

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN INFORMÁTICA**



**TESIS**

**DISEÑO DE PROTOTIPO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA  
MONITOREO DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE AGUAS  
SUBTERRÁNEAS EN LA CIUDAD DE JULIACA**

**PRESENTADA POR:**

**LUCIO QUISPE APAZA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGISTER SCIENTIAE EN INFORMÁTICA  
MENCIÓN EN GERENCIA DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y  
COMUNICACIONES**

**PUNO, PERÚ**

**2019**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INFORMÁTICA



TESIS

DISEÑO DE PROTOTIPO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA  
MONITOREO DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE AGUAS  
SUBTERRÁNEAS EN LA CIUDAD DE JULIACA

PRESENTADA POR:

LUCIO QUISPE APAZA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN INFORMÁTICA  
MENCIÓN EN GERENCIA DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y  
COMUNICACIONES

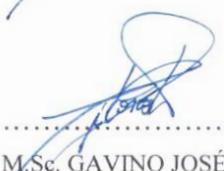
APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE



.....  
Dr. PEDRO BEJAR MUÑOZ

PRIMER MIEMBRO



.....  
M.Sc. GAVINO JOSÉ FLORES CHIPANA

SEGUNDO MIEMBRO



.....  
M.Sc. EDDY TORRES MAMANI

ASESOR DE TESIS



.....  
Dr. JORGE LUIS APAZA CRUZ

Puno, 19 de diciembre de 2019

ÁREA: Informática  
TEMA: Sistemas de Información

## DEDICATORIA

A mis queridos padres Jacinto y Rita Julia,  
quienes fueron fuente de inspiración para el  
desarrollo del siguiente proyecto.

A mis hermanos Salvador, Vilma, Raúl y  
Marianela, quienes me demostraron su apoyo  
incondicional en los momentos más difíciles  
de mi vida.

A mi amada Roxana y mi pequeño que está  
en camino.

A mis estimados docentes de la Maestría en  
Informática quienes a través de sus  
enseñanzas colaboraron para dar luz al  
presente trabajo de investigación.

En especial este trabajo se lo dedico a Dios.

## AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno por haberme formado e involucrado en el mundo de la investigación.
- A los señores miembros del Jurado Dr. Pedro Béjar Muñoz, M.Sc. Gavino Flores Chipana y M.Sc. Eddy Torres Mamani por haberme brindado su tiempo en las orientaciones y mejoras para el desarrollo del presente trabajo.
- A mi asesor el Dr. Jorge Luis Apaza Cruz, por sus aportes y su apoyo incondicional acompañándome para culminar este trabajo de investigación.
- A la Facultad de Ingeniería Estadística e Informática de la Universidad Nacional del Altiplano a la Maestría en Informática, y a los docentes, quienes, con su sabiduría y experiencia, me formaron en las líneas de la investigación de la ingeniería, especialmente a mis docentes de la Maestría en Informática, que me dejaron mucho, de su buen espíritu, muchas gracias.
- A la Facultad de Ingeniería Química, en especial a la Ingeniero Carmen Natalia Marón Mamani, por haberme facilitado sus experiencias en el campo de la instrumentación química en el manejo de aguas subterráneas.
- A la Facultad de Ingeniería de Minas, en especial al Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental.
- Por último, lo más importante, agradezco a Dios, por concederme salud e iluminarme con sabiduría, que me permiten seguir luchando y trabajando por la vida y por mi familia.

Puno, diciembre del 2019.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	ix
ABREVIATURAS.....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

#### REVISIÓN DE LA LITERATURA

1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Marco teórico .....	7
1.2.1 Sistema de información .....	7
1.2.1.1 Tipos de sistemas de información.....	7
1.2.1.2 Sistema de apoyo a decisiones.....	7
1.2.2 Aguas subterráneas .....	8
1.2.3 Parámetros de control obligatorio (PCO) para el consumo humano de agua. 8	8
1.2.4 Parámetros fisicoquímicos.....	9
1.2.4.1 Medición de aguas subterráneas .....	9
1.2.4.2 Potencial de Hidrógeno pH.....	9
1.2.4.3 Acidez .....	10
1.2.4.4 Alcalinidad.....	10
1.2.4.5 Turbidez .....	11
1.2.4.6 Temperatura .....	11
1.2.5 Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos .....	11
1.2.6 Parámetros de calidad .....	12
1.2.7 Sistemas y equipos .....	12
1.2.7.1 Software y Hardware libre.....	12
1.2.7.2 Arduino .....	12

	<b>Pág.</b>
1.2.7.3 Arduino Mega 2560 .....	12
1.2.7.4 Sensor de pH líquido con sonda electrodo hidropónico Bnc .....	13
1.2.7.5 Sensor de Turbidez .....	15
1.2.8 Método superficie de multirespuesta.....	16

## **CAPÍTULO II**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1 Identificación del problema .....	18
2.2 Preguntas del problema.....	19
2.2.1 Pregunta general .....	19
2.2.2 Preguntas específicas .....	19
2.3 Justificación .....	19
2.4 Hipótesis .....	19
2.4.1 Hipótesis general.....	19
2.4.2 Hipótesis específicas.....	19
2.5 Objetivos.....	20
2.5.1 Objetivo general.....	20
2.5.2 Objetivos específicos .....	20

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1 Tipo de investigación.....	21
3.2 Diseño de investigación .....	21
3.3 Ámbito o lugar de estudio.....	21
3.3.1 Localización.....	22
3.4 Población y muestra.....	23
3.4.1 Población .....	23
3.4.2 Muestra .....	23
3.5 Metodología .....	23
3.5.1 Métodos de Investigación .....	23
3.6 Materiales e instrumentos, técnicas e instrumentos de la investigación .....	24
3.6.1 Técnicas .....	25
3.6.2 Instrumentos.....	25
3.6.3 Técnicas a través de las cuales se obtuvieron la información.....	25

	<b>Pág.</b>
3.7 Variables .....	30
3.7.1 Selección de las Variables .....	30
3.8 Determinación del modelo estadístico: nivel de significancia y determinación del modelo de parámetros físico-químicos .....	30
3.9 Ingeniería del proyecto .....	31
3.9.1 Etapas para realizar el prototipo de sistema de información de parámetros físicoquímicos de aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca .....	31
3.9.2 Diseño del prototipo de Sistema de información de parámetros físicoquímicos de aguas subterráneas.....	32
3.9.3 Validación de Prototipo de Sistema de Información de Parámetros Físicoquímicos de Aguas Subterráneas .....	33
3.9.4 Selección de los puntos de recolección de datos .....	37

#### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1 Resultados .....	40
4.2 Discusión.....	50
CONCLUSIONES .....	54
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA. ....	56
ANEXOS .....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Anexo II. Límites Máximos Permisibles de Parámetros de Calidad Organoléptica .....	8
2. Anexo Categoría 1 - Sub Categoría A: Aguas Superficiales destinadas a la producción de agua potable .....	9
3. Especificaciones de sondas de prueba .....	14
4. Técnicas e instrumentos de la investigación .....	24
5. Parámetros físico-químicos que fueron estudiados por el prototipo de medición en la zona de estudio.....	28
6. Matriz de validación del sistema del prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos del agua .....	28
7. Resultados obtenidos de la calidad del agua de la zona de estudio entre los meses de octubre y noviembre del 2019.....	29
8. Validación del sistema del prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos del agua con Thermo Scientific Orion Versa Star Pro.....	41
9. Datos obtenidos de las muestras de agua subterránea de la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca .....	45
10. Resumen de las medidas de la tendencia central y dispersión, de pH, temperatura y turbidez .....	46
11. Criterio de potabilización según ubicación de los pozos artesianos .....	47
12. Resultados obtenidos del monitoreo de parámetros fisicoquímicos de la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca.....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Placa Arduino Mega 2560 .....	13
2. Sensor de pH líquido con sonda electrodo hidropónico Bnc.....	14
3. Sensor de Turbidez .....	15
4. Mapeo de la tensión de salida a la NTU según la temperatura diferente.....	16
5. Medición de variables de variables de respuesta .....	16
6. Metodología de Superficie de respuesta de la deseabilidad global .....	17
7. Ubicación de la zona de estudio. ....	22
8. Prototipo de Sistema de medición de parámetros físico-químicos de aguas subterráneas .....	26
9. Proceso de calibración de muestras para prototipo.....	27
10. Ubicación de las muestras de agua obtenidas en orden aleatorio .....	27
11. Ubicación de las muestras de agua obtenidas en orden aleatorio .....	29
12. Metodología de Superficie de respuesta de la deseabilidad global en función de pH, turbidez y temperatura .....	31
13. Bosquejo del Prototipo de Sistema de Información.....	32
14. Circuito electrónico del prototipo de medición de parámetros físicoquímicos del agua.....	33
15. Proceso de calibración de medidor de pH y temperatura referencial Thermo Scientific Orion Versa Star Pro. ....	34
16. Proceso de validación de medidor de turbidez referencial turbidímetro Wagtech WAG-WT3020 y prototipo de medición. ....	34
17. Prototipo de Sistema de Información para monitoreo de aguas subterráneas. ...	35
18. Realizando la calibración con el prototipo de sistema de información para monitoreo de aguas subterráneas en el Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas .....	35
19. Medición de parámetros físicoquímicos de pozo artesanal con anillos de concreto en la Urbanización Satélite, con prototipo desarrollado con Hardware y Software IDE arduino.....	36
20. Muestras obtenidas para medición de parámetros físicoquímicos de la Urbanización Satélite, con prototipo desarrollado con Hardware y Software IDE arduino. ....	36

	<b>Pág.</b>
21. Ubicación de lugares de medición de parámetros fisicoquímicos de pozos en campo.....	37
22. Muestra previa de resultados de medición de la Temperatura vistas desde el usuario.....	38
23. Muestra de resultados de medición de la Turbidez vistas desde el usuario.....	38
24. Muestra de resultados de medición del pH vistas desde el usuario. ....	39
25. Validación de pH del sistema de prototipo de medición de parámetros físico-químicos con medidor de sobremesa Thermo Scientific Orion Versastar Pro. .	42
26. Validación de la temperatura en °C del sistema de prototipo de medición de parámetros físico-químicos con medidor de sobremesa Thermo Scientific Orion Versastar Pro.....	43
27. Validación de la turbiedad en NTU del sistema de prototipo de medición de parámetros físico-químicos con medidor turbidímetro de Wagtech WAG – WT3020 – 476721. ....	44
28. Comportamiento del pH en la urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca. ....	47
29. Comportamiento de la temperatura en °C de las aguas subterráneas de la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca, Elaborado por el autor con software geotécnico Surfer ® 14.0.599. ....	48
30. Comportamiento de la turbidez en NTU de las aguas subterráneas de la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca, Elaborado por el autor con software geotécnico Surfer ® 14.0.599. ....	49

**ÍNDICE DE ANEXOS**

	<b>Pág.</b>
1. Resultados de monitoreo de parámetros físicoquímicos.....	62
2. Código Fuente de prototipo de medición de parámetros físicoquímicos del agua. .....	63

**ABREVIATURAS**

<b>Sigla</b>	<b>Denominación</b>
ACP	Análisis de componentes principales
ANA	Autoridad Nacional del Agua
DBO <sub>5</sub>	demanda biológica de oxígeno
DQO	demanda química de oxígeno
ECA	Estándar de calidad ambiental
H <sub>2</sub> O	Agua
LMP	Límites máximos permisibles
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINAGRI	Ministerio de Agricultura
MINSA	Ministerio de Salud
MSMR	Modelo superficie de multirespuesta
NTU	Unidad nefelométrica de turbidez
OD	Oxígeno disuelto
PCO	Parámetros de control obligatorio
pH	Potencial de hidrógeno
PWM	Modulación por ancho de pulso
SI	Sistema de información
SST	Sólidos suspendidos totales
USB	Bus universal en serie

## RESUMEN

En la ciudad de Juliaca el uso de aguas subterráneas de forma masiva para el consumo humano, sin la autorización de las entidades correspondientes, desconociendo la calidad del agua. Por ello el propósito de la investigación fue de diseñar un prototipo de sistema de información para monitorear parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca, por lo que se desarrolló un prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos del agua, en distintos pozos, los cuales han sido monitoreados en un visualizador web, la colecta de datos que se consideró, fueron los parámetros fisicoquímicos de pH, turbidez y temperatura de aguas subterráneas en pozos de la urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca, con su correspondiente normativa de medición; la metodología de investigación es aplicada y las técnicas usando ciencias básicas, utilizando microcontroladores Arduino, sensores de pH, turbidez y temperatura, un sistema de servidor implementado con Apache, como herramienta de investigación se empleó el software IDE Arduino y processing, e instrumentos los distintos sensores, para la recolección de datos se validó el prototipo comparándolo con medidores de precisión y su respectiva calibración, el monitoreo se realizó durante 8 semanas de los meses de octubre y noviembre del 2019; los resultados de los parámetros fisicoquímicos muestran que las aguas subterráneas de la urbanización Satélite presentan valores de pH entre 6.65 a 7.65, turbidez entre 0.99 a 52.5 NTU y temperatura entre 14.78 a 15.86 °C, en conclusión las aguas en la zona de estudio para su potabilización requiere de desinfección y tratamiento convencional.

**Palabras clave:** Aguas subterráneas, IDE arduino y processing, Juliaca, parámetros fisicoquímicos, prototipo, sistema de información, servidor Apache.

## ABSTRACT

In the Juliaca city the use of groundwater massively for human consumption, without the authorization of the corresponding entities, ignoring water quality. Therefore, the purpose of the research was to design a prototype information system to monitor physicochemical parameters of groundwater in the Juliaca city, so a prototype for measuring physicochemical parameters of water was developed in different wells, which have been monitored in a web viewer, the data collection that was considered, were the physicochemical parameters of pH, turbidity and temperature of groundwater in wells of the Satélite urbanization of the Juliaca city, with its corresponding measurement regulations; the research methodology is applied and the techniques using basic sciences, using Arduino microcontrollers, pH sensors, turbidity and temperature, a server system implemented with Apache, as a research tool the IDE Arduino and processing software was used, and the different instruments sensors, for the data collection the prototype was validated by comparing it with precision meters and their respective calibration, the monitoring was carried out during 8 weeks of the months from october to november of 2019; the results of the physicochemical parameters show that the groundwater of the Satélite urbanization has pH values between 6.65 to 7.65, turbidity between 0.99 to 52.5 NTU and temperature between 14.78 to 15.86 ° C; in conclusion, the water in the study area for its purification requires disinfection and conventional treatment.

**Keywords:** Apache server, Arduino IDE and processing, groundwater, information system, Juliaca, physicochemical parameters, prototype.

## INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Juliaca se consume aguas subterráneas de forma masiva, sin la autorización de las entidades correspondientes como la Autoridad Nacional de Agua, debido al crecimiento demográfico se ha proliferado la autoconstrucción de pozos para extracción de agua subterránea. Por ello el propósito de este trabajo de investigación fue de diseñar un prototipo de sistema de información para monitoreo de los parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca, por lo que se desarrolló un prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos de agua en pozos, en un visualizador web, la colecta de datos que se consideraron fueron los parámetros fisicoquímicos de pH, turbidez y temperatura de aguas subterráneas en pozos de la urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca, con su correspondiente normativa de medición; la metodología de investigación es aplicada y las técnicas usando ciencias básicas, basándose el análisis de microcontroladores Arduino, sensores de pH, turbidez y temperatura, un sistema de servidor implementado con Apache, como instrumento de investigación se empleó el software IDE Arduino y processing, se validó el prototipo comparándolo con medidores de precisión y su respectiva calibración, el monitoreo se realizó durante 8 semanas de los meses de octubre y noviembre del 2019; los resultados de los parámetros fisicoquímicos muestran que las aguas subterráneas de la Urbanización Satélite presentan valores de pH entre 6.65 a 7.65, turbidez entre 0.99 a 52.5 NTU y temperatura entre 14.78 a 15.86 °C, en conclusión las aguas en la zona de estudio son ácidas y básicas con una leve tendencia a neutro, y para su potabilización requiere de desinfección y tratamiento convencional.

En la ciudad de Juliaca se consume aguas subterráneas de forma masiva, sin la autorización de las entidades correspondientes como la Autoridad Nacional de Agua, debido al crecimiento demográfico se ha proliferado la autoconstrucción de pozos para extracción de agua subterránea. Por ello el propósito de este trabajo de investigación fue de diseñar un prototipo de sistema de información para monitoreo de los parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca, por lo que se desarrolló un prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos de agua en pozos, en un visualizador web, la colecta de datos que se consideraron fueron los parámetros fisicoquímicos de pH, turbidez y temperatura de aguas subterráneas en pozos de la urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca, con su correspondiente normativa de medición, Este trabajo se desarrolló en cuatro capítulos que se detalla a continuación:

Capítulo I, en este capítulo se desarrolla los antecedentes de estudio y el marco teórico, abarcando distintas técnicas descriptivas y predictivas de prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas más usadas en los últimos tiempos.

Capítulo II, se ha considerado la problemática de investigación, permitiéndonos verificar los problemas que atraviesa la ciudad de Juliaca en cuanto al aprovisionamiento de agua potable, así también en este capítulo se consideró los objetivos del presente estudio.

Capítulo III, se detalla los materiales y métodos utilizados, el lugar de estudio, la población y el método de investigación.

Capítulo IV, se presenta los resultados obtenidos luego de aplicar el prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos, estos resultados se presentan en forma de gráficos de barra.

Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo de investigación, recomendaciones, bibliografía y anexos.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 1.1 Antecedentes.

En la mayoría de los casos las variables más empleadas para la valoración físico-química del agua a partir de indicadores son el potencial de hidrógeno (pH), Óxígeno disuelto (OD), demanda biológica de oxígeno ( $DBO_5$ ), una especie de nitrógeno como nitratos o amonio, fósforo total y sólidos suspendidos totales. La demanda química de oxígeno (DQO) se ha limitado a pesar que es una variable más amplia para evaluar la contaminación de origen orgánico e inorgánico, además el uso de esta variable amplía la gama de usos de ciertos indicadores (Samboni, Carvajal, & Escobar, 2007).

Los métodos biológicos y fisicoquímicos son complementarios en los procesos de evaluación de la calidad de las aguas, pues así como los reflejan diferentes alteraciones en el ecosistema, también los segundos presentan una serie de ventajas que tienen que ver con la precisión y determinación de cuáles son las sustancias contaminantes, cuantificación de las mismas y posibles soluciones (Hahn, Toro, Grajales, Duque, & Serna, 2009).

Es difícil obtener un agua absolutamente pura, debido a que es un buen solvente. La misma agua destilada de altísima calidad tiene algunas sustancias químicas disueltas en ella, la más frecuente es la sal. Esas impurezas, incluso en concentraciones muy bajas, permiten al agua conducir electricidad mucho mejor, ya que impurezas como la sal se separan en iones libres en ella, a través de la cual la corriente eléctrica puede fluir (Rodríguez, 2009).

El parámetro de oxígeno disuelto presentó el índice de calidad más bajo seguido de Fosfatos y el pH el más alto con al igual que DBO con valor de 64. Los índices de calidad se constituyen en indicadores de contaminación para el río Chumbao, como un

instrumento que permite la identificación del deterioro o mejora de un cuerpo de agua. En general, el gradiente de las características hidrológicas, físicas, químicas y biológicas registradas evidencian un serio deterioro ambiental del río Chumbao por contaminación (Torres, 2016).

Se elaboró un protocolo para interpretar la información recopilada en campo de los parámetros fisicoquímicos a partir del análisis de correlación múltiple de Spearman con el fin de evaluar la interdependencia entre pH, turbiedad y temperatura, el porcentaje de espejo de agua y la riqueza total de aves acuáticas. Este se constituye en un avance importante para futuras investigaciones que requieran la utilización del dispositivo y de esta forma garantizar su correcto funcionamiento y la confiabilidad en los datos (Perez & Rodriguez, 2016).

En los estanques de agua dulce para cultivo de tilapia, especialmente en su etapa de engorde, se presenta un alto índice de mortalidad de peces. Debido a lo anterior, fue diseñado e implementado un prototipo electrónico para monitorear los parámetros físico-químicos como temperatura y oxígeno disuelto del agua, con el fin de identificar los momentos críticos del cultivo. El prototipo cuenta con un sistema de adecuación de las señales para los sensores, las cuales llegan al microprocesador ATMEGA 328P, que realiza el proceso de adquisición y conversión de datos análogos a digitales para su procesamiento y almacenamiento en una memoria microSD. A través del módulo Bluetooth HC-05, estos datos son enviados a la interfaz gráfica soportada en una aplicación móvil, en donde el usuario puede visualizar el comportamiento de las variables en el cultivo. El sistema es alimentado por medio de paneles solares y presenta porcentajes de error bajo comparados con patrones estándar, por lo que se considera una herramienta electrónica de monitoreo confiable. Con este sistema se espera contribuir a la disminución de índices de mortalidad de la tilapia, debido a cambios bruscos de temperatura y oxígeno disuelto que se presentan diariamente en los estanques; además, los resultados encontrados muestran una disminución en la concentración de oxígeno disuelto que podría ser objeto de estudio posterior (Dussán, Vanegas, Chavarro, & Molina, 2016).

El uso de instrumentos contemporáneos para monitorear los niveles de agua subterránea y la conductividad eléctrica específica en una pequeña cuenca de irrigación. Si bien la instalación de los instrumentos y el procesamiento posterior de los datos es una tarea altamente calificada (Bhatti, Anwar, & Aslam, 2017).

Para identificar nuevos lugares de muestreo, se utilizó una nueva metodología que contenía un patrón de cuadrícula hexagonal regular en áreas de monitoreo con altos niveles de prioridad, así como el polígono de Thiessen en áreas de monitoreo con bajos niveles de prioridad. A continuación, para cubrir diversas configuraciones de red, se generaron grillas hexagonales regulares y polígonos de Thiessen de diferentes tamaños y se utilizó una medida apropiada, que es la varianza de error de estimación total del modelo de simulación de kriging, para seleccionar el patrón mejor combinado (Hosseini & Kerachian, 2017).

La consecuencia de someter a cocción el agua con propósito de eliminar contaminación bacteriológica es insolubilizar sales muy solubles a temperatura ambiente, esta concentración de sales insolubles proporciona un aspecto muy turbio al agua cuando se le agita, son los bicarbonatos que han tomado la forma de carbonatos de calcio y magnesio, el trabajo de separación de sólidos filtrables se complementa con el aporte de una capa de carbón activado depositado sobre la placa cerámica a fin de eliminar colorantes, sabores y olores que pudieran haber en el agua, en este caso la velocidad del líquido filtrado es muy lenta en forma de goteo (Vélez, 2017).

Los parámetros físicos de las aguas del río Coata, de la región Puno, fueron: temperatura entre 12,34 °C y 12,94 °C; conductividad eléctrica entre 1112  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 1120  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sólidos disueltos totales 553 mg/L y 562 mg/L; el promedio de temperatura 12,34 °C; conductividad eléctrica 1118.40  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sólidos disueltos totales 562 mg/L. Las concentraciones halladas de los parámetros físicos no superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) establecido en el D.S. 002-2008-MINEM, para dichos parámetros en tal sentido se rechaza la hipótesis específica para los parámetros físicos evaluados. Los parámetros químicos de las aguas del río Coata, de la región Puno, fueron: zona A; pH es entre 7,48 y 7.53; sulfatos entre 73,46 mg/L y 75,61 mg/L; nitratos entre 0,09 mg/L y 0,13 mg/L; y demanda bioquímica de oxígeno entre 21,37 mg/L y 30,92 mg/L. La demanda bioquímica de oxígeno excede el nivel de concentración establecido por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) (Menendez, 2018).

Los puntos monitoreados de la Cuenca Llallimayo, los parámetros físicos Oxígeno Disuelto y pH superan los estándares de calidad ambiental (ECAS) Agua, así mismo los Parámetros Químicos Aluminio (Al), Cobre (Cu), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn), exceden los ECA-agua de la Categoría 3, lo que Indica que las aguas de la Cuenca

Llallimayo se encuentran afectadas por contaminación, siendo no aptos para consumo Humano, bebida de animales y riego de vegetales de tallo alto y bajo (Dalens, 2018).

Los resultados obtenidos del análisis de aguas superficiales evidenciaron que la gran parte de parámetros físico químicos se encuentran por debajo de los límites establecidos en la normativa peruana según el sector al que pertenecen (estándares de calidad ambiental para agua – categoría III, reglamento para el agua de consumo, límites máximos permisibles para efluente doméstico). Las concentraciones de fosfatos ( $>1,0$  mg/L) y arsénico ( $>0,1$  mg/L) fueron los únicos parámetros que registraron valores por encima del Estándar de calidad ambiental (ECA) (Mendoza, 2018).

La calidad de agua obtenida a partir de pozos artesianos de los alrededores de la ciudad de Juliaca, estableciendo fundamentalmente las características físico químicas y microbiológicas de muestras de agua obtenidas a partir de 10 pozos, los valores de los análisis realizados para los parámetros físicos químicos y microbiológicos fueron realizados en los laboratorios de la Universidad Nacional del Altiplano dichos resultados fueron comparados con el reglamento de calidad de agua para consumo humano. DS-031-2010-SA. Se concluye que ninguno de los pozos artesianos tiene agua apta para el consumo humano. Luego de la evaluación de riesgos ambientales se tiene que el escenario de consumo de agua con contaminación fecal en las fuentes de agua, que alcanza el nivel de riesgo muy alto que llega a 240 Colif./100mL en coliformes fecales, mientras que los escenarios de consumo de agua con elevado contenido de dureza está llegando a 1128mg/L, elevada cantidad de sulfatos de 338.40mg/L, finalmente el escenario consumo de agua con elevada cantidad de cloruros de 511.84mg/L lo que presenta un riesgo ambiental medio (Tacuri, 2019).

El estudio tuvo por objetivo conocer la relación de los parámetros físicos y químicos en la pesquería del río Ucayali (Perú) entre los años 2005 al 2015. A partir de una base de datos generada con los registros de parámetros fisicoquímicos del agua y volúmenes de desembarque del alto, medio y bajo Ucayali, información proporcionada por la Direcciones Regional de Salud y de la Producción de Loreto y Ucayali. Luego, se hizo el análisis descriptivo, inferencial y relación (correlación y análisis de componentes principales – ACP). Los resultados muestran que los desembarques estuvieron compuestos por 64 especies, del cual, el 76.56% fueron especies pequeñas. Asimismo, el desembarque anual fue de 8 019.87 t, con registros diferentes en cada tramo ( $P < 0.05$ ), y

solo la temperatura estuvo asociado con la disminución de los desembarques en el tramo alto del río Ucayali (Del Águila, 2019).

## 1.2 Marco teórico

### 1.2.1 Sistema de información

Los SI utilizan equipos de cómputo, bases de datos, software, procedimientos, modelos para el análisis y procesos administrativos para la toma de decisiones. Tradicionalmente, los SI se diseñan dentro de cada área funcional, con el fin de apoyar e incrementar su eficiencia y eficacia operativa, y se caracterizan por estar compuestos por sistemas más pequeños y con la capacidad de funcionar de manera integrada o totalmente independiente; además, si se logran relacionar entre sí, consiguen formar el SI de toda la organización, por lo tanto, un SI se puede definir como el conjunto de elementos orientados al tratamiento, administración y diseminación de datos e información, organizados y listos para su uso posterior, generados para cubrir una necesidad en una organización (Abrego, Sánchez, & Medina, 2016).

#### 1.2.1.1 Tipos de sistemas de información

Según (Ramirez & Vega, 2015) Existen 6 tipos de Sistemas de Información:

- A. Sistemas de procesamiento de transacciones
- B. Sistemas de información gerencial
- C. Sistema de apoyo a decisiones
- D. Sistemas expertos e inteligencia artificial
- E. Sistemas de apoyo a decisiones de grupo
- F. Sistemas de información a ejecutivos

De los cuales vamos a desarrollar el sistema de apoyo a decisiones por ser el tipo de sistema seleccionado para el presente trabajo de investigación.

#### 1.2.1.2 Sistema de apoyo a decisiones

Un sistema de apoyo de decisiones es una de varias formas de establecer un sistema de información para una tarea clave administrativa o de organización; ciertamente, un sistema de apoyo de decisiones está realizado para una tarea administrativa o un problema específico y su uso se limita a dicho problema o tarea. Los sistemas de apoyo de decisiones suelen ser diseñados especialmente

para servir a los administradores en cualquier nivel de la organización (Ramirez & Vega, 2015).

### 1.2.2 Aguas subterráneas

La mayor parte del agua subterránea se origina del agua de lluvia infiltrada hasta los acuíferos, después de fluir a través del subsuelo. Las aguas subterráneas se pueden captar a partir de nacientes, pozos, galerías filtrantes y manantiales, en la mayoría de los casos el agua que proviene de este tipo de fuentes se encuentra libre y protegida de contaminantes, esto debido a que a pesar de que durante la infiltración el agua carga impurezas (partículas orgánicas, inorgánicas, microorganismos, pesticidas entre otros), durante su recorrido por el subsuelo mejora significativamente su calidad, las partículas suspendidas y microorganismos se retienen por filtración natural y las sustancias orgánicas se degradan por oxidación. Por este motivo se dice que estas aguas son de buena calidad, no obstante, siempre es preferible la desinfección como barrera de seguridad para prevenir contaminación durante el manejo del agua (Hernandez, 2016).

### 1.2.3 Parámetros de control obligatorio (PCO) para el consumo humano de agua

Son parámetros de control obligatorio para todos los proveedores de agua, los siguientes: Coliformes totales, Coliformes termotolerantes, Color, Turbiedad, Residual de desinfectante y pH. En caso de resultar positiva la prueba de coliformes termotolerantes, el proveedor debe realizar el análisis de bacterias *Escherichia coli*, como prueba confirmativa de la contaminación fecal (Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud Lima – Perú, 2010).

Tabla 1

#### *Anexo II. Límites Máximos Permisibles de Parámetros de Calidad Organoléptica*

Número	Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1	Turbiedad	UNT	5
2	pH	Valor de pH	6.5 a 8.5

UNT (unidad nefelométrica de turbiedad)

Fuente: Adaptado de (Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud Lima – Perú, 2010)

Tabla 2

*Anexo Categoría 1 - Sub Categoría A: Aguas Superficiales destinadas a la producción de agua potable*

Parámetros	Unidad de medida	A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	A2 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	A3 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
<b>FÍSICO - QUÍMICOS</b>				
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.5	5.5 – 9.0	5.5 – 9.0
Temperatura	°C	Δ3	Δ3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 1:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Fuente: Adaptado de (Ministerio de Agricultura y Riego; Ministerio del Ambiente; Ministerio de Energía y Minas; Ministerio de la Producción; Ministerio de Salud; Ministerio de Vivienda, 2017)

## 1.2.4 Parámetros fisicoquímicos

### 1.2.4.1 Medición de aguas subterráneas

La medición del nivel del agua subterránea se utiliza para monitorear el recurso de agua subterránea, donde está, cuánto volumen contiene y en qué profundidad se encuentra. Las fluctuaciones del nivel del agua subterránea sirven como un indicador del volumen de agua en el sistema de aguas subterráneas (Bhatti *et al.*, 2017).

### 1.2.4.2 Potencial de Hidrógeno pH

El pH es la medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. El valor en el agua es un indicador que determina la acidez o no acidez, como la basicidad (mayor a 8.5) o alcalinidad (menor a 6.5) del agua, los valores dentro del rango son neutras calculando el número iones hidrogeno; el pH no mide el

valor de la acidez o alcalinidad sino que la determinación de su valor en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o su alcalinidad. El ECA (Estándar de calidad ambiental) determina que el pH debe estar entre 6.5 a 8.5 unidades, recomendado por la OMS (Escobar, 2019).

#### **1.2.4.3 Acidez**

La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa para reaccionar con una base fuerte a un pH designado. El valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final utilizado en la determinación. La acidez es una medida de una propiedad agregada del agua y puede interpretarse en términos de sustancias específicas solo cuando se conoce la composición química de la muestra. Los ácidos minerales fuertes, ácidos débiles como los carbónicos y acéticos, y las sales hidrolizantes, como los sulfatos de hierro o aluminio, pueden contribuir a la acidez medida según el método de determinación. Los ácidos contribuyen a la corrosión e influyen en las velocidades de reacción química, la especiación química y los procesos biológicos. La medición también refleja un cambio en la calidad de la fuente (Association, Association, & Federation, 1999).

#### **1.2.4.4 Alcalinidad**

La alcalinidad es una medida de una propiedad agregada del agua y puede interpretarse en términos de sustancias específicas solo cuando se conoce la composición química de la muestra. La alcalinidad es significativa en muchos usos y tratamientos de aguas naturales y aguas residuales. Debido a que la alcalinidad de muchas aguas superficiales es principalmente una función del contenido de carbonato, bicarbonato e hidróxido, se toma como una indicación de la concentración de estos constituyentes. Los valores medidos también pueden incluir contribuciones de boratos, fosfatos, silicatos u otras bases si están presentes. La alcalinidad en exceso de las concentraciones de metales alcalinotérreos es importante para determinar la idoneidad de un agua para el riego. Las mediciones de alcalinidad se utilizan en la interpretación y el control de los procesos de tratamiento de agua y aguas residuales. Las aguas residuales domésticas crudas tienen una alcalinidad menor, o solo ligeramente mayor, que la del suministro de agua. Los digestores anaeróbicos que funcionan correctamente

suelen tener alcalinidades sobrenadantes en el rango de 2000 a 4000 mg de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) / L (Association *et al.*, 1999).

#### **1.2.4.5 Turbidez**

La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que hace que la luz se disperse y absorba en lugar de transmitirse sin cambios en la dirección o el nivel de flujo a través de la muestra. La correlación de la turbidez con el peso o la concentración del número de partículas de la materia suspendida es difícil porque el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas afectan las propiedades de dispersión de la luz de la suspensión. Cuando están presentes en concentraciones significativas, las partículas que consisten en materiales que absorben la luz, como el carbón activado, causan una interferencia negativa. En bajas concentraciones, estas partículas tienden a tener una influencia positiva porque contribuyen a la turbidez. La presencia de sustancias disueltas que causan color y que absorben la luz puede causar una interferencia negativa. Algunos instrumentos comerciales pueden tener la capacidad de corregir una leve interferencia de color o de apagar ópticamente el efecto de color (Association *et al.*, 1999).

#### **1.2.4.6 Temperatura**

La temperatura es un indicador de la calidad del agua, influye al comportamiento de los otros indicadores de calidad. La relación entre la altura de una zona geográfica, estacionalidad y la temperatura en condiciones normales varía la estructura de la comunidad acuática, donde un río o lago con adecuada auto-depuración puede registrar mejora de calidad en zonas más bajas pese a la influencia de una contaminación (Crichigno *et al.*, 2017).

### **1.2.5 Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos**

Proceso que permite obtener la medición de la calidad de los cuerpos naturales del agua con el objetivo de realizar el seguimiento y control de la exposición de los contaminantes y su afectación a los diferentes usos de agua y a los ecosistemas acuáticos (Autoridad Nacional del Agua, 2016).

### 1.2.6 Parámetros de calidad

Compuestos, elementos, sustancias, indicadores y propiedades físicas, químicas y biológicas de interés para la determinación de la calidad del agua (Autoridad Nacional del Agua, 2016).

### 1.2.7 Sistemas y equipos

#### 1.2.7.1 Software y Hardware libre

Software de código abierto, hardware libre o electrónica libre. dispositivos de hardware cuyas especificaciones y diagramas esquemáticos son de acceso público, ya sea bajo algún tipo de pago, o de forma gratuita. La filosofía del software libre es aplicable a la del hardware libre, una forma de otorgar una licencia para su uso y modificación (Apaza, 2017).

#### 1.2.7.2 Arduino

Arduino es una plataforma de prototipado ‘open-source’, basada en una placa con un microcontrolador. Las placas Arduino son capaces de leer y escribir puertos (luz en un sensor, presión sobre un botón...), activar un motor, encender un LED... todo ello definido en un conjunto de instrucciones programadas a través de su entorno de desarrollo (Lastra, 2015). Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Está dirigido a cualquiera que realice proyectos interactivos (Instituto de Diseño de Interacción Ivrea, 2019).

#### 1.2.7.3 Arduino Mega 2560

El Arduino Mega 2560 es un tablero de microcontrolador basado en el ATmega2560. Cuenta con 54 pines de entrada / salida digital (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable USB o enciéndalo con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar. El tablero Mega 2560 es compatible con la mayoría de los

escudos diseñados para el Uno y los tableros anteriores Duemilanove o Diecimila (Instituto de Diseño de Interacción Ivrea, 2019).



*Figura 1.* Placa Arduino Mega 2560

Fuente: (Instituto de Diseño de Interacción Ivrea, 2019)

#### **1.2.7.4 Sensor de pH líquido con sonda electrodo hidropónico Bnc**

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución, la escala de pH varía de 0 a 14. El pH indica la concentración de iones hidrógeno  $[H]^+$  presentes en determinadas disoluciones. Se puede cuantificar de forma precisa mediante un sensor que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno. Esto es lo que formará la sonda. Además hay que utilizar un circuito electrónico para acondicionar la señal adecuadamente y que podamos usar este sensor con un microcontrolador, como por ejemplo con Arduino (Scidle Science and technology, n.d.).

Tabla 3  
Especificaciones de sondas de prueba

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

Fuente: (Scidle Science and technology, n.d.)



Figura 2. Sensor de pH líquido con sonda electrodo hidropónico Bnc

Fuente: (Scidle Science and technology, n.d.)

### 1.2.7.5 Sensor de Turbidez

El sensor de turbidez por gravedad arduino detecta la calidad del agua midiendo los niveles de turbidez. Utiliza la luz para detectar partículas suspendidas en el agua al medir la transmitancia de la luz y la velocidad de dispersión, que cambia con la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) en el agua. A medida que aumenta el SST, aumenta el nivel de turbidez del líquido. Los sensores de turbidez se utilizan para medir la calidad del agua en ríos y arroyos, mediciones de aguas residuales y efluentes, instrumentación de control para estanques de sedimentación, investigación de transporte de sedimentos y mediciones de laboratorio. Este sensor de líquido proporciona modos de salida de señal analógica y digital. El umbral es ajustable cuando está en modo de señal digital. Puede seleccionar el modo de acuerdo con su MCU (DFRobot Electronic, 2018). La turbidez es una de las propiedades ópticas de un líquido, ocasionado por la presencia, naturaleza y concentración de partículas discretas, no disueltas, de material distinto al propio líquido. Hay cuatro causas principales para la turbidez en las aguas públicas:

- Presencia de fitoplancton y/o crecimiento de algas.
- Presencia de sedimentos procedentes de la erosión.
- Presencia de sedimentos removidos del fondo, generalmente por peces.
- Descarga de efluentes, básicamente escorrentías urbanas o industriales (Rivas, 2010).

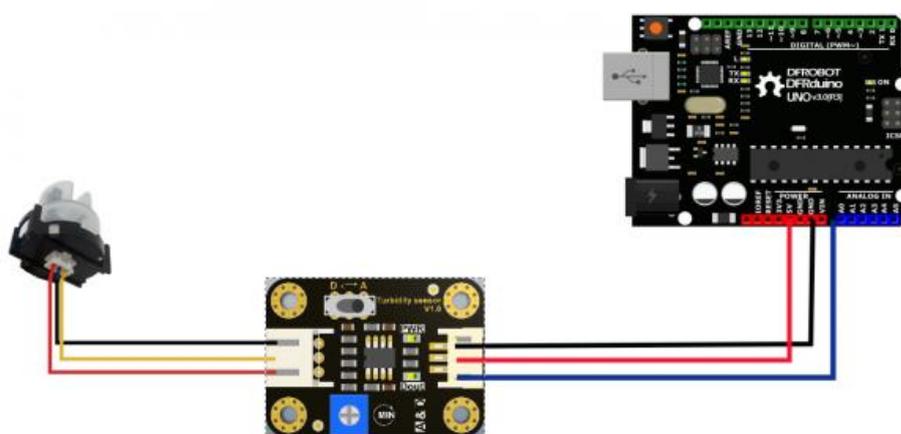


Figura 3. Sensor de Turbidez

Fuente: (DFRobot Electronic, 2018)

Este es un cuadro de referencia para el mapeo de la tensión de salida a la NTU según la temperatura diferente. p.ej. Si deja el sensor en el agua pura, es decir, NTU <0.5, debe emitir "4.1 ± 0.3V" cuando la temperatura es 10 ~ 50 °C.

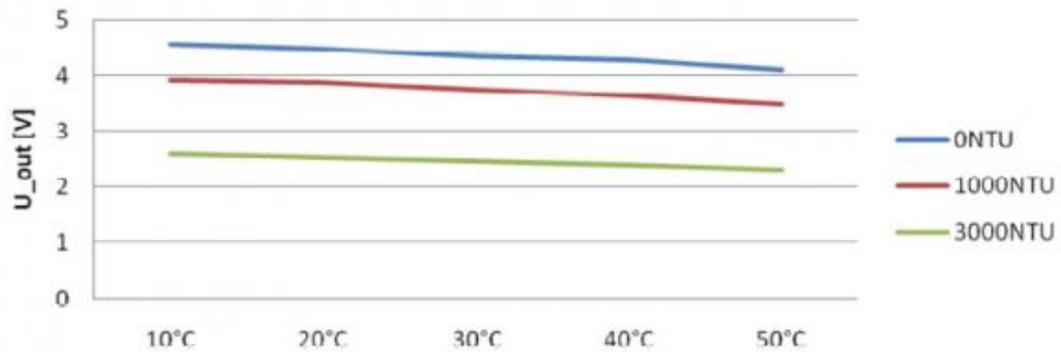


Figura 4. Mapeo de la tensión de salida a la NTU según la temperatura diferente

Fuente: (DFRobot Electronic, 2018)

### 1.2.8 Método superficie de multirespuesta

Cuando se tiene más de una variable de respuestas surge el análisis de varias respuestas, por lo que el investigador puede medir más de una variable de respuesta (Ibañez, 2009; Montgomery, 2013), la superficie de respuesta es la representación geométrica de la función objetivo o modelo matemático (Ibañez, 2009), es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas utilizadas para modelar y analizar simultáneamente las variables de respuesta ( $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_4$ ), logrando determinar las condiciones óptimas de operación de sistema.

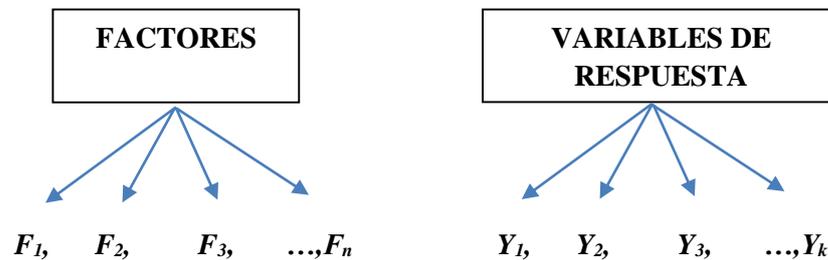


Figura 5. Medición de variables de variables de respuesta

Fuente: (Ibañez, 2009).

$$(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_K) = f(F_1, F_2, F_3, \dots, F_n)$$

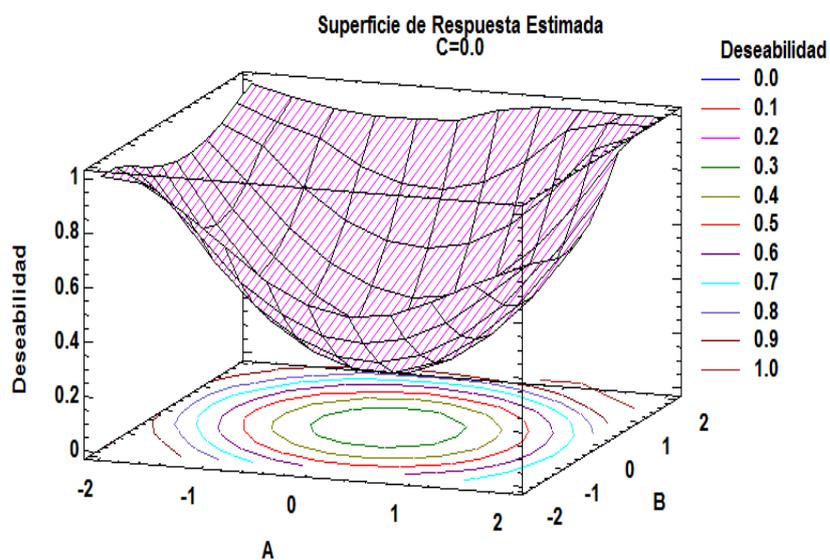


Figura 6. Metodología de Superficie de respuesta de la deseabilidad global

Fuente: (Ibañez, 2009).

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

La presente investigación nace a partir de que en la ciudad de Juliaca se viene realizando el consumo de aguas subterráneas masivamente, sin la autorización de las entidades correspondientes como la Autoridad Nacional del Agua, es en la ciudad de Juliaca donde se ha proliferado la autoconstrucción de pozos de extracción de agua ilegalmente debido al crecimiento demográfico acelerado, la calidad del agua en gran medida es desconocido por el usuario.

La zona de estudio es en la ciudad de Juliaca, donde el crecimiento demográfico es acelerado, debido a que la obtención del agua subterránea es relativamente de fácil acceso puesto que el poblador construye pozos artesanales al interior de su propiedad ante la carencia del servicio de agua potable por parte de SEDAJULIACA, lo cual se pretende monitorear con el presente trabajo de investigación.

En este contexto la investigación que realizaré propone diseñar un prototipo de sistema de información para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca, lo que se realizará a través de la recolección de información de pozos de observación en veinte viviendas de la ubicadas en urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca provincia de San Román región Puno, las cuales serán enviadas vía red inalámbrica y procesadas en un computador. Por ende, el problema se enuncia mediante la siguiente pregunta general y específicos:

## 2.2 Preguntas del problema

### 2.2.1 Pregunta general

¿Es posible diseñar un prototipo de sistema de información para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca?

### 2.2.2 Preguntas específicas

- ¿El diseño de un prototipo de sistema de información permitirá la medición de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas?
- ¿El sistema de información del prototipo para medición de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas posibilitará el monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca?

## 2.3 Justificación

El presente trabajo se realiza con el fin de dar una solución particular al tema de monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca.

## 2.4 Hipótesis

### 2.4.1 Hipótesis general

El diseño de un prototipo de sistema de información influirá directamente en el monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca.

### 2.4.2 Hipótesis específicas

- El diseño de un prototipo de sistema de información permite la medición de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas.
- El sistema de información del prototipo para medición de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas posibilita el monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca.

## 2.5 Objetivos

### 2.5.1 Objetivo general

Diseñar un prototipo de sistema de información para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca.

### 2.5.2 Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo para medición de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas.
- Realizar el monitoreo utilizando el sistema de información del prototipo para medición de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Tipo de investigación

Por el propósito del estudio realizado corresponde al tipo de investigación experimental (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010). las investigaciones experimentales se caracterizan porque los resultados son reales y recogen datos como se presentan en la realidad.

#### 3.2 Diseño de investigación

El diseño es experimental (Hernández *et al.*, 2010), proceso que consistió en Diseñar un prototipo de sistema de información para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas, en el que se realizó la medición digital a través de un prototipo desarrollado con herramientas electrónicas e informáticas de los parámetros fisicoquímicos del agua (pH, Turbidez y Temperatura) obtenidos en campo similares a los protocolos que recomienda la (Autoridad Nacional del Agua, 2016). En pozos de agua para consumo humano en la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca, datos recolectados a un Sistema de información intranet visualizado en varios computadores, porque se diseñó un prototipo de sistema de información, para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas de bajo costo, analizando el método más óptimo para el mejor aprovechamiento del hardware y software libre.

#### 3.3 Ámbito o lugar de estudio

La zona de estudio es la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca, Distrito de Juliaca provincia de San Román, Región Puno. Ubicado a 5 km del centro de la ciudad de Juliaca.

Geográficamente, se encuentra ubicado en la meseta de los Andes del Sur de Perú, aproximadamente entre los 3 824 y los 3 830 m de altitud.

### 3.3.1 Localización

#### Ubicación Política

País : Perú

Región : Puno

Provincia : San Román

Distrito : Juliaca

#### Ubicación Geográfica

El estudio se realizó entre las siguientes coordenadas UTM

PUNTO	ESTE	NORTE	ALTITUD
C-1	380355.00	8282289.00	3830 msnm
C-2	379416.00	8281903.00	3831 msnm
C-3	379642.00	8281350.00	3833 msnm
C-4	380578.00	8281746.00	3833 msnm

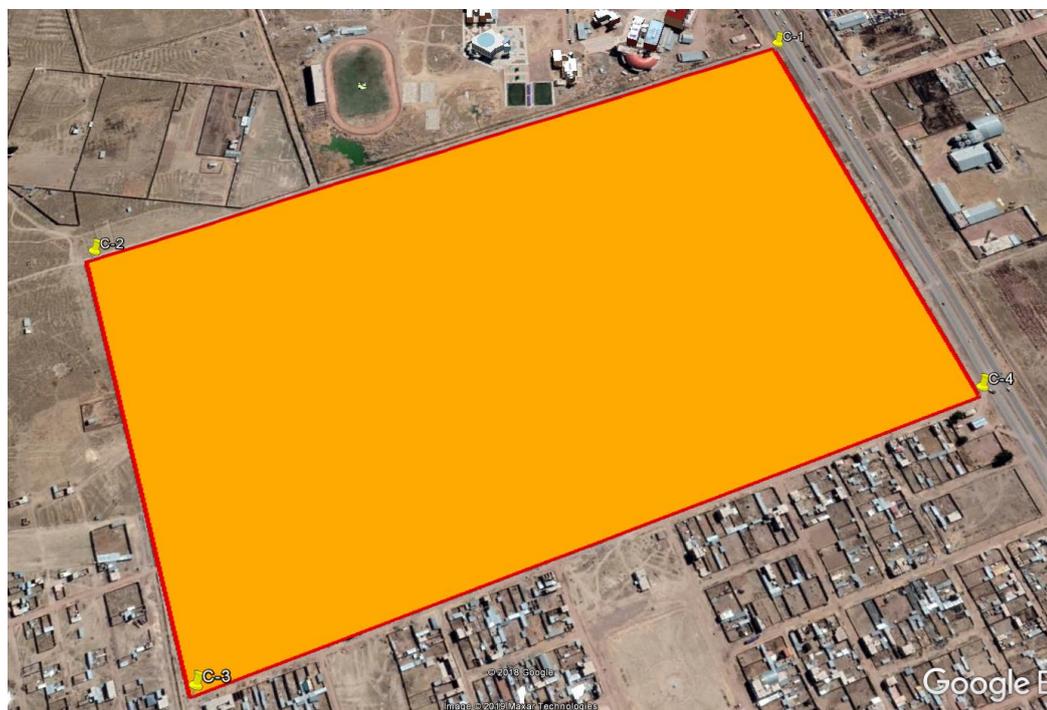


Figura 7. Ubicación de la zona de estudio.

### **3.4 Población y muestra.**

Se realizaron en la ciudad de Juliaca.

#### **3.4.1 Población**

El sistema de información para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca, debido a que en la ciudad de Juliaca el 30.00 % de la población no tiene acceso al servicio de agua potable, el 25.5 % no tiene acceso al servicio de desagüe (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007), y que además 20,054 familias se abastecen de agua de pozo (subterránea) en la ciudad de Juliaca (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

#### **3.4.2 Muestra**

El procedimiento muestral fue muestreo probabilístico inducida y aleatorio, porque es de interés global conocer los posibles efectos del sistema de información para monitoreo de parámetros físico químicos de aguas subterráneas, además por el tipo de método de investigación para el desarrollo del trabajo se eligió el diseño de superficie multirrespuesta para las pruebas estadísticas.

Debido a lo expuesto anteriormente en la ciudad de Juliaca gran parte de la población cuenta con el servicio de agua potable, es por ello que se decidió escoger lugares donde no se cuentan con este servicio, por ello es que la muestra para el siguiente trabajo de investigación será: El sistema de información para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca.

### **3.5 Metodología**

#### **3.5.1 Métodos de Investigación**

Para el trabajo de investigación se utilizó los siguientes métodos.

##### **3.5.1.1 Método Inductivo Deductivo**

Se aplicó un proceso analítico, sintético (Hernández *et al.*, 2010), estudiando aspectos particulares de los comportamientos de los distintos componentes electrónicos e informáticos para su uso y aprovechamiento en el sistema de información para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca.

**3.5.1.2 Método Deductivo Inductivo**

Se realizó de lo general a lo particular, a través de la aplicación de la teoría general para sustentar la investigación y analizar las actividades aplicadas (Hernández *et al.*, 2010).

**3.5.1.3 Método Experimental Aplicada**

El proceso consiste en el diseño de un prototipo de sistema de información (variable independiente), para monitorear los parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca (variable dependiente). Se diferencia de la investigación de campo por la manipulación y control de variables según (Hernández *et al.*, 2010).

**3.6 Materiales e instrumentos, técnicas e instrumentos de la investigación**

Tabla 4

*Técnicas e instrumentos de la investigación*

<b>Objetivo General</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumentos</b>
Diseñar un prototipo de sistema de información para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca	prototipo de sistema de información para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas.	Hardware y software libre en Arduino Mega, y una red Wireless en computador.
<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Observación</b>	<b>Recolección de datos</b>
Diseñar un prototipo para medición de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas	Se aplicó un protocolo de observación directa no participante. Se observaron y analizaron los diversos efectos en la medición de los parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas (pH, Turbidez y Temperatura).	La obtención de datos se realizó de forma directa a través del Hardware Arduino enviado a computadores cuando el prototipo para medición de parámetros fisicoquímicos esté en funcionamiento, usando Software y Hardware ARDUINO.
Realizar el monitoreo utilizando el sistema de información del prototipo para medición de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas.	Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas (pH, Turbidez y Temperatura) en la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca.	La obtención de datos se realizó de forma directa a través del Hardware Arduino enviado por Wi-Fi a los computadores dentro de la cobertura de un Acces Point ubicado en la Urbanización Satélite, cuando el prototipo para medición de parámetros fisicoquímicos esté en funcionamiento.

### **3.6.1 Técnicas**

La técnica es el prototipo de sistema de información, fabricación a escala y control de parámetros fisicoquímicos de agua mediante componentes electrónicos y herramientas informáticas.

### **3.6.2 Instrumentos**

Se utilizó Hardware y software IDE arduino, y una red Wireless en computador.

### **3.6.3 Técnicas a través de las cuales se obtuvieron la información**

#### **3.6.3.1 Observación directa**

Se aplicó un protocolo de observación directa no participante. Se observaron y analizaron los diversos efectos en la medición de los parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas (pH, Turbidez y Temperatura).

La observación aplicada, se realizó usando el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas (pH, Turbidez y Temperatura) en la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca.

#### **3.6.3.2 Obtención de Datos**

La obtención de datos se realizó de forma directa a través del Hardware IDE arduino enviado a computadores cuando el prototipo para medición de parámetros fisicoquímicos (pH, Turbidez y Temperatura) esté en funcionamiento, usando Software y Hardware arduino.

La obtención de datos se realizó de forma directa a través del Monitoreo de Hardware Arduino enviado por Wireless a los computadores dentro de la cobertura de un Acces Point ubicado en el Lote 12 Mz E de la Urbanización Satélite, cuando el prototipo para medición de parámetros fisicoquímicos está en funcionamiento, estos indicadores se muestran en el anexo 1.

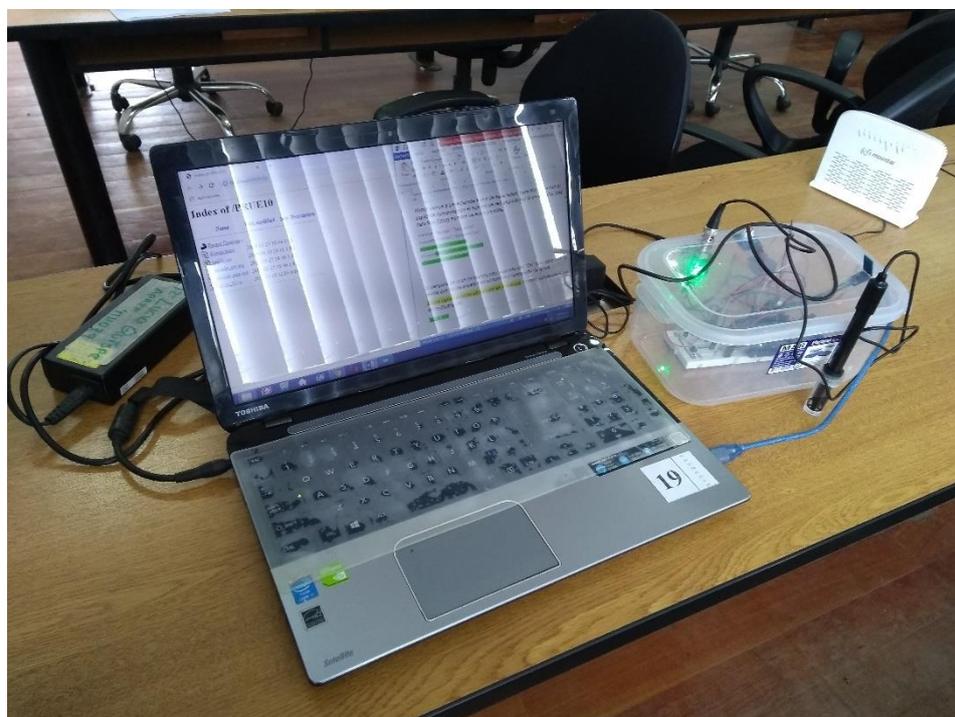
#### **3.6.3.3 Pruebas con prototipo**

Se usó monitoreo con prototipo de sistema de información de parámetros fisicoquímicos del agua, para lo cual se realizó la fabricación del prototipo como se puede observar en Figura 8.

Comparándolo con un equipo profesional Medidor multiparámetro de mesa, de propiedad del Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de Química de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA) y un

turbidímetro de Wagtech WAG – WT3020 – 476721 de propiedad del Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas, con los que a través de 8 muestras con contenidos de pH, turbidez y temperatura variables Figura 9.

Una vez determinado los parámetros físico-químicos a medir Tabla 5, se realizó la preparación de muestras para calibración como se muestra en la Tabla 6, estos fueron para poder preparar nuestro prototipo de medición ante distintos escenarios que pudiéramos encontrar en la zona de estudio. Una vez calibrado nuestro equipo diseñado, se realizó la medición de parámetros físico-químicos de acuerdo a la Tabla 5 por medio de la recolección de datos en el computador como se aprecia en la Tabla 7, estrictamente adaptados al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por el Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (Autoridad Nacional del Agua, 2016). En cada punto de muestreo (lugar de pozos artesianos de la Urbanización Satélite) se hizo la lectura de muestras de agua in situ.



*Figura 8.* Prototipo de Sistema de medición de parámetros físico-químicos de aguas subterráneas



Figura 9. Proceso de calibración de muestras para prototipo



Figura 10. Ubicación de las muestras de agua obtenidas en orden aleatorio

Tabla 5

*Parámetros físico-químicos que fueron estudiados por el prototipo de medición en la zona de estudio*

Parámetros	Unidad de medida
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH
Temperatura	°C
Turbiedad	UNT

Una vez determinado los parámetros físico-químicos a medir Tabla 5, se realizó la preparación de muestras para calibración como se muestra en la Tabla 6, estos fueron para poder preparar nuestro prototipo de medición ante distintos escenarios que pudiéramos encontrar en la zona de estudio.

Tabla 6

*Matriz de validación del sistema del prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos del agua*

N°	Potencial de Hidrógeno (pH) ORION VERSASTAR PRO	Potencial de Hidrógeno (pH) Prototipo pH	Temperatura (°C) ORION VERSASTAR PRO	Temperatura (°C) Prototipo °C	Turbiedad (UNT)	Turbiedad (UNT) Prototipo
1	2.265	2.300	14.50	14.80	550.00	565.00
2	2.688	2.500	14.60	14.90	133.00	127.00
3	3.928	4.000	15.10	15.30	132.00	138.00
4	4.950	4.890	15.20	15.30	104.00	118.00
5	7.330	7.370	14.90	14.80	35.00	45.00
6	9.029	9.400	15.30	14.90	42.00	36.00
7	12.050	12.100	15.20	15.10	25.00	35.00
8	12.508	12.600	14.60	14.30	36.00	28.00

Se realizaron ocho muestras con un pH inicial de 2.265 que se aumentó compuestos químicos hasta llegar a 12.508. la temperatura desde 14°C hasta 16°C y finalmente la turbidez de 0 a 100 NTU.



Figura 11. Ubicación de las muestras de agua obtenidas en orden aleatorio

Tabla 7

Resultados obtenidos de la calidad del agua de la zona de estudio entre los meses de octubre y noviembre del 2019

N° Muestra	COORDENADAS		Altitud	Potencial de Hidrógeno (pH)	Temperatura (°C)	Turbiedad (UNT)
	ESTE	NORTE				
1	380326	8282119	3826	7.40	15.72	4.00
2	380211	8282118	3830	7.25	14.78	2.79
3	379870	8281948	3826	6.93	14.83	2.11
4	379822	8281788	3826	6.65	15.56	2.76
5	379642	8281715	3827	7.04	15.14	9.07
6	379779	8281576	3830	7.06	15.04	3.07
7	379993	8281655	3828	6.97	15.38	7.16
8	380118	8281547	3840	7.06	15.28	16.03
9	380380	8281661	3827	7.65	15.29	1.49
10	380435	8281716	3829	7.39	15.31	52.50
11	380430	8281749	3828	6.96	15.82	5.66
12	380354	8281805	3832	7.26	15.07	10.16
13	380391	8281833	3830	7.20	15.00	18.45
14	380456	8281851	3825	7.22	15.25	4.96
15	380264	8281737	3828	7.20	15.20	1.02
16	380172	8281758	3823	7.39	15.55	13.58
17	379919	8281783	3829	7.36	15.38	5.86
18	379928	8281832	3830	7.16	15.31	2.78
19	379872	8281817	3825	7.17	15.67	0.99

### 3.7 Variables

Las variables son seleccionados en correspondencia con el problema de investigación y los objetivos:

#### 3.7.1 Selección de las Variables

##### 3.7.1.1 Variables Dependientes

Monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca.

- pH
- Turbiedad
- Temperatura

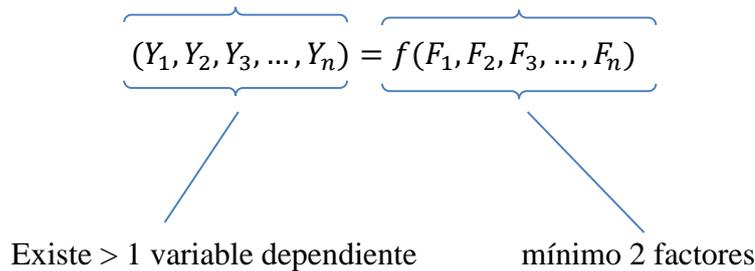
##### 3.7.1.2 Variables Independientes

Diseño de un prototipo de sistema de información de calidad de las aguas subterráneas.

### 3.8 Determinación del modelo estadístico: nivel de significancia y determinación del modelo de parámetros físico-químicos

Independientemente de sus valores y significancias, la investigación exploró en qué medida están relacionados las tres variables indicadas (pH, temperatura y turbidez) como fundamentales, si éstas son, representativas de manera global o individual son fundamentales en torno a un modelo, se utilizó el modelo superficie de multirespuesta (MSMR) porque se tiene más de una variable de respuesta y con la ayuda del software Design-Expert® v7.0.0 se optimizó la variable de respuesta y a la vez se aplicó el método de la función de deseabilidad por la cantidad de variables que se ha utilizado, cuyos indicadores condicionan al monitoreo de los parámetros físico-químicos del agua y que a su vez permitan prever los posibles riesgos en la salud de la población en la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca.

Estimación del modelo de superficie de multirespuesta, para el diseño de las condiciones óptimas de operación del sistema a través del diseño central compuesto rotatable (Myers, Montgomery, & Anderson-Cook, 2009).



$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \sum_{j=1}^p \hat{\beta}_j X_{ij} + \sum_{j=1}^p \hat{\beta}_{jj} X_{ij}^2 + \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^p \hat{\beta}_{jk} X_{ij} X_{ik}$$

$j < k$

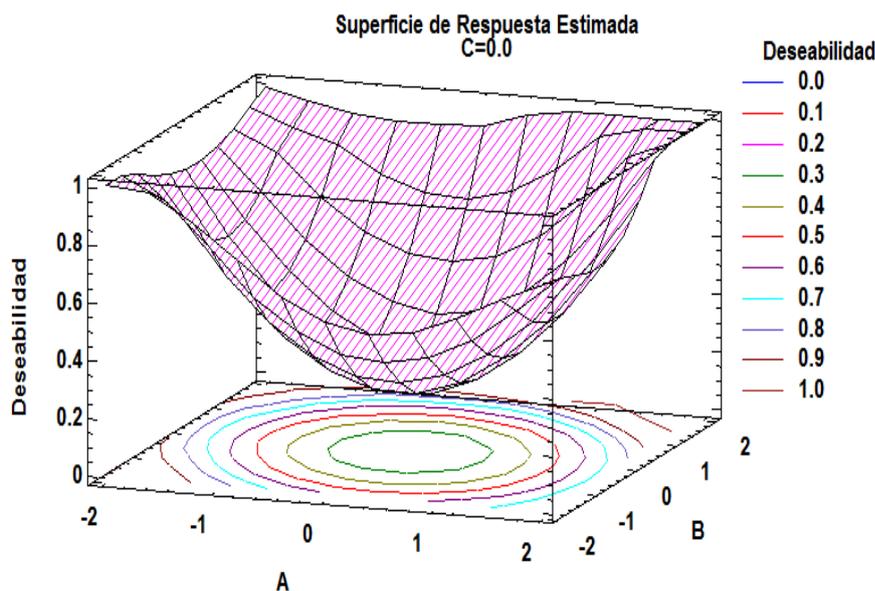


Figura 12. Metodología de Superficie de respuesta de la deseabilidad global en función de pH, turbidez y temperatura

### 3.9 Ingeniería del proyecto

#### 3.9.1 Etapas para realizar el prototipo de sistema de información de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca

Bosquejo general de Sistema de Información de Parámetros Fisicoquímicos de Aguas Subterráneas utilizando hardware y software libre, para lo cual se ha realizado el

esquema de acuerdo a la Figura 13, donde podemos observar que como entrada tenemos a los sensores de pH, sensor de turbidez y sensor de temperatura, esta información a través de los conversores análogo/digitales es interpretado y procesado por el Arduino Mega 2560, luego la información leída es enviada a un servidor HTTP Apache, donde se puede acceder a través de cualquier computador en una red de área local inalámbrica.

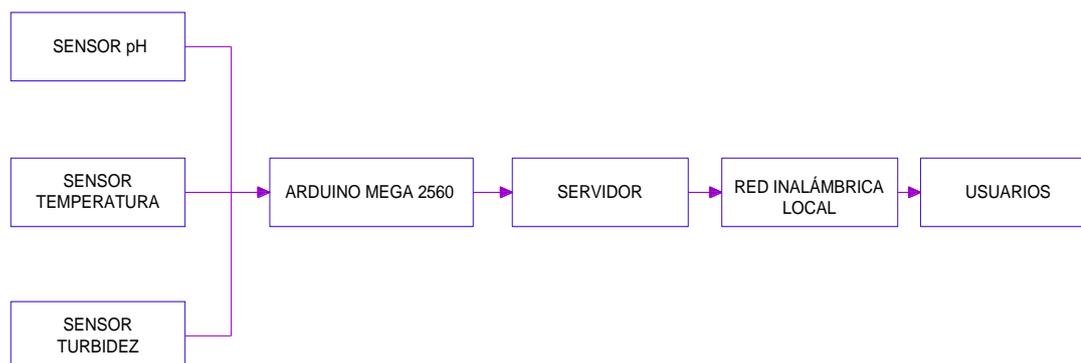


Figura 13. Bosquejo del Prototipo de Sistema de Información

### 3.9.2 Diseño del prototipo de Sistema de información de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas

Para el diseño del prototipo se recurrió a anteriores proyectos, tomando en consideración la implementación de hardware y software libre para la obtención, procesamiento y almacenamiento de datos; para su posterior manipulación por los usuarios finales.

**Implementación del prototipo:** Se implementó con materiales adecuados para el desarrollo del prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas, como son: tuberías de PVC, uniones universales de PVC, tees de PVC, codos de PVC, electrobomba, valdes; como también sensores de: pH, Temperatura, Turbidez; Arduino Mega 2560, PC Servidor, PCs de Usuarios, la alimentación del prototipo se realizó a través del puerto USB 3.0 del computador, por la baja cantidad de corriente que requería nuestro prototipo, ya que la placa Arduino Mega 2560 tiene un consumo de 50 mA y los sensores un consumo de 80 mA, por lo que el requisito de consumo del prototipo es de 130 mA, el cual es proveído por el puerto USB 3.0 del computador.

**Implementación de hardware:** Se hizo un diseño particular para el hardware electrónico utilizando una placa Arduino Mega 2560, módulos electrónicos Arduino sensor de pH, sensor de temperatura y sensor de turbidez como en la Figura 14; una computadora para servidor, un módulo Arduino para red inalámbrica y dos computadoras para la visualización de datos de medición para usuarios.

**Desarrollo de algoritmo en software:** Se utilizó software de IDE Arduino y también se utilizó el software Apache para el desarrollo del servidor web de área local.

**Toma de datos:** Se utilizó los sensores de pH, temperatura y turbidez para la medición de parámetros fisicoquímicos, los cuales muestran datos a través del módulo Arduino Mega 2560 y enviados y almacenados a un servidor.

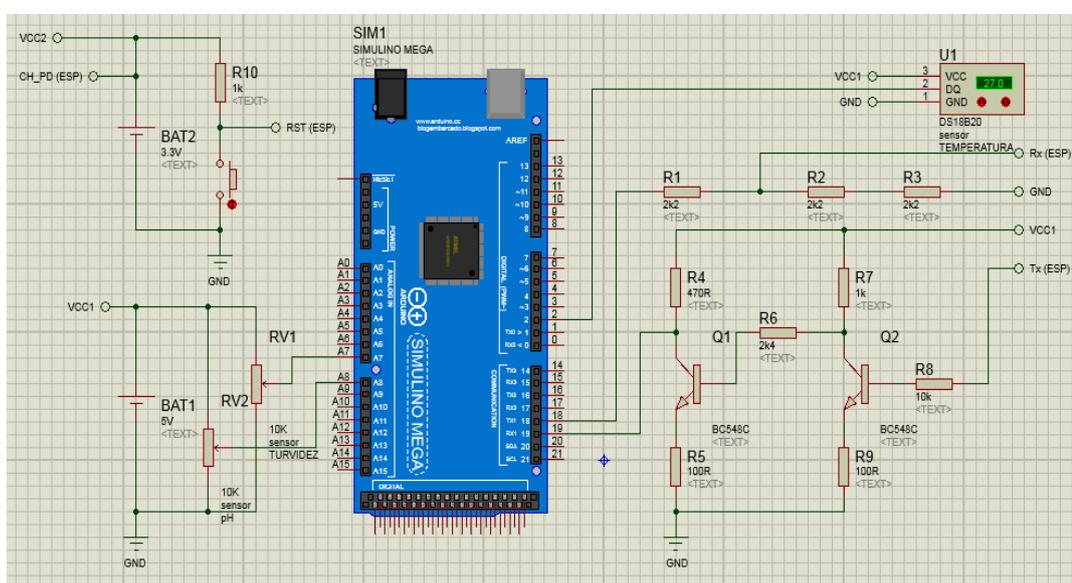


Figura 14. Circuito electrónico del prototipo de medición de parámetros físicoquímicos del agua

### 3.9.3 Validación de Prototipo de Sistema de Información de Parámetros Físicoquímicos de Aguas Subterráneas

Para la calibración del dispositivo de medición de pH y temperatura se realizó la calibración con un medidor de sobremesa de electroquímica (Thermo Scientific Orion Versa Star Pro) del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano y para la calibración de la turbidez se realizó con el turbidímetro Wagtech WAG-WT3020 del Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano, se prepararon 8 muestras para la calibración de nuestro prototipo de medición de parámetros físico-químicos ver Tabla 8 y así mejorar la precisión en los

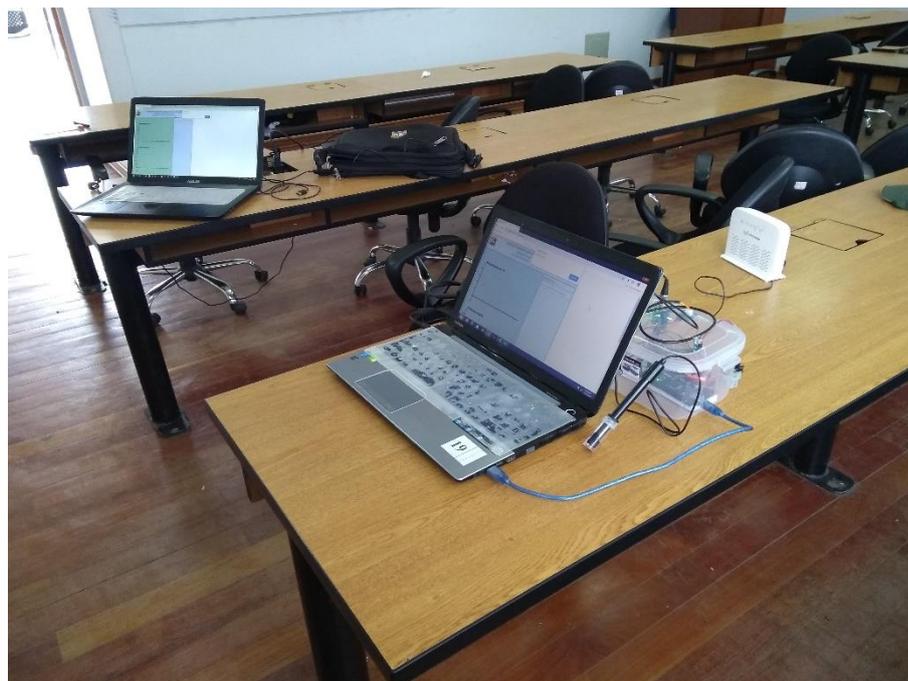
parámetros del sistema ver Figura 15, el comportamiento de nuestro prototipo de medición de parámetros físico-químicos lo podemos observar en la Figura 25 para el pH, en la Figura 26 para la temperatura y en la Figura 27 para la turbidez.



*Figura 15.* Proceso de calibración de medidor de pH y temperatura referencial Thermo Scientific Orion Versa Star Pro.



*Figura 16.* Proceso de validación de medidor de turbidez referencial turbidímetro Wagtech WAG-WT3020 y prototipo de medición.



*Figura 17.* Prototipo de Sistema de Información para monitoreo de aguas subterráneas.



*Figura 18.* Realizando la calibración con el prototipo de sistema de información para monitoreo de aguas subterráneas en el Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas



*Figura 19.* Medición de parámetros fisicoquímicos de pozo artesanal con anillos de concreto en la Urbanización Satélite, con prototipo desarrollado con Hardware y Software IDE arduino.



*Figura 20.* Muestras obtenidas para medición de parámetros fisicoquímicos de la Urbanización Satélite, con prototipo desarrollado con Hardware y Software IDE arduino.

### 3.9.4 Selección de los puntos de recolección de datos

Para la recolección de datos, se han considerado veinte pozos artesianos de acuerdo al diseño estadístico modelo superficie de multirespuesta (MSMR), esto por tener tres variables de respuesta pH, temperatura y turbidez, la ubicación geográfica de los pozos han sido elegido aleatoriamente por recomendación del MSMR, y de acuerdo a la disposición a colaborar de los pobladores de la zona, y para poder uniformizar los resultados se optó por utilizar el método de los polígonos de Thiesen (Herrera & Valdivia, 2018) para obtener una mejor interpretación de la calidad de aguas subterráneas de la urbanización Satélite.



*Figura 21.* Ubicación de lugares de medición de parámetros fisicoquímicos de pozos en campo.

La presentación del prototipo en la página web es como se muestra en la Figura 22 que muestra la lectura de la temperatura en Grados Celsius, pudiendo observarse que el muestreo es a tiempo real y que a partir de la información almacenada en la base de datos implementada con un servidor HTTP Apache, la página web accede a dicha información mostrándola a través de la programación en un visualizador estadístico para su mejor interpretación por el usuario.

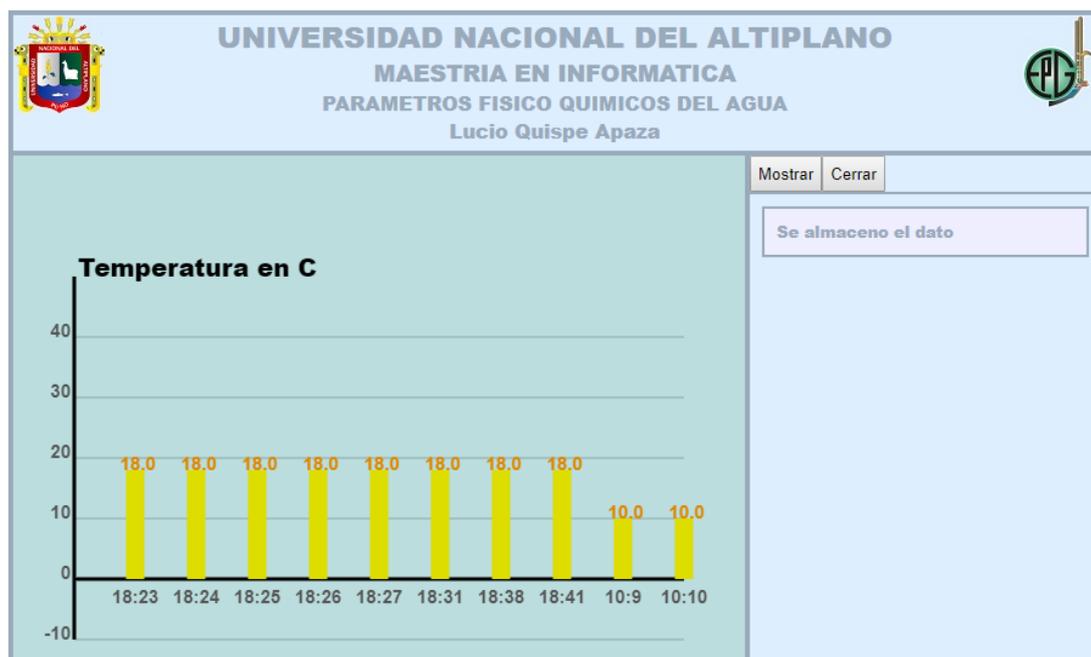


Figura 22. Muestra previa de resultados de medición de la Temperatura vistas desde el usuario.

Para la presentación del prototipo en la página web con respecto a la turbidez es como se muestra en la Figura 23 que muestra la lectura de la turbidez en unidades nefelométricas de turbidez (NTU), pudiendo observarse el muestreo a tiempo real y que a partir de la información almacenada en la base de datos implementada con un servidor HTTP Apache, la página web accede a dicha información mostrándola a través de la programación en un visualizador estadístico para su mejor interpretación por el usuario.

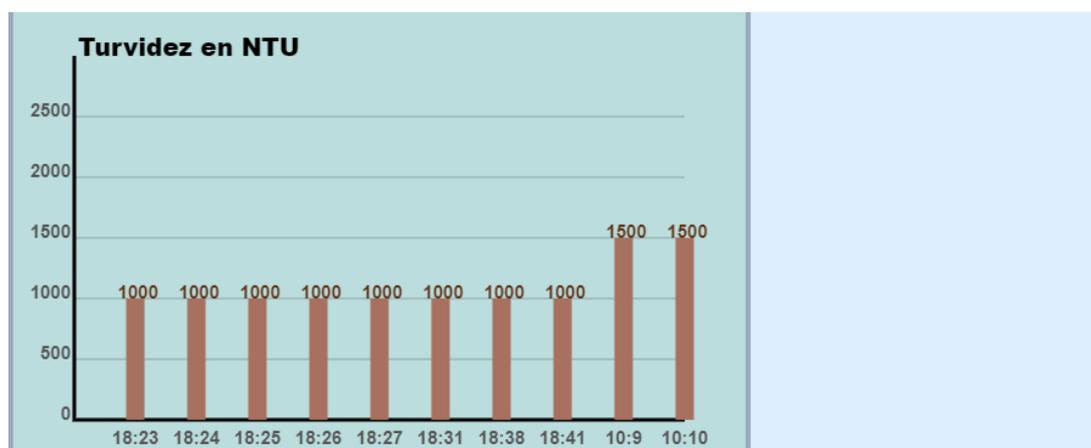


Figura 23. Muestra de resultados de medición de la Turbidez vistas desde el usuario.

Para la presentación del prototipo en la página web con respecto al pH es como se muestra en la Figura 24 que muestra la lectura del potencial de hidrógeno (pH) en unidades de pH, pudiendo observarse el muestreo a tiempo real y que a partir de la información almacenada en la base de datos implementada con un servidor HTTP Apache, la página web accede a dicha información mostrándola a través de la programación en un visualizador estadístico para su mejor interpretación por el usuario.

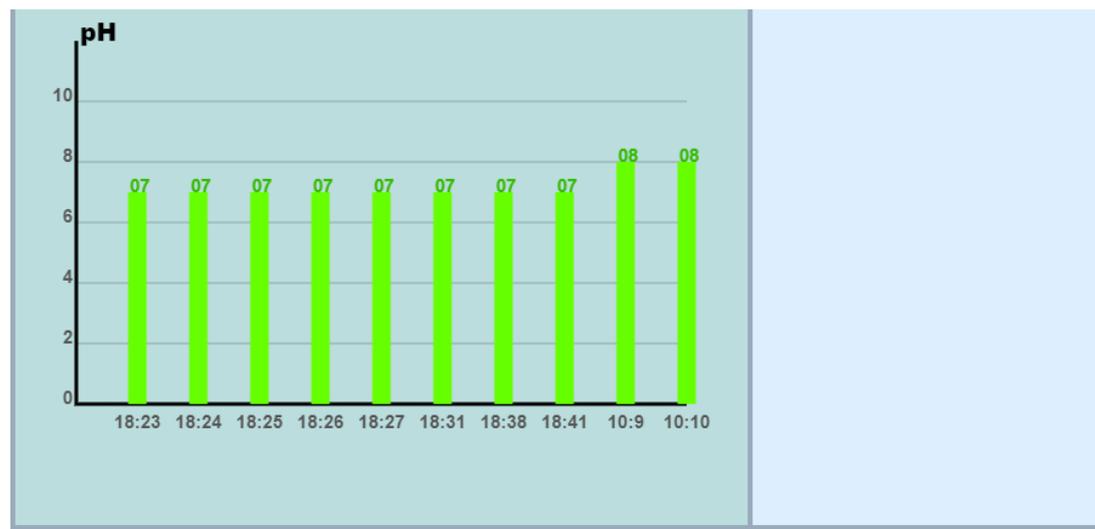


Figura 24. Muestra de resultados de medición del pH vistas desde el usuario.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados

En el diseño de Prototipo de Sistema de Información para Monitoreo de Parámetros Físicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca, se utilizó hardware y software libre, como Arduino Mega 2560, Módulos de Sensores de Ph, temperatura y turbidez, a la vez un servidor web Apache y una red inalámbrica local para visualización de usuarios, que en conjunto forman el Sistema de Información de apoyo a decisiones, para poder medir los parámetros físicoquímicos de las aguas subterráneas.

Se realizó la validación de los parámetros a medir utilizando equipos de fabricación referenciales y calibrados; para el pH, temperatura se utilizó el medidor de sobremesa de electroquímica (Thermo Scientific Orion Versa Star Pro) del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano y un turbidímetro de Wagtech WAG – WT3020 – 476721 del Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas, se preparó 8 muestras para la calibración de nuestro prototipo de medición de parámetros físico-químicos, para lo cual se realizaron ocho muestras con un pH inicial de 2.265 hasta 12.508. la temperatura desde 14°C hasta 16°C y finalmente la turbidez de 0 a 100 NTU ver Tabla 8 y así mejorar la precisión en los parámetros del sistema, el comportamiento de nuestro prototipo de medición de parámetros físico-químicos lo podemos observar en la Figura 25 para el pH, en la Figura 26 para la temperatura y en la Figura 27 para la turbidez. Para la realización del prototipo de medición de parámetros físicoquímicos de aguas subterráneas; se aplicó la teoría dispositivos electrónicos, sensores, microcontroladores, programación y comunicaciones inalámbricas y así motivar a los futuros investigadores, desarrolladores aplicaciones prácticas en dichas materias.

Tabla 8

*Validación del sistema del prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos del agua con Thermo Scientific Orion Versa Star Pro*

N° Muestra	Potencial de Hidrógeno (pH) ORION VERSASTAR PRO	Potencial de Hidrógeno (pH) Prototipo pH	Temperatura (°C) ORION VERSASTAR PRO	Temperatura (°C) Prototipo °C	Turbiedad (UNT) Wagtech WAG-WT3020	Turbiedad (UNT) Prototipo
1	2.265	2.300	14.50	14.80	550.00	565.00
2	2.688	2.500	14.60	14.90	133.00	127.00
3	3.928	4.000	15.10	15.30	132.00	138.00
4	4.950	4.890	15.20	15.30	104.00	118.00
5	7.330	7.370	14.90	14.80	35.00	45.00
6	9.029	9.400	15.30	14.90	42.00	36.00
7	12.050	12.100	15.20	15.10	25.00	35.00
8	12.508	12.600	14.60	14.30	36.00	28.00

Una vez realizado las ocho mediciones con un pH inicial de 2.265 que se aumentó compuestos químicos hasta llegar a 12.508, la temperatura desde 14°C hasta 16°C y finalmente la turbidez de 0 a 600 NTU, se procedió a realizar el cálculo del error relativo de nuestro prototipo (Dussán *et al.*, 2016), debido a que en las gráfica de validación de pH como se puede observar en la Figura 25, se observó que no coincidía al 100 % con la lectura del medidor de referencia Thermo Scientific Orion Versastar Pro, es por ello que utilizamos la siguiente fórmula:

$$Error\ relativo = \frac{(Media\ pH\ proto - Media\ pH\ refer)}{Media\ pH\ referencia} * 100$$

$$Error\ relativo = \frac{(7.19 - 7.18)}{7.18} * 100$$

$$Error\ relativo = \pm 0.0418 \%$$

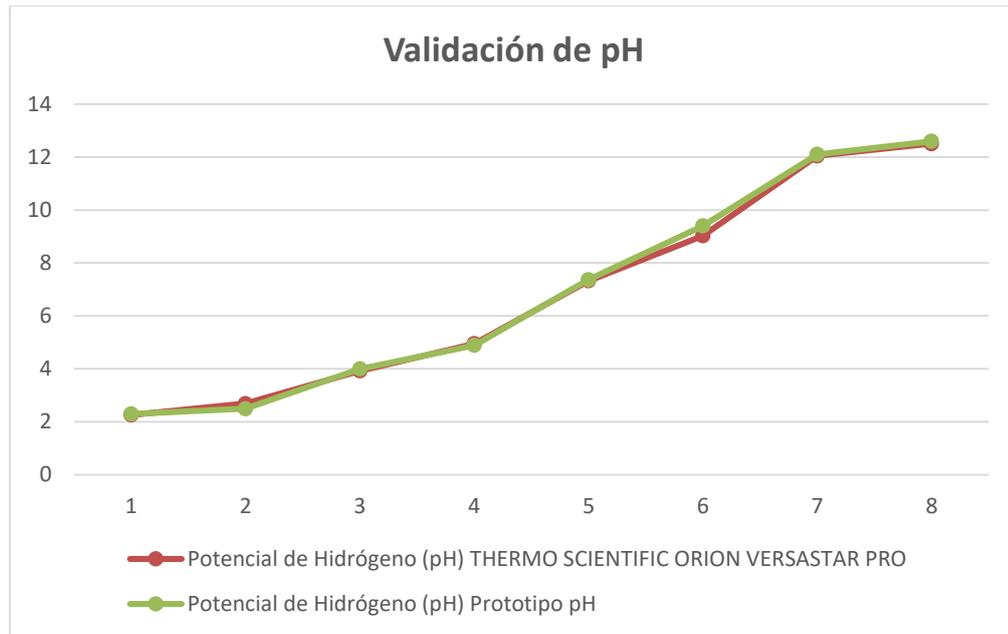


Figura 25. Validación de pH del sistema de prototipo de medición de parámetros físico-químicos con medidor de sobremesa Thermo Scientific Orion Versastar Pro.

Se procedió a realizar el cálculo del error relativo de nuestro prototipo (Dussán *et al.*, 2016) con respecto a la temperatura, debido a que en la gráfica de validación de lectura en la temperatura como se puede observar en la Figura 26, se observó diferencias en el comportamiento de la medición respecto al medidor de referencia Thermo Scientific Orion Versastar Pro, es por ello que utilizamos la siguiente fórmula:

$$Error\ relativo = \frac{(Media\ T\ ^\circ C\ proto - Media\ T\ ^\circ C\ refer)}{Media\ T\ ^\circ C\ referencia} * 100$$

$$Error\ relativo = \frac{(14.88 - 15.32)}{15.32} * 100$$

$$Error\ relativo = \pm 2.8847\ %$$

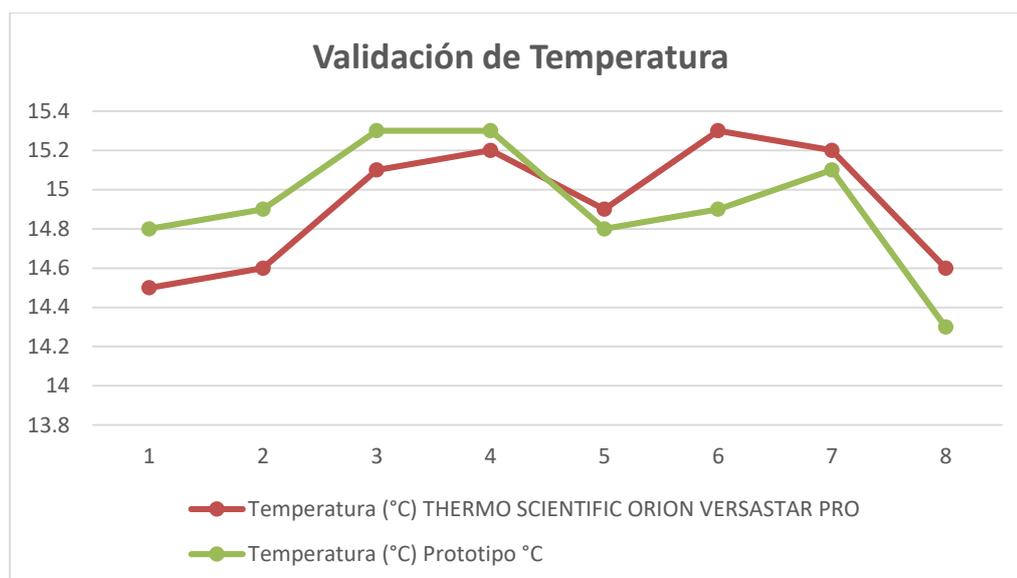


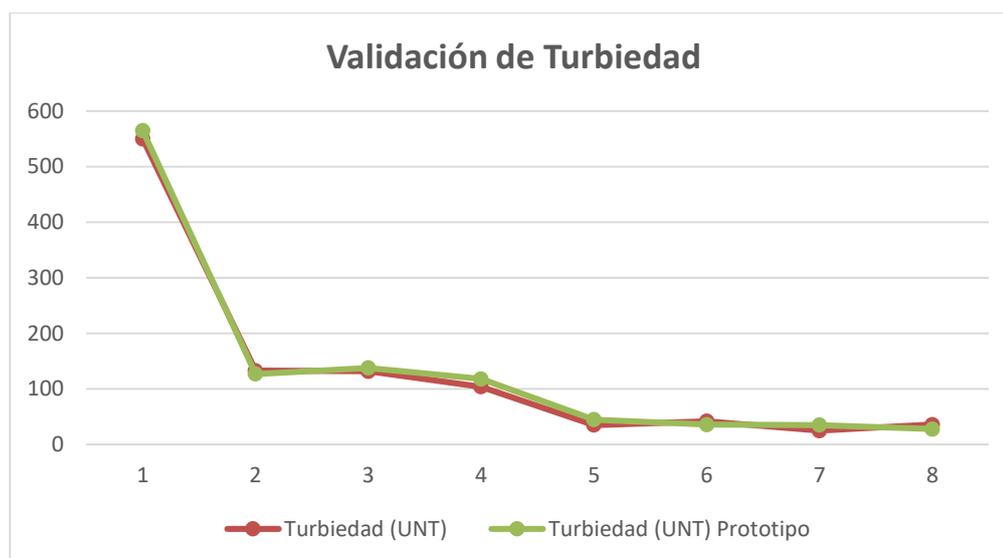
Figura 26. Validación de la temperatura en °C del sistema de prototipo de medición de parámetros físico-químicos con medidor de sobremesa Thermo Scientific Orion Versastar Pro.

De similar manera se procedió a realizar el cálculo del error relativo de nuestro prototipo con respecto a la turbidez en NTU (Vargas & Calvo, 2018), debido a que en la gráfica de validación de temperatura como se puede observar en la Figura 27, se observó diferencias en el comportamiento de la medición respecto al medidor de referencia turbidímetro de Wagatech WAG – WT3020 – 476721, es por ello que utilizamos la siguiente fórmula:

$$Error\ relativo = \frac{(Media\ Trb\ NTU\ proto - Media\ Trb\ NTU\ refer)}{Media\ Trb\ NTU\ referencia} * 100$$

$$Error\ relativo = \frac{(9.83 - 9.53)}{9.53} * 100$$

$$Error\ relativo = \pm 3.07385 \%$$



*Figura 27.* Validación de la turbiedad en NTU del sistema de prototipo de medición de parámetros físico-químicos con medidor turbidímetro de Wagtech WAG – WT3020 – 476721.

Para la determinación de calidad de agua obtenida a partir de pozos artesianos en la ciudad de Juliaca, se han considerado veinte pozos artesianos de acuerdo al diseño estadístico modelo superficie de multirespuesta (MSMR), esto por tener tres variables de respuesta pH, temperatura y turbidez, la ubicación geográfica de los pozos han sido elegido aleatoriamente por recomendación del MSMR (Montgomery, 2013); el análisis de calidad de agua se realizó para cada una de las muestras obtenidas de estos pozos artesianos y tubulares encontrados en la zona de estudio ver Tabla 9; los valores obtenidos para cada uno de los parámetros analizados se compararon con los establecidos en el reglamento de calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010 SA mostrados en la Tabla 2, y se observó que de acuerdo al potencial de hidrógeno encontrado en la totalidad de muestras de las aguas subterráneas que se encuentran en un rango de 6.65 a 7.65 unidades de pH, la temperatura en un rango de 14.78 a 15.86 °C y la turbidez en un rango de 0.99 a 52.5 NTU han sido ubicados en la Tabla 2, dado que el 80% de las muestras obtenidas superan las 100 UNT se ubicó en la última columna de categoría A3, donde podemos observar que el potencial de hidrógeno está entre 5.5 a 9.0 unidades de pH y la turbidez superior a las 100 UNT, lo cual nos hace posible recomendar que para potabilizar el agua subterránea de la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca requiere de desinfección y tratamiento convencional.

Tabla 9

*Datos obtenidos de las muestras de agua subterránea de la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca*

N° Muestra	COORDENADAS		ALTITUD	Potencial de Hidrógeno (pH)	Temperatura (°C)	Turbiedad (UNT)
	ESTE	NORTE				
1	380326	8282119	3826	7.40	15.72	4.00
2	380211	8282118	3830	7.25	14.78	2.79
3	379870	8281948	3826	6.93	14.83	2.11
4	379822	8281788	3826	6.65	15.56	2.76
5	379642	8281715	3827	7.04	15.14	9.07
6	379779	8281576	3830	7.06	15.04	3.07
7	379993	8281655	3828	6.97	15.38	7.16
8	380118	8281547	3840	7.06	15.28	16.03
9	380380	8281661	3827	7.65	15.29	1.49
10	380435	8281716	3829	7.39	15.31	52.50
11	380430	8281749	3828	6.96	15.82	5.66
12	380354	8281805	3832	7.26	15.07	10.16
13	380391	8281833	3830	7.20	15.00	18.45
14	380456	8281851	3825	7.22	15.25	4.96
15	380264	8281737	3828	7.20	15.20	1.02
16	380172	8281758	3823	7.39	15.55	13.58
17	379919	8281783	3829	7.36	15.38	5.86
18	379928	8281832	3830	7.16	15.31	2.78
19	379872	8281817	3825	7.17	15.67	0.99
20	380109	8281869	3832	7.35	15.86	26.20

De estos resultados se hizo la prueba estadística con el software Design Expert, y se pudo obtener los resultados de la Tabla 10, donde se puede observar que según la media aritmética en los resultados de pH con 7.18 unidades de pH, temperatura de 15.32°C y turbidez de 9.53 NTU nos indican que para ser consumidas las aguas subterráneas de la urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca requieren de tratamiento convencional.

Tabla 10

*Resumen de las medidas de la tendencia central y dispersión, de pH, temperatura y turbidez*

<b>Medidas de tendencia central y dispersión</b>	<b>pH</b>	<b>Temp</b>	<b>Turb</b>
Desviación estándar	0.2100	0.3100	13.1600
Media aritmética	7.1800	15.3200	9.5300
coeficiente de variación	2.8600	2.0000	138.0700
residuos eliminados de la suma de cuadrados de predicción	-2.1165	5.7900	10152.1200
R2	0.5402	0.4724	0.3796
R2 ajustado	0.1264	-0.0025	-0.1787
R2 pred	-2.1165	-2.2699	-2.6358
Precisión adecuada	4.3970	3.2180	3.4370

Pero este análisis no puede ser generalizado a nivel de toda la urbanización Satélite, debido a que, según los resultados obtenidos, sugerimos que para adoptar un criterio de potabilización se de lectura a la Tabla 11, por proponer un criterio de potabilización independiente para cada zona de estudio, esto debido a que en la zona de estudio se observaron que, la variación en la turbidez se debe a que el uso no es constante y esto hace que las partículas se sedimenten en el interior, es por eso que elaboramos la Tabla 11, para que el usuario que tenga acceso a esta información pueda utilizar el criterio de potabilización recomendado por esta investigación, ya que el grado de confiabilidad de nuestros resultados se mostraron con un error relativo de  $\pm 0.0418$  % en la medición de pH, un error relativo de  $\pm 2.8847$  % en las mediciones de temperatura y un error relativo de  $\pm 3.07385$  % en la medición de turbidez en NTU.

Tabla 11

*Criterio de potabilización según ubicación de los pozos artesianos*

N° Muestra	COORDENADAS		ALT	Potencial de Hidrógeno (pH)	Temp (°C)	Turb (UNT)	Criterio de potabilización
	ESTE	NORTE					
1	380326	8282119	3826	7.40	15.72	4.00	requiere desinfección
2	380211	8282118	3830	7.25	14.78	2.79	requiere desinfección
3	379870	8281948	3826	6.93	14.83	2.11	requiere desinfección
4	379822	8281788	3826	6.65	15.56	2.76	requiere desinfección
5	379642	8281715	3827	7.04	15.14	9.07	tratamiento convencional
6	379779	8281576	3830	7.06	15.04	3.07	requiere desinfección
7	379993	8281655	3828	6.97	15.38	7.16	tratamiento convencional
8	380118	8281547	3840	7.06	15.28	16.03	tratamiento convencional
9	380380	8281661	3827	7.65	15.29	1.49	requiere desinfección
10	380435	8281716	3829	7.39	15.31	52.50	tratamiento convencional
11	380430	8281749	3828	6.96	15.82	5.66	tratamiento convencional
12	380354	8281805	3832	7.26	15.07	10.16	tratamiento convencional
13	380391	8281833	3830	7.20	15.00	18.45	tratamiento convencional
14	380456	8281851	3825	7.22	15.25	4.96	requiere desinfección
15	380264	8281737	3828	7.20	15.20	1.02	requiere desinfección
16	380172	8281758	3823	7.39	15.55	13.58	tratamiento convencional
17	379919	8281783	3829	7.36	15.38	5.86	tratamiento convencional
18	379928	8281832	3830	7.16	15.31	2.78	requiere desinfección
19	379872	8281817	3825	7.17	15.67	0.99	requiere desinfección
20	380109	8281869	3832	7.35	15.86	26.20	tratamiento convencional

Para interpretar los resultados de las muestras obtenidas en campo, se ha elaborado un mapa del comportamiento del pH en las aguas subterráneas de la urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca ver Figura 28, elaborados con Surfer ® 14.0.599.

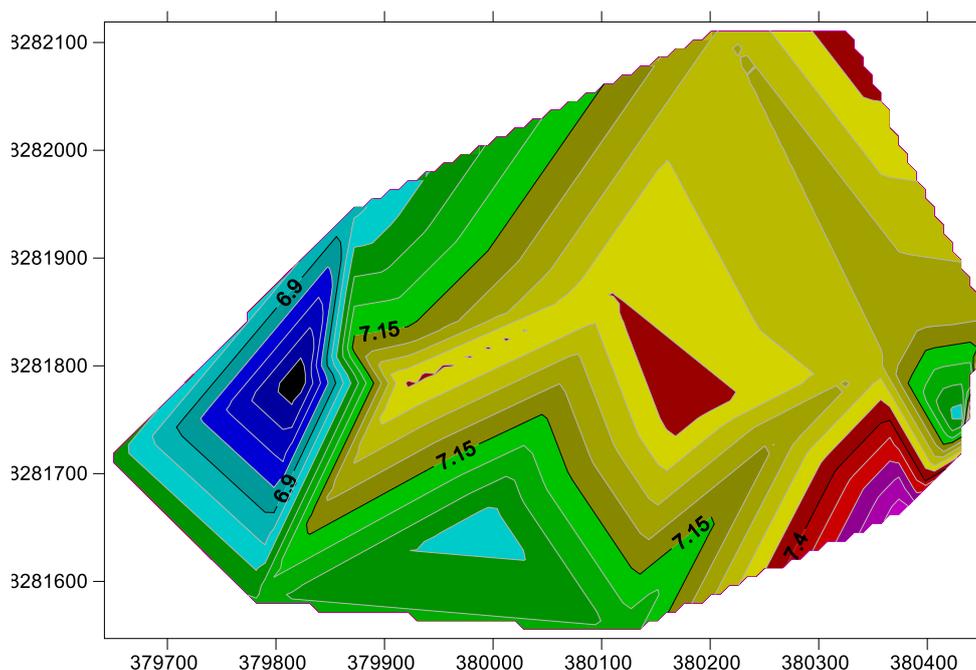
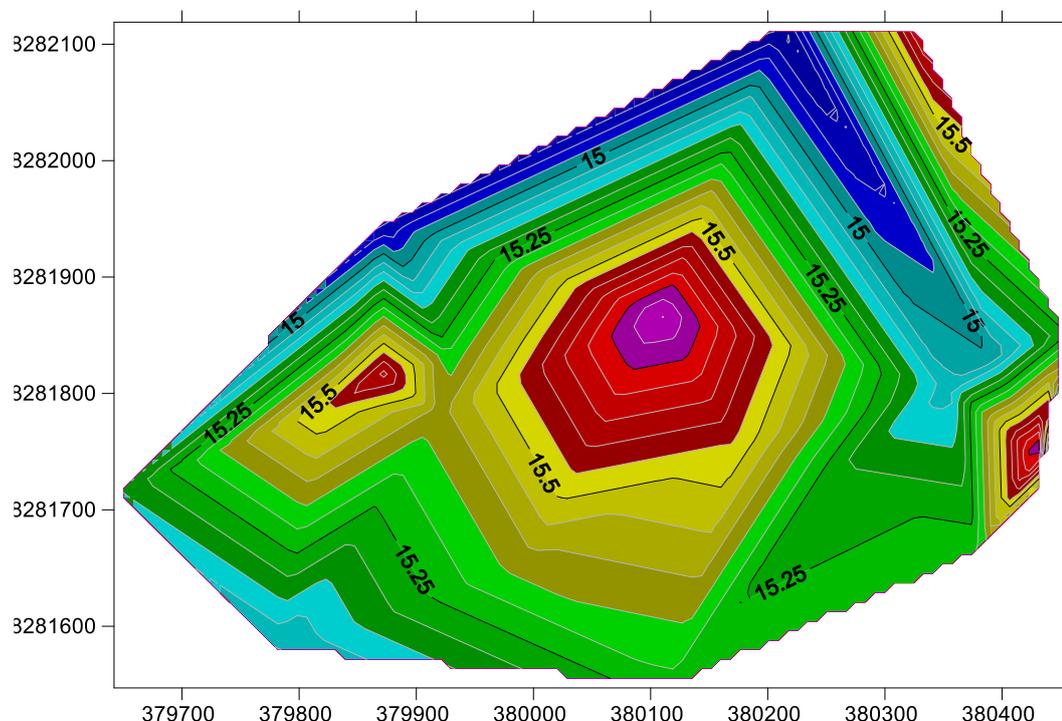


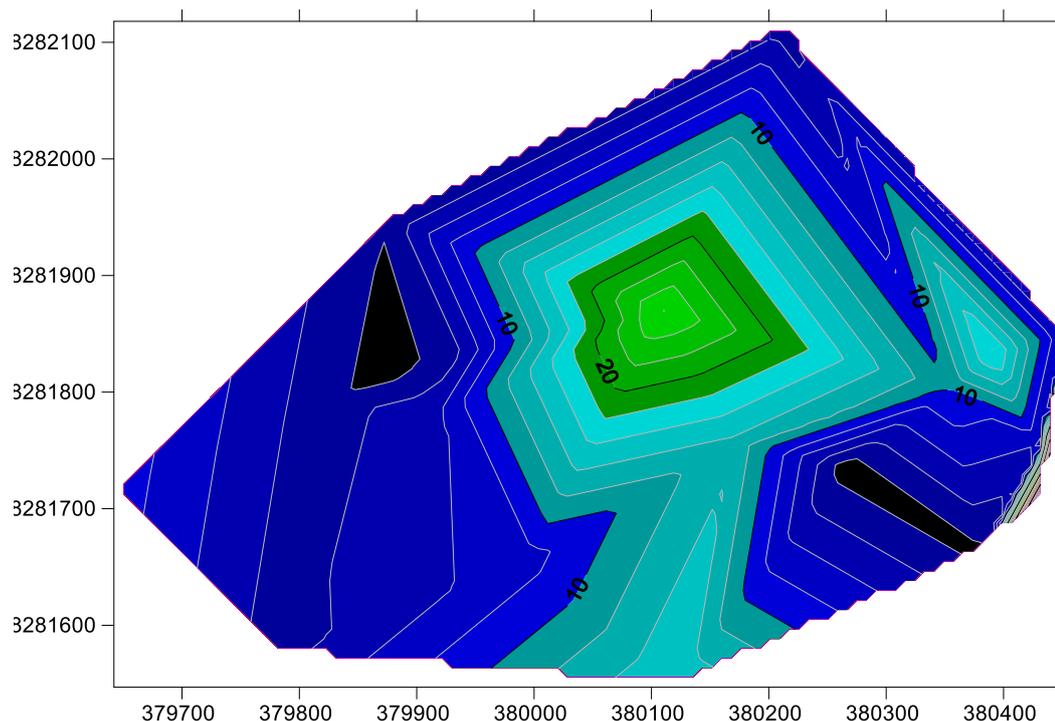
Figura 28. Comportamiento del pH en la urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca.

Para interpretar los resultados de las muestras obtenidas en campo, se ha elaborado un mapa del comportamiento de la temperatura en las aguas subterráneas de la urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca, elaborados con Surfer ® 14.0.599 mapa del comportamiento de la temperatura en las aguas subterráneas ver Figura 29.



*Figura 29.* Comportamiento de la temperatura en °C de las aguas subterráneas de la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca, Elaborado por el autor con software geotécnico Surfer ® 14.0.599.

Finalmente para interpretar los resultados de las muestras obtenidas en campo, se ha elaborado un mapa del comportamiento de la turbidez e NTU en las aguas subterráneas de la urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca, elaborados con el software geotécnico Surfer ® 14.0.599 mapa del comportamiento de la turbidez en las aguas subterráneas ver Figura 30, el cual nos muestra claramente en campo el comportamiento de la turbidez según la ubicación de los pozos de aguas subterráneas dentro de la urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca.



*Figura 30.* Comportamiento de la turbidez en NTU de las aguas subterráneas de la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca, Elaborado por el autor con software geotécnico Surfer ® 14.0.599.

De la Figura 28, podemos interpretar lo siguiente, al oeste de la Urbanización Satélite las aguas tienen una tendencia a ser ácidas, debido a que sus valores están por debajo de 7 unidades de pH, al sur ligeramente básico o alcalino, debido a que ligeramente supera las 7 unidades de pH, al norte ligeramente básico o alcalino porque ligeramente supera las 7 unidades de pH y al este una tendencia elevada a ser básica o alcalino, puesto que los valores leídos son elevados con referencia a las 7 unidades de pH, llegando hasta 7.65 unidades de pH; En cuanto a la temperatura tiene un comportamiento más elevado al centro de la urbanización cerca de la plaza Satélite y con niveles más bajos al norte colindante con la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez ver Figura 29 y finalmente respecto a la turbidez en el sur, norte, este y oeste de la urbanización Satélite las muestras de agua tienen una turbidez menores a 10 NTU evidenciando que la calidad de las aguas subterráneas tienden a ser de mejor calidad, mientras que en la parte central una tendencia a ser más turbia puesto que los valores superan los 20 NTU lo que muestra que las aguas subterráneas contienen mayor cantidad de sólidos en suspensión.

## 4.2 Discusión

El diseño de prototipo de medición de parámetros físico-químicos de aguas subterráneas, para lo cual se ha elegido los dispositivos electrónicos de bajo costo, tales como hardware y software libre de Arduino Mega 2560, módulos de sensores de pH, temperatura y turbidez, a la vez un servidor web Apache y una red inalámbrica local para visualización de usuarios, la implementación de hardware, se ha realizado con dispositivos electrónicos como hardware y software libre de Arduino Mega 2560, Módulos de Sensores de pH, temperatura y turbidez, a la vez un servidor web Apache y una red inalámbrica local para visualización de usuarios, también se desarrolló el algoritmo de software de fácil manipulación, a través del software IDE arduino & processing y la base de datos a través de Apache HTTP Server, diseño que difiere con el propuesto por (Bhatti *et al.*, 2017), quien propone que las imágenes obtenidas del monitoreo pueden utilizarse como mapas informativos para los agricultores, mientras (Abrego *et al.*, 2016) desarrolla un modelo de evaluación del éxito de los Sistemas de Información para la toma de decisiones con el objetivo alcanzar las metas, y empleó la técnica estadística de mínimos cuadrados parciales, a la vez la incorporación de Tecnologías de la Información en una organización o actividad implica ventaja competitiva, siempre y cuando se haga un uso adecuado de dicha tecnología, la gestión adecuada de los procesos existentes entre las actividades preponderantes deriva en la obtención de ventajas competitivas (Ramirez & Vega, 2015), El diseño que obtuvimos fue similar al obtenido por (Perez & Rodriguez, 2016), ya que el resultado de su diseño fue un procesador Arduino Mega, un termómetro LM35, para medir el pH se utilizó el sensor SEN0161, y la turbidez con un sensor de turbidez de conversión análogo/digital, En lo que respecta a la precisión que hemos logrado con nuestro prototipo de medición de parámetros físico-químicos de aguas subterráneas hemos logrado un error relativo de  $\pm 0.0418\%$  en la medición de pH, un error relativo de  $\pm 2.8847\%$  en las mediciones de temperatura y un error relativo de  $\pm 3.07385\%$  en la medición de turbidez en NTU, sin embargo (Dussán *et al.*, 2016) obtuvieron un error relativo de  $\pm 1.13\%$  con respecto al sensor de temperatura y  $\pm 6.25\%$  como confiabilidad del sistema, además mencionan que el desarrollo de prototipo de medición de parámetros físico-químicos del agua a pesar de su funcionamiento óptimo a través de un proceso de mejoramiento de capacidad de generación de funciones, es posible darle continuidad a la investigación al incluir funciones adicionales.

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis alternativa general que establece que existe relación de dependencia entre el prototipo de medición de parámetros físico-químicos y el monitoreo de las aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.

Se realizó la validación de los parámetros a medir utilizando equipos de fabricación referenciales y calibrados; para el pH, temperatura se utilizó el medidor de sobremesa de electroquímica (Thermo Scientific Orion Versa Star Pro) del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano y un turbidímetro de Wagtech WAG – WT3020 – 476721 del Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano; se preparó 8 muestras para la calibración de nuestro prototipo de medición de parámetros físico-químicos como se ve en la Tabla 8 y así mejorar la precisión en los parámetros del sistema, el comportamiento de nuestro prototipo de medición de parámetros físico-químicos, trabajo que parcialmente coincidimos con (Torres, 2016) quien manifiesta que para la integración e interpretación de datos de la calidad del agua, diferentes países han desarrollado diversos índices de calidad en función de sus necesidades y facilidad de manejo. Para la realización del prototipo de medición de parámetros físico-químicos de aguas subterráneas; se aplicó la teoría dispositivos electrónicos, sensores, microcontroladores, programación y comunicaciones inalámbricas y así motivar a los futuros investigadores, desarrolladores aplicaciones prácticas en dichas materias.

Para la determinación de calidad de agua obtenida a partir de pozos artesianos en la ciudad de Juliaca, se han considerado veinte pozos artesianos de acuerdo al diseño estadístico modelo superficie de multirespuesta (MSMR), esto por tener tres variables de respuesta pH, temperatura y turbidez, la ubicación geográfica de los pozos han sido elegidos aleatoriamente por recomendación del MSMR; el análisis de calidad de agua se realizó para cada una de las muestras obtenidas de estos pozos artesianos y tubulares encontrados en la zona de estudio ver Tabla 9; los valores obtenidos para cada uno de los parámetros analizados se compararon con los establecidos en el reglamento de calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010 SA mostrados en la Tabla 2 y se observó que de acuerdo al potencial de hidrógeno encontrado en la totalidad de muestras de las aguas subterráneas que se encuentran en un rango de 6.65 a 7.65 unidades de pH, la temperatura

en un rango de 14.78 a 15.86 °C y la turbidez en un rango de 0.99 a 52.5 NTU como se puede ver en la Tabla 9, dado que el 55% de las muestras obtenidas superan las 5 UNT el criterio de potabilización se ubicó en la primera y segunda columna, categorías A1 y A2 de la Tabla 2, donde podemos observar que el potencial de hidrógeno está entre 6.5 a 8.5 y 5.5 a 9.0 respectivamente en unidades de pH y la turbidez menores a las 100 UNT, lo cual nos hace posible recomendar que para potabilizar el agua subterránea de la urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca requiere de desinfección y tratamiento convencional como se puede observar en la Tabla 10, sin embargo estos resultados guardan parcial relación con lo que sostiene (Tacuri, 2019) quien señala que los datos obtenidos en la Av. Circunvalación 2, margen derecho e izquierdo del río Torococha de la ciudad de Juliaca, tienen un pH entre 7.63 a 8.37 y una turbidez de 5 en las diez muestras obtenidas, y según el resultado que hemos obtenido nosotros en la Urbanización Satélite tenemos un pH entre 6.65 a 7.65, turbidez entre 0.99 a 52.5 NTU y temperatura entre 14.78 a 15.86 °C, la autora expresa que las aguas de pozos no son aptas para el consumo humano. Ello es concordante con lo que en este estudio se halla. Pero, en lo que no concuerda el estudio de la autora referida con el presente, es que ella menciona que el pH de las aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca es básico y la turbidez de las diez muestras analizadas tienen un valor de 5 NTU algo que evidencia que no hubo un control adecuado de las muestras, en este estudio la turbidez se encuentra en un rango entre 0.99 a 52.5 NTU difiriendo enormemente con la autora. Criterio con el que coincidimos con (Mendoza, 2018) para realizar los criterios de calidad del agua, sin embargo (Hernandez, 2016) manifiesta que no solamente basta con realizar el estudio de los parámetros desarrollados en el presente estudio, puesto que propone que se haga un estudio mas minucioso como el contenido de coliformes fecales, contenido de agentes químicos como plaguicidas y manganeso, esto debido a la zona de estudio donde ha desarrollado su trabajo de investigación, por otra parte (Escobar, 2019) manifiesta que los parámetros fisicoquímicos obtenidos fueron oxígeno disuelto 6.81 mg/L, potencial de hidrógeno 8.79, conductividad eléctrica, temperatura 14.4°C, nitritos (NO<sub>2</sub>) y nitratos (NO<sub>3</sub>) 0.01 mg/L, fosfatos (PO<sub>4</sub>) 0.09 mg/L, Amonio (NH<sub>4</sub>-N) 0.13 mg/L, dióxido de carbono 0.28 mg/L, valores que guardan cierta coincidencia con nuestro estudio; también debemos mencionar a (Suárez, 2019) obteniéndose temperaturas que oscilaron de 13.1°C a 14.4 °C; turbidez de 0.05 a 1.11 UNT; sólidos disueltos totales de 296 a 369 mg/L; color < LCM, Ph de 6.95 a 7.90; cloruros de 1.95 a 7.15 mg/L; fluoruros de 0.090 a 0.216 mg/L, fosfatos < LCM, nitratos de 0.99 a 11.75 mg/L, nitritos < LCM, sulfatos de 1.33 a 100.30

mg/L, coliformes totales de 1.0 a 5400 NMP/100mL y coliformes fecales de 1.0 a 170 NMP/100mL, concluyendo que la calidad físicoquímica del agua de consumo humano no exceden los LMP de calidad del agua, conclusiones con las que estamos de acuerdo en los aspectos de turbidez, temperatura y pH. Con respecto a las aguas subterráneas (Ezugwu, Onwuka, Egbueri, Unigwe, & Ayejoto, 2019) manifiestan que los parámetros físicos analizados, las mediciones de pH revelaron que el agua subterránea es ligeramente ácida, con un valor de pH promedio de 5.10 para la zona de estudio, con lo que coincidimos parcialmente, (Ahmed *et al.*, 2019) En el dominio de los intereses, los parámetros de calidad del agua incluyen principalmente nitrógeno amoniacal, sólido suspendido y pH. Para evaluar los impactos en el modelo.

## CONCLUSIONES

- En el diseño de Prototipo de Sistema de Información para Monitoreo de Parámetros Fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca, se utilizó hardware y software libre, como Arduino Mega 2560, Módulos de Sensores de pH, temperatura y turbidez, a la vez un servidor y una red inalámbrica local para visualización de usuarios, que en conjunto forman el Sistema de Información de apoyo a decisiones, para poder medir los parámetros fisicoquímicos de las aguas subterráneas.
- El diseño de un prototipo para medición de parámetros fisicoquímicos, se utilizó hardware y software libre, como Arduino Mega 2560, Módulos de Sensores de pH, temperatura y turbidez, a la vez un servidor web Apache y una red inalámbrica local para visualización de usuarios. con uso de los métodos de Arduino, método de superficie de respuesta, para la optimización del prototipo, el cual tuvo un error relativo de  $\pm 0.0418$  % en la medición de pH, un error relativo de  $\pm 2.8847$  % en las mediciones de temperatura y un error relativo de  $\pm 3.07385$  % en la medición de turbidez en NTU.
- Se realizó el monitoreo utilizando el prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca, donde los resultados obtenidos presentan valores de pH entre 6.65 a 7.65, turbidez entre 0.99 a 52.5 NTU y temperatura entre 14.78 a 15.86 °C, por lo que las aguas en la zona de estudio para su potabilización requieren de desinfección y tratamiento convencional.

## RECOMENDACIONES

- Se sugiere que el Prototipo de Sistema de Información para Monitoreo de Parámetros Fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca, sea implementado con más sensores aparte de pH, temperatura y turbidez, para mejorar la cantidad de datos que nos recomienda el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Salud.
- Se sugiere el desarrollo de más prototipos utilizando hardware y software libre, debido al avance de la tecnología y así poder automatizar el proceso de medición de parámetros de la calidad del agua.
- Se recomienda realizar el monitoreo utilizando el prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca, puesto que el crecimiento demográfico es acelerado, los resultados de la medición de la calidad de las aguas subterráneas de la urbanización Satélite indican que no son aptas para el consumo humano, por lo que para ser potabilizadas requieren de desinfección y tratamiento convencional, por los variados niveles de turbidez.

**BIBLIOGRAFÍA.**

- Abrego, D., Sánchez, Y., & Medina, J. M. (2016). Influencia de los sistemas de información en los resultados organizacionales. *Contaduría y Administración*, (CYA-108), 18.  
<https://doi.org/10.1016/j.cya.2016.07.005>
- Ahmed, A. N., Othman, F. B., Afan, H. A., Ibrahim, R. K., Fai, C. M., Hossain, M. S., ... Elshafie, A. (2019). Machine learning methods for better water quality prediction. *Journal of Hydrology*, 578(August), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124084>
- Apaza, J. L. (2017). *Modelado de un péndulo invertido móvil, usando hardware y software libre*. Universidad Nacional del Altiplano. Retrieved from  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8754>
- Association, A. P. H., Association, A. W. W., & Federation, W. P. C. (1999). *Standard methods for the examination of water and wastewater*.
- Autoridad Nacional del Agua. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA), Pub. L. No. Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, 92 (2016). Perú: Autoridad Nacional del Agua (Ministerio de Agricultura y Riego).
- Bhatti, M. T., Anwar, A. A., & Aslam, M. (2017). Groundwater monitoring and management: Status and options in Pakistan. *Computers and Electronics in Agriculture*, 135, 143–153.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.12.016>
- Crichigno, A., Becker, L., Orellana, M., Larraza, R., Mirena, G., Battini, M., & Cussac, V. (2017). Rainbow trout adaptation to a warmer Patagonia and its potential to increase temperature tolerance in cultured stocks. *Aquaculture Reports*, (October), 7.  
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.11.001>
- Dalens, J. (2018). *Evaluación de la calidad del agua de la cuenca Llallimayo de la provincia de Melgar, región de Puno*. Universidad José Carlos Mariategui. Retrieved from  
[http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/ujcm/640/Jesus\\_tesis\\_gradoacademico\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/ujcm/640/Jesus_tesis_gradoacademico_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Del Águila, J. (2019). *Relación de los parámetros físicos y químicos en la pesquería del río Ucayali, Loreto entre los años 2005 al 2015*. Universidad Nacional de la Amazonía

- Peruana. Retrieved from  
[http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6179/Javier\\_Tesis\\_Doctorado\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6179/Javier_Tesis_Doctorado_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- DFRobot Electronic. (2018). Turbidity sensor SKU: SEN0189.
- Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud Lima – Perú. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N ° 031-2010-SA., Pub. L. No. DS N° 031-2010-SA, 44 (2010). Lima, Lima: Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud.
- Dussán, S., Vanegas, O., Chavarro, A., & Molina, J. (2016). Diseño e implementación de un prototipo electrónico para monitoreo de parámetros físico-químicos en cultivo de tilapia a través de una aplicación móvil. *Informador Técnico*, 49–60.  
[https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/315918734\\_Disenio\\_e\\_implementacion\\_de\\_un\\_prototipo\\_electronico\\_para\\_monitoreo\\_de\\_parametros\\_fisico-quimicos\\_en\\_cultivo\\_de\\_tilapia\\_a\\_traves\\_de\\_una\\_aplicacion\\_movil](https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/315918734_Disenio_e_implementacion_de_un_prototipo_electronico_para_monitoreo_de_parametros_fisico-quimicos_en_cultivo_de_tilapia_a_traves_de_una_aplicacion_movil)
- Escobar, F. (2019). *Determinación de parámetros físico-químicos y niveles de metales pesados en agua y sedimentos en la zona de crianza de truchas (Orcorhynchus mykiss), bahía de Puno del lago Titicaca*. Universidad Nacional del Altiplano. Retrieved from  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10379>
- Ezugwu, C., Onwuka, O., Egbueri, J., Unigwe, C., & Ayejoto, D. (2019). Multi-criteria approach to water quality and health risk assessments in a rural agricultural province, southeast Nigeria. *HydroResearch Regional Studies, Global Impact*, 19(8), 1–27.  
<https://doi.org/10.1016/j.hydres.2019.11.005>
- Hahn, C., Toro, D., Grajalas, A., Duque, G., & Serna, L. (2009). Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, municipio de Palestina, Colombia. In Museo de Historia Nacional (Ed.), *Boletín científico Centro de Museos Museo de Historia Nacional* (Vol. 13, pp. 89–105). Caldas: Boletín científico Centro de Museos Museo de Historia Nacional. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v13n2/v13n2a06.pdf>
- Hernandez, C. (2016). *Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora, en la Comunidad de 4 Millas de Matina, Limón*. Universidad Nacional. Retrieved from  
[https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/13212/2016\\_Hernandez\\_LicContaminacion\\_Agua.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/13212/2016_Hernandez_LicContaminacion_Agua.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. (J. Mares, Ed.) (Quinta Edición). México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Herrera, J. L., & Valdivia, E. J. (2018). *Niveles de precipitaciones proyectadas en la cuenca del*

- Valle de Cajamarca para un horizonte de 10 años, que permita identificar zonas de riesgo.* (Tesis pregrado) Universidad Privada Antonio Guillermo Urrulo. Retrieved from <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/783>
- Hosseini, M., & Kerachian, R. (2017). A data fusion-based methodology for optimal redesign of groundwater monitoring networks. *Journal of Hydrology*, 552. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.046>
- Ibañez, V. (2009). *Análisis y diseño de experimentos*. (Editorial Universitaria UNA, Ed.) (Primera ed). Puno: Editorial Universitaria UNA.
- Instituto de Diseño de Interacción Ivrea. (2019). Arduino Mega 2560 Rev3.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2007). Censos Nacionales 2007: XI de población y VI de vivienda. lima: Centro de Edición de la Oficina Técnica de Difusión del INEI. Retrieved from [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1136/libro.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1136/libro.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática. Retrieved from [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1136/libro.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1136/libro.pdf)
- Lastra, D. (2015). *Modelo analógico y digital en SystemC-AMS de la placa Arduino Mega 2560*. (Tesis pregrado) Universidad de Cantabria. Retrieved from <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/7348>
- Mendoza, M. A. (2018). *Evaluación Físicoquímica de la calidad del agua superficial en el centro poblado de Sacsamarca, Región Ayacucho, Perú*. (Tesis Maestría) Pontificia Universidad Católica del Perú. Retrieved from [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/12256/MENDOZA\\_FUENTES\\_MIGUEL\\_AGUA\\_SUPERFICIAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/12256/MENDOZA_FUENTES_MIGUEL_AGUA_SUPERFICIAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Menendez, W. M. (2018). *Evaluación de los parámetros físicoquímicos y calidad bacteriológica del río Coata - región Puno 2015*. (Tesis maestría) Universidad José Carlos Mariategui. Retrieved from [http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/ujcm/546/Wilfredo\\_tesis\\_grado-academico\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/ujcm/546/Wilfredo_tesis_grado-academico_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ministerio de Agricultura y Riego; Ministerio del Ambiente; Ministerio de Energía y Minas; Ministerio de la Producción; Ministerio de Salud; Ministerio de Vivienda, C. y S. Estándares de Calidad Ambiental ( ECA ) para Agua Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Pub. L. No. Decreto Supremo 004-2017-MINAM, 10 (2017). Perú: Diario Oficial EL Peruano.

- Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments*. (I. John Wiley & Sons, Ed.) (Eight edit). Arizona: John Wiley & Sons, Inc.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2009). *Response surface methodology* (Third edit). New Jersey.
- Perez, N. E., & Rodriguez, L. A. (2016). *Prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos para determinar la relación entre indicadores biológicos y calidad del agua en el humedal Santa María del lago - Bogotá*. (Tesis maestría) Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3426/7/RodríguezCasasLauraAngélica2016.pdf>
- Ramirez, J., & Vega, O. (2015). Sistemas de información gerencial e innovación para el desarrollo de las organizaciones. *Télématique*, 14(1856–4194), 201–213. Retrieved from <http://ojs.urbe.edu/index.php/telematique/article/view/2715/2474>
- Rivas, R. (2010). *Diseño e implementación de un módulo automatizado para el control de turbidez de fluidos industriales*. (Tesis pregrado) Universidad Politécnica Salesiana Ecuador. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2408/16/UPS-GT000135.pdf>
- Rodriguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio , pH , conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviemb. *Revista Pensamiento Actual, Universidad de Costa Rica*, 9(12–13), 125–134. <https://doi.org/ISSN1409-0112>
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172–181.
- Scidle Science and technology. (n.d.). Cómo usar un sensor de pH con Arduino.
- Suárez, I. (2019). *Calidad del agua de consumo humano del Anexo La Asunción (José Sabogal-San Marcos-Cajamarca) influenciada por la planta de tratamiento de aguas servidas del centro urbano Venecia*. (Tesis maestría) Universidad Nacional de Cajamarca. Retrieved from <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3443>
- Tacuri, R. (2019). *Determinación de la calidad de agua de pozos artesianos y sus aspectos ambientales asociados, Juliaca, Puno, 2018*. (Tesis maestría) Universidad Nacional de San Agustín. Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8842/UPMtaror.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres, L. A. (2016). *Distribución espacio-temporal de la contaminación del agua del río Chumbao Andahuaylas, Apurímac, Perú. 2011-2012*. (Tesis doctoral) Universidad

- Nacional de Trujillo. Retrieved from  
[http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4930/TESIS DOCTORAL LUZ  
AZUCENA TORRES GARCÍA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4930/TESIS%20DOCTORAL%20LUZ%20AZUCENA%20TORRES%20GARCÍA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Vargas, S., & Calvo, J. (2018). Sistema Nefelometrico Auto-referenciado Inmune a Fuentes de Luz Externas. *KnE Engineering E*, 2018(2017), 111–119.  
<https://doi.org/10.18502/keg.v3i1.1418>
- Vélez, Y. J. (2017). *Mejoramiento de la calidad del agua de pozo a partir de un tratamiento físico químico para su utilización como agua de consumo humano en el distrito de Vegueta 2015-2016*. (Tesis maestría) Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Retrieved from  
[http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/1372/TESIS RESUMEN- ING  
VELEZ CHANG YASMIN JESUS.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/1372/TESIS%20RESUMEN-%20ING%20VELEZ%20CHANG%20YASMIN%20JESUS.pdf?sequence=3&isAllowed=y)



**ANEXOS**

**ANEXO 1.** Resultados de monitoreo de parámetros fisicoquímicos

Tabla 12

*Resultados obtenidos del monitoreo de parámetros fisicoquímicos de la Urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca.*

N° Muestra	COORDENADAS		ALTITUD	Potencial de Hidrógeno (pH)	Temperatura (°C)	Turbiedad (UNT)
	ESTE	NORTE				
P-1	380326	8282119	3826	7.40	15.72	4.00
P-2	380211	8282118	3830	7.25	14.78	2.79
P-3	379870	8281948	3826	6.93	14.83	2.11
P-4	379822	8281788	3826	6.65	15.56	2.76
P-5	379642	8281715	3827	7.04	15.14	9.07
P-6	379779	8281576	3830	7.06	15.04	3.07
P-7	379993	8281655	3828	6.97	15.38	7.16
P-8	380118	8281547	3840	7.06	15.28	16.03
P-9	380380	8281661	3827	7.65	15.29	1.49
P-10	380435	8281716	3829	7.39	15.31	52.50
P-11	380430	8281749	3828	6.96	15.82	5.66
P-12	380354	8281805	3832	7.26	15.07	10.16
P-13	380391	8281833	3830	7.20	15.00	18.45
P-14	380456	8281851	3825	7.22	15.25	4.96
P-15	380264	8281737	3828	7.20	15.20	1.02
P-16	380172	8281758	3823	7.39	15.55	13.58
P-17	379919	8281783	3829	7.36	15.38	5.86
P-18	379928	8281832	3830	7.16	15.31	2.78
P-19	379872	8281817	3825	7.17	15.67	0.99
P-20	380109	8281869	3832	7.35	15.86	26.20

FUENTE: Elaborado por el autor.

**ANEXO 2.** Código Fuente de prototipo de medición de parámetros físicoquímicos del agua.

Se realizó el siguiente código fuente para el desarrollo del prototipo de medición de parámetros físicoquímicos del agua.

```
#cabecera
{
clear: both;
width: 892px;
height: 112px;
border: 4px solid #99aabb;
background: #ddeeff;
}
#figura01
{
float: left;
width: 80px;
height: 110px;
margin: 0px;
padding: 0px;
border: 1px solid #ddeeff;
}
#titulos
{
float: left;
text-align: center;
width: 722px;
height: 110px;
margin: 0px;
padding: 0px;
color: #99aabb;
border: 1px solid #ddeeff;
background: #ddeeff;
}
#figura02
```

```
{
float: left;
width: 80px;
height: 110px;
margin: 0px;
padding: 0px;
border: 1px solid #ddeeff;
}
h2
{
margin: 0px;
padding: 0px;
}
h3
{
margin: 0px;
padding: 0px;
}
h4
{
margin: 0px;
padding: 0px;
}
#cajalienzo
{
float: left;
margin: 0px;
padding: 0px;
border: 4px solid #99aabb;
border-top: 0px;
border-right: 0px;
background: #bbdddd;
}
#lienzo
{
float: left;
margin: 0px;
```

```
padding: 0px;
}
#cajadesplegable
{
float: left;
width: 288px;
height: 1200px;
margin: 0px;
padding: 0px;
border: 4px solid #99aabb;
border-top: 0px;
background: #ddeeff;
}
#cajaformulario
{
float: left;
width: 288px;
height: 30px;
margin: 0px;
padding: 0px;
border: 2px solid #99aabb;
border-top: 0px;
border-left: 0px;
border-right: 0px;
background: #ddeeff;
}
form
{
float: left;
height: 30px;
margin: 0px;
padding: 0px;
}
p
{
float: left;
height: 30px;
```

```

margin: 0px;
padding: 0px;
}
input
{
float: left;
height: 30px;
margin: 0px;
padding: 5px;
}
#cajados
{
float: left;
width: 244px;
margin: 10px;
padding: 10px;
font-size: 13px;
color: #99aabb;
border: 2px solid #99aabb;
background: #eeeeff;
}
#cajados > div
{
margin: 10px;
padding: 10px;
border-bottom: 1px solid #99aabb;
background: #ddeeef;
}

```

#### SCRIPT

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="es">
<head>
<title>APPFQA</title>
<meta http-equiv="refresh" content="120">
<link rel="stylesheet" href="css01.css">

```

```

<script src="script_01.js"></script>
</head>
<body>
<header id="cabecera">
<figure id="figura01">

</figure>
<nav id="titulos">
<font face="arial black, aharoni">
<h2>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</h2>
<h3>MAESTR&Iacute;A EN INFORM&Aacute;TICA</h3>
<h4>PARAMETROS F&Iacute;SICO QU&Iacute;MICOS DEL AGUA</h4>
<h4>Lucio Quispe Apaza</h4>
</font>
</nav>
<figure id="figura02">

</figure>
</header>
<section id="cajalienzo">
<canvas id="lienzo" width="600" height="1200">
Su navegador no soporta el elemento canvas
</canvas>
</section>
<aside id="cajadesplegable">
<article id="cajaformulario">
<form name="formulario">
<p><input type="button" id="mostrar" value="Mostrar"></p>
<p><input type="button" id="cerrar" value="Cerrar"></p>
</form>
</article>
<font face="arial black, aharoni">
<article id="cajadatos">
No hay informaci3n disponible
</article>
</font>
</aside>

```

```
</body>
```

```
</html>
```

## EJEMP1

```
<!DOCTYPE html>
```

```
<html lang="es">
```

```
<head>
```

```
<title>APPFQA</title>
```

```
<meta http-equiv="refresh" content="120">
```

```
<link rel="stylesheet" href="css01.css">
```

```
<script src="script_01.js"></script>
```

```
</head>
```

```
<body>
```

```
<header id="cabecera">
```

```
<figure id="figura01">
```

```

```

```
</figure>
```

```
<nav id="titulos">
```

```
<font face="arial black, aharoni">
```

```
<h2>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</h2>
```

```
<h3>MAESTR&Iacute;A EN INFORM&Aacute;TICA</h3>
```

```
<h4>PARAMETROS F&Iacute;SICO QU&Iacute;MICOS DEL AGUA</h4>
```

```
<h4>Lucio Quispe Apaza</h4>
```

```
</font>
```

```
</nav>
```

```
<figure id="figura02">
```

```

```

```
</figure>
```

```
</header>
```

```
<section id="cajalienzo">
```

```
<canvas id="lienzo" width="600" height="1200">
```

Su navegador no soporta el elemento canvas

```
</canvas>
```

```
</section>
```

```
<aside id="cajadesplegable">
```

```
<article id="cajaformulario">
```

```
<form name="formulario">
<p><input type="button" id="mostrar" value="Mostrar"></p>
<p><input type="button" id="cerrar" value="Cerrar"></p>
</form>
</article>
<font face="arial black, aharoni">
<article id="cajados">
No hay información disponible
</article>
</font>
</aside>
</body>
</html>
```