreza_e_indicadores/HUANCAVELICA_pobreza_e_indicadores.xls. [Último acceso: 15 Octubre 2017].
- [4]. D. Alonso, “Cómo georreferenciar una imagen en QGIS”, Octubre 2014. [En línea]. Disponible en: <http://mappinggis.com/2014/10/como-georreferenciar-una-imagen-en-qgis/>. [Último acceso: 25 Octubre 2016].
- [5]. E. Melero, “Taller introductorio al uso de QGIS”, Venezuela, 2014.
- [6]. A. Rodríguez, “Sistemas SCADA”, Segunda ed., Barcelona: Marcombo, 2008.
- [7]. B. D y W. E, “Practical SCADA for Industry”, IDC Technologies, 2003.
- [8]. J. Gómez, R. Reyes y D. Guzmán del Río, “Temas especiales de instrumentación y control”, Cuba: Félix Valera, 2008.



ANEXOS

Anexo 1. Codificación de adquisición de datos de georreferenciación de los reservorios.

```
#include <HCSR04.h>

UltraSonicDistanceSensor distanceSensor(13, 12); //pines del sensor ultrasónico 13–Trigger, 12–
                                                Echo

float buf1[10], temp, temp1, distancia;

//*****Para GPS *****

#include <TinyGPS++.h>

TinyGPSPPlus gps;

//HardwareSerial Serial1(1);

char buf[16];

String strLatitud;

String strLongitud;

float Altura; //msnm

//***** Para comunicación WiFi*****

#include <WiFi.h>

#include <WiFiMulti.h>

WiFiMulti;

const char* ssid = "Edith"; // SSID de la red WIFI con acceso a internet

const char* password = "Charito123";

const char* host = "api.thingspeak.com"; // host del servidor web

String api_key = "MVZBGHQI7IIQBUJF";

//////////////////// Configuración de la IP de la red Wifi con acceso a internet////////////////////

IPAddress local_IP(192, 168, 43, 202);

IPAddress gateway(192, 168, 43, 1);

IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);

IPAddress primaryDNS(8, 8, 8, 8); //

IPAddress secondaryDNS(8, 8, 4, 4); //

////////////////////////////////////
```

```
void setup(){
  Serial.begin(115200);
  Serial1.begin(9600, SERIAL_8N1, 17, 16); // comunicación con GPS
  Connect_to_Wifi();
}

void loop()
{
  GPS();
  Medir_L();
  delay(2000);
  Serial.println("distancia libre transmitida=");
  Serial.println(distancia);
  Send_Data();
  delay(5000);
}

void Connect_to_Wifi()
{
  if (!WiFi.config(local_IP, gateway, subnet, primaryDNS, secondaryDNS)) {
    Serial.println("STA Failed to configure");
  }

  Serial.print("Conectando a ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
}
```

```

Serial.println("");
Serial.println("WiFi conectado!");
Serial.print("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
Serial.print("ESP Mac Address: ");
Serial.println(WiFi.macAddress());
Serial.print("Subnet Mask: ");
Serial.println(WiFi.subnetMask());
Serial.print("Gateway IP: ");
Serial.println(WiFi.gatewayIP());
Serial.print("DNS: ");
Serial.println(WiFi.dnsIP());
}

```

```

void GPS() // Prototipo de lectura de latitud, longitud y altitud

```

```

{
  Serial.print("Latitud : ");
  Serial.println(gps.location.lat(), 5);
  strLatitud = dtostrf(gps.location.lat(), 4, 6, buf);
  Serial.print("Longitud : ");
  Serial.println(gps.location.lng(), 4);
  strLongitud = dtostrf(gps.location.lng(), 4, 6, buf);
  Serial.print("Satelites: ");
  Serial.println(gps.satellites.value());
  Serial.print("Altitud : ");
  Serial.print(gps.altitude.feet() / 3.2808);
  Altura=gps.altitude.feet() / 3.2808;
  Serial.println(" msnm");
  Serial.print("Hora : ");
  Serial.print(gps.time.hour()-5);

```



```

//Altura=gps.altitude.feet();
Serial.print(":");
Serial.print(gps.time.minute());
Serial.print(":");
Serial.println(gps.time.second());
Serial.println("*****");
smartDelay(1000);
if (millis() > 5000 && gps.charsProcessed() < 10)
    Serial.println(F("No GPS data received: check wiring"));
}

static void smartDelay(unsigned long ms)
{
    unsigned long start = millis();
    do
    {
        while (Serial1.available())
            gps.encode(Serial1.read());
    } while (millis() - start < ms);
}

void Medir_L()
{
    for(int i=0;i<10;i++)
    {
        buf1[i]=distanceSensor.measureDistanceCm();
        Serial.println(distanceSensor.measureDistanceCm());

        delay(10);
    }
    for(int i=0;i<9;i++)

```

```

{
  for(int j=i+1;j<10;j++)
  {
    if(buf1[i]>buf1[j])
    {
      temp=buf1[i];
      buf1[i]=buf1[j];
      buf1[j]=temp;
    }
  }
}

temp1=0;
for(int i=2;i<8;i++)
temp1+=buf1[i];
distancia=((float)temp1)/6;

Serial.println(distancia);

delay(100);
}

void Send_Data() // subrutina para transmisión de datos
{
  Serial.println("Prepare to send data");
  // Use WiFiClient class to create TCP connections
  WiFiClient client;
  const int httpPort = 80;
  if (!client.connect(host, httpPort))
  {
    Serial.println("connection failed");
  }
}

```

```
        return;
    }
    else
    {
        String data_to_send = api_key;
        data_to_send += "&field1=";
        data_to_send += String(strLatitud); //(value);
        data_to_send += "&field2=";
        data_to_send += String(strLongitud); //(temp);
        data_to_send += "&field3=";
        data_to_send += String(Altura); //(pressure);
        data_to_send += "&field4=";
        data_to_send += String(distancia);
        data_to_send += "\r\n\r\n";
        client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
        client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
        client.print("Connection: close\n");
        client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + api_key + "\n");
        client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
        client.print("Content-Length: ");
        client.print(data_to_send.length());
        client.print("\n\n");
        client.print(data_to_send);
        delay(1000);
    }
    client.stop();
}
```

Anexo 2. Codificación de la subrutina para el cálculo del valor de L.

```
void Medir_L()
{
  for(int i=0;i<10;i++)
  {
    buf1[i]=distanceSensor.measureDistanceCm();
    Serial.println(distanceSensor.measureDistanceCm());

    delay(10);
  }
  for(int i=0;i<9;i++)
  {
    for(int j=i+1;j<10;j++)
    {
      if(buf1[i]>buf1[j])
      {
        temp=buf1[i];
        buf1[i]=buf1[j];
        buf1[j]=temp;
      }
    }
  }
  temp1=0;
  for(int i=2;i<8;i++)
  temp1+=buf1[i];
  distancia=((float)temp1)/6;
  Serial.println(distancia);
  delay(100);
}
```


Anexo 3. Codificación de la comunicación

```
//*****  
//Configuración WiFi con acceso a Internet  
//***** Para comunicación WiFi*****  
  
#include <WiFi.h>  
  
#include <WiFiMulti.h>  
  
WiFiMulti WiFiMulti;  
  
  
const char* ssid    = "Edith"; // SSID  de la red WIFI con acceso a internet  
const char* password = "Charito123";  
const char* host = "api.thingspeak.com"; // host del servidor web  
String api_key = "MVZBGHQI7IIQBUJF";  
////////// Configuración de la IP de la red con acceso a internet//////////  
IPAddress local_IP(192, 168, 43, 115);  
IPAddress gateway(192, 168, 43, 1);  
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);  
IPAddress primaryDNS(8, 8, 8, 8); //  
IPAddress secondaryDNS(8, 8, 4, 4); //  
//////////
```

Anexo 4. Fotografías



Foto 1. Reservorio del distrito de Daniel Hernández



Foto 2. Reservorio del distrito de Pampas



Foto 3. Reservorio de la FIES-UNH



Foto 4. Reservorio del distrito de Ahuaycha



Foto 5. Reservorio del distrito de Acraquia



Foto 6. Interface del Sistema SCADA con georreferenciación para determinar la disponibilidad de agua en reservorios del valle de Pampas.



SISTEMA SCADA CON GEORREFERENCIACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN RESERVORIOS DE AGUA EN EL VALLE DE PAMPAS-TAYACAJA

Cálculo de disponibilidad hídrica en reservorios

Reservorio

Akraquia

Fecha Inicial

15:20:46

9/04/2017

Fecha Final

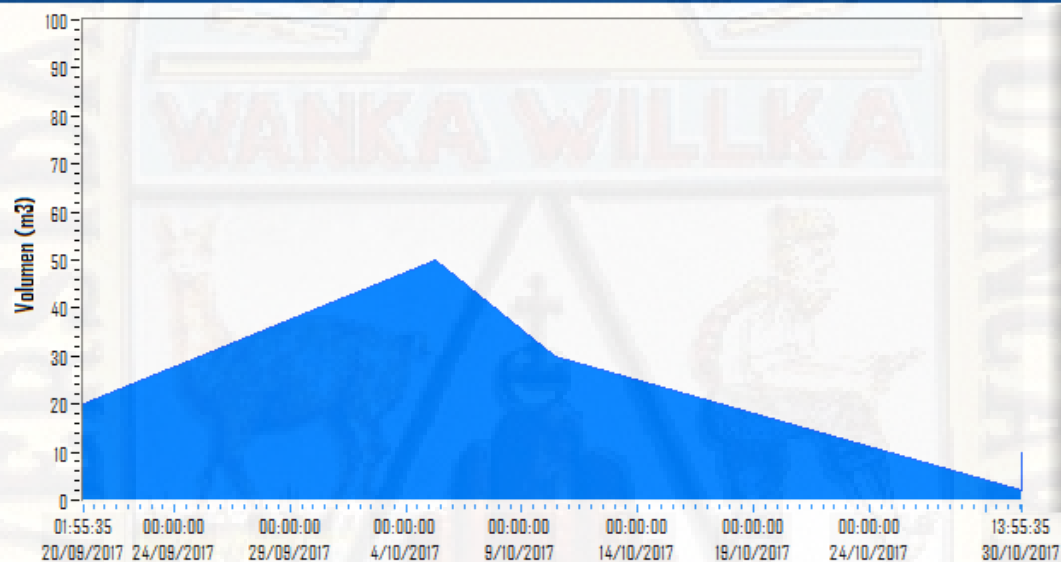
15:21:04

9/04/2018

Calcular

Disponibilidad

Hídrica en Reservorio



Máximo
50 m³

PROMEDIO
Disponibilidad Hídrica
en reservorio
2.23 m³

Mínimo
1.91 m³

Numero de Muestras

318



Salir

Foto 7. Interface para el cálculo de la disponibilidad hídrica en reservorios del valle de Pampas.



Foto 8. Prototipo de terminal del sistema SCADA implementado con sensor de nivel y GPS, para el cálculo de la disponibilidad hídrica en reservorios del valle de Pampas.



Foto 9. Instalación del prototipo del terminal de sistema SCADA con georreferenciación y sensor de nivel, para el cálculo de la disponibilidad hídrica en reservorio de la FIES.