

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS:

**Automatización de control de caudal del proceso de cloración
para producir agua potable utilizando Arduino, en la comunidad
de Sapani del distrito de Raymondi, Ucayali, 2024**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

Bach. Roel Pepe PEREZ HUALLPA

ASESOR:

Mg. Aníbal Pablo GARCIA BENDEZU

COASESOR:

Mg. José Alberto CUEVA VARGAS

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A mis padres Donatilda y Leoncio, por brindarme toda la comprensión, apoyo incondicional y la confianza a lo largo de mi vida

A mis hermanos: Jhon, Jhover, Ruth y Beto, por el apoyo que me brindaron y compartido muchas experiencias.

A mis amores Adda Xiomara mi motor y motivo que me impulsa a seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

A Dios por contar siempre con su bendición, por darme la vida, salud y fuerza para alcanzar mis metas.

A mi alma mater Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

A la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Química, por brindarnos el conocimiento necesario y permitir alcanzar los objetivos a nivel profesional.

A la Municipalidad Provincial de Atalaya por brindarme apoyo y permitir concluir el trabajo de investigación.

A la Red de Salud de Atalaya por brindarme apoyo con los equipos necesarios para el monitoreo de los parámetros importantes.

A la comunidad Nativa de Sapani por confiar en este proyecto de investigación y permitir la realización de esta investigación que resulto de gran beneficio para ésta.

Agradecimiento al Mg. Aníbal Pablo García Bendezú y al Ing. José Alberto Cueva Vargas, asesores de este proyecto, por su confianza y los conocimientos brindados en la ejecución del presente trabajo.

A mis padres, por brindarme todo su amor, apoyo incondicional y confianza en cada paso y decisión tomada en nuestras vidas.

A mi amigo Isaac Vargas Diaz por su apoyo en el trabajo de evaluación e implementación del medidor de caudal ultrasónico en el sistema de agua potable de Sapani.

RESUMEN

La presente investigación se enmarca en el estudio de “Automatización de control de caudal del proceso de cloración para producir agua potable utilizando Arduino, en la comunidad de Sapani del distrito de Raymondi, Ucayali, 2024”. Para automatizar el control de caudal del proceso de cloración para producir agua potable empleando Arduino y mejorar la operación y las condiciones de optimización de análisis de los parámetros del agua destinadas para el consumo humano de la comunidad nativa de Sapani.

Para la fabricación del medidor ultrasónico de caudal empleando Arduino, se procedió a evaluar las condiciones del sistema de cloración del sistema abastecimiento de agua de la localidad, todo esto para contar con las condiciones necesarias para garantizar una evaluación adecuada del medidor ultrasónico de caudal, guiándose por los parámetros del reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano DS N°031-2010-SA y la Guía de Opciones Tecnológicas para Sistemas de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano y Saneamiento en el Ámbito Rural de la RM-173-2016-VIVIENDA.

Se diseñó el prototipo cuyo sistema de control es de lazo cerrado, siendo el nivel del agua la variable controlada para determinar el caudal. Con las condiciones necesarias establecidas, se procedió a instalar y evaluar el dispositivo de medidor ultrasónico de caudal empleando Arduino; además, se realizó el programa del sistema en la plataforma Arduino IDE. En base a los resultados obtenidos de caudal promedio de ingreso del agua al reservorio que ha sido de 0,17 L/s, la cantidad de hipoclorito de calcio granulado como promedio fue de 1,02 kg, y se determinó la concentración de cloro residual que se encuentran entre el rango de 0,5 - 1,0 mg/L que cumplen de acuerdo a las normas establecidas.

Palabras Claves: Automatización, Caudal, Cloración, Arduino, Sapani.

ABSTRACT

This research is part of the study "Automation of flow control of the chlorination process to produce drinking water using Arduino, in the community of Sapani, Raymondi district, Ucayali, 2024." The purpose is to automate the flow control of the chlorination process to produce drinking water using Arduino and improve the operation and optimization conditions for analyzing the parameters of water intended for human consumption in the native community of Sapani.

For the manufacture of the ultrasonic flow meter using Arduino, the conditions of the chlorination system of the town's water supply system were evaluated, all this to have the necessary conditions to guarantee an adequate evaluation of the ultrasonic flow meter, guided by the parameters of the regulation of Water Quality for Human Consumption DS N°031-2010-SA and the Guide of Technological Options for Water Supply Systems for Human Consumption and Sanitation in the Rural Area of RM-173-2016-VIVIENDA.

A prototype was designed with a closed-loop control system, with water level as the controlled variable to determine flow rate. Once the necessary conditions were established, the ultrasonic flow meter was installed and evaluated using Arduino; the system program was also developed using the Arduino IDE platform. Based on the results obtained from the average flow rate of water entering the reservoir, which was 0.17 L/s, the average amount of granulated calcium hypochlorite was 1.02 kg, and the residual chlorine concentration was determined to be within the range of 0.5–1.0 mg/L, which complies with established standards.

Keywords: Automation, Flow, Chlorination, Arduino, Sapani.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
GLOSARIO	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....	2
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.1.1. A nivel internacional	2
1.1.2. A nivel nacional	5
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.3. PROBLEMA PRINCIPAL.....	7
1.3.1. Problemas específicos	7
1.4. OBJETIVOS.....	8
1.4.1. Objetivo principal.....	8
1.4.2. Objetivos específicos	8
1.5. HIPÓTESIS.....	8
1.5.1. Hipótesis general.....	8
1.5.2. Hipótesis específicas.....	8
1.6. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.6.1. Justificación técnica	9
1.6.2. Justificación social.....	9
1.6.3. Justificación de viabilidad.....	9
1.6.4. Justificación ambiental	9
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. EL AGUA	10
2.2. FUENTES DE AGUA.....	11
2.3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	12
2.4. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN ZONA RURAL	12
2.5. SISTEMA DE AGUA POTABLE.....	15
2.6. CALIDAD DEL AGUA POTABLE	16
2.7. DESINFECCIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	16

2.7.1. Cloración del agua	17
2.7.2. Presentaciones del cloro	18
2.7.3. Condiciones para la cloración	20
2.8. SITUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE AGUA EN EL SECTOR RURAL	23
2.9. AUTOMATIZACIÓN.....	24
2.9.1. Definición.....	24
2.9.2. Control automático	25
2.9.3. Sistema de control.....	25
2.9.4. Sistema electrónico	25
2.9.5. Arduino	27
2.9.7. Tarjeta Arduino uno.....	29
2.9.8. Arduino Nano.....	30
2.9.9. Sensor ultrasónico (HC-SR04)	32
2.9.10. Pantalla LCD 16x02	33
2.9.11. Modulo Relé	34
2.9.12. Válvula solenoide	35
2.9.13. Software Arduino y Tinkercad.....	36
2.9.14. Tinkercad.....	37
2.10. INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA).....	38
2.11. MARCO LEGAL.....	39
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	41
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN	41
3.2. LUGAR DE DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	42
3.3. DISEÑO METODOLÓGICO	43
3.4. DISEÑO DE SISTEMA	44
3.4.1. Variable contralada	44
3.4.2. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema	44
3.4.3. Esquema del cableado del sistema electrónico	46
3.5. CRITERIOS DE CONSTRUCCIÓN DEL CONTROL DE CAUDAL	46
3.6. MUESTRA Y UNIVERSO	46
CAPITULO IV. AGUA POTABLE Y PROCESO DE CLORACIÓN EN SAPANI .	50
4.1. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE SAPANI.....	50
4.2. PROCESO DE CLORACIÓN DE SISTEMA DE AGUA POTABLE	51
CAPITULO V. DISEÑO, FABRICACIÓN Y PUESTA EN MARCHA.....	54
5.1. CRITERIOS DE DISEÑO	54
5.2. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MEDIDOR ULTRASÓNICO DE CAUDAL.....	55

5.2.1. Ensamblado de componentes electrónicos en placa de prueba (protoboard)	55
5.2.2. Elaboración de diseño de la placa preliminar	55
5.2.3. Elaboración de diseño preliminar en el Software KICAD	56
5.2.4. Placa o circuito impreso	56
5.2.5. Ensamblado de componentes electrónicos en la placa impresa.	57
5.2.6. Forma del medidor ultrasónico de caudal.....	58
5.2.7. Construcción de estructura para la protección de la placa	59
5.2.8. Programación de códigos en el Software Arduino IDE	59
5.2.9. Prueba del circuito construido antes de la implementación	60
5.2.10. Pruebas del medidor ultrasónico de caudal en el lugar de la investigación.....	60
5.3. PUESTA EN MARCHA DEL MEDIDOR DE CAUDAL CON ARDUINO	61
CAPITULO VI. RESULTADOS	63
6.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA A LA SALIDA DEL RESERVORIO	63
6.2. RESULTADOS DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO	65
6.2.1. Cálculo del caudal según Norma Técnica Peruana	66
6.2.2. Cálculo de caudal método volumétrico:.....	69
6.2.3. Datos de lectura de caudal empleando Arduino.....	72
6.3. RESULTADOS DE CLORO RESIDUAL EN LOS PUNTOS CRÍTICOS.....	79
CAPITULO VII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	81
7.1. POBLACIÓN.....	81
7.2. VIVIENDA Y SANEAMIENTO	81
7.3. COMPORTAMIENTO DE CAUDAL DEL AGUA	81
7.4. RESULTADOS DE EVALUACIÓN MEDIDOR ULTRASÓNICO CON ARDUINO.	83
7.5. COMPORTAMIENTO DE CLORO RESIDUAL EN LOS PUNTOS CRÍTICOS	87
7.6. ANÁLISIS DE COSTOS DEL ESTUDIO REALIZADO	90
7.7. DISCUSION DE RESULTADOS	91
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES.....	94
BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXOS	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ciclo hidrológico del agua	10
Figura 2	Sistema Agua Potable Convencional	13
Figura 3	Tecnología de Cloración Convencional	18
Figura 4	Porcentaje de hogares por acceso de agua por red pública.....	24
Figura 5	Partes del sistema electrónico	26
Figura 6	Circuito de Arduino.....	26
Figura 7	Microcontrolador mega 328	27
Figura 8	Distintas tarjetas Arduino	28
Figura 9	Arduino no oficial (izquierda) y Arduino oficial (derecha).....	28
Figura 10	Placa Arduino Uno	29
Figura 11	Partes de la placa Arduino Nano	30
Figura 12	Señales eléctricas	32
Figura 13	Sensor Ultrasónico-HC-SR04	33
Figura 14	LCD 16X02	34
Figura 15	Relay de 1 canal.....	35
Figura 16	Válvula Solenoide.....	35
Figura 17	Interfaz de Software Arduino IDE	37
Figura 18	Interfaz de aplicación Tinkercad	38
Figura 19	Ubicación geográfica del lugar de la investigación	42
Figura 20	Reservorio (Instalación de medidor de caudal con Arduino)	43
Figura 21	Estructura de diferentes actividades para realizar la investigación	44
Figura 22	Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.....	45
Figura 23	Conexiones de sistema electrónico	46
Figura 24	Equipos para recolección de datos.....	48
Figura 25	Puntos de muestreo de cloro residual	49
Figura 26	Sistema de agua potable de Sapani.....	51
Figura 27	Sistema de cloración por goteo autocompensante	52
Figura 28	Diseño de programación de sistema de cloración con Arduino.....	53
Figura 29	Diagrama de bloque del sistema de lazo cerrado	53
Figura 30	Ensamblado de componentes para la prueba.....	55
Figura 31	Representación en plantilla de la placa.....	56
Figura 32	Diseño de circuito electrónico de medidor.....	56
Figura 33	Diseño e impreso de la placa.....	57
Figura 34	Ensamblado de componentes en la placa.....	58
Figura 35	Placa ensamblada con los componentes electrónicos.....	59

Figura 36 Estructura para la protección de la placa	59
Figura 37 Prueba de la placa con el software Arduino IDE	60
Figura 38 Prueba de medidor ultrasónico de caudal Arduino in situ	61
Figura 39 Sistema de cloración empleando Arduino	62
Figura 40 Panel de control de caudal.....	72
Figura 41 Comportamiento de caudal del agua por método de cálculo.....	82
Figura 42 Comportamiento de caudal durante los 7 días de evaluación	84
Figura 43 Caudal durante los 14 días de la segunda evaluación.....	85
Figura 44 Comportamiento del caudal durante los meses (mayo-octubre 2024)	86
Figura 45 Cantidad de hipoclorito de calcio que va requerir con respecto al caudal... 86	
Figura 46 Lectura de cloro residual para la recarga de 7 días por método volumétrico	87
Figura 47 Lectura de cloro residual para la recarga de 7 días utilizando Arduino	88
Figura 48 Cloro residual respecto al pH de la muestra del agua	88
Figura 49 Lectura de cloro residual de recarga de 14 días con Arduino	89
Figura 50 Lectura de cloro residual de recarga de 21 días con Arduino	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Dotación de Agua según Opción Tecnológica y Región	21
Tabla 2	Características técnicas de Arduino Nano.....	31
Tabla 3	Marco normativo en materia de Agua y Saneamiento	40
Tabla 4	Puntos de muestreo y su georreferenciación	48
Tabla 5	Resumen de datos hidrológico de la fuente	50
Tabla 6	Componentes electrónicos utilizados	54
Tabla 7	Conexión de pines Arduino Nano y LCD 16X02.....	57
Tabla 8	Conexión de pines Arduino Nano y Sensor ultrasónico	57
Tabla 9	Conexión de pines Arduino Nano y modulo Relay	58
Tabla 10	Conexión de pines Arduino Nano, LCD 16X02 y Potenciómetro	58
Tabla 11	Resultados de análisis fisicoquímico y microbiológico del agua para consumo humano a la salida del reservorio.....	64
Tabla 12	Dotación de Agua según Opción Tecnológica y Región	66
Tabla 13	Datos de la demanda de agua	66
Tabla 14	Datos experimentales según el caudal máximo diario	68
Tabla 15	Parámetros de campo analizados.....	68
Tabla 16	Datos de medición de cloro residual en la red de distribución	68
Tabla 17	Valores de tiempo.....	69
Tabla 18	Datos experimentales según el caudal método volumétrico	70
Tabla 19	Datos de parámetros de campo método volumétrico.....	71
Tabla 20	Datos de medición de cloro residual en la red de distribución	71
Tabla 21	Registro de lecturas de cloro residual.....	71
Tabla 22	Resultados de caudal de ingreso de agua con Arduino	72
Tabla 23	Datos experimentales según medición de caudal Arduino	74
Tabla 24	Datos de parámetros de campo utilizando Arduino.....	74
Tabla 25	Datos de medición de cloro residual en la red de distribución	74
Tabla 26	Registro de lecturas de Cloro Residual	75
Tabla 27	Resultados de caudal de ingreso de agua con Arduino	75
Tabla 28	Datos experimentales según medición de caudal con Arduino	76
Tabla 29	Datos de parámetros de campo utilizando Arduino.....	76
Tabla 30	Registro de lecturas de Cloro Residual.	77
Tabla 31	Resultados de caudal de ingreso de agua con Arduino	77
Tabla 32	Datos experimentales según medición de caudal con Arduino por 21 días .	78
Tabla 33	Datos de parámetros de campo con Arduino	78
Tabla 34	Registro de Lecturas de Cloro Residual por 21 días.....	79

Tabla 35	Resultados de concentraciones cloro residual en los puntos críticos.....	80
Tabla 36	Datos de caudal según el método utilizado	82
Tabla 37	Resumen de resultados de los parámetros utilizando Arduino	83
Tabla 38	Resumen de resultados de los parámetros utilizando Arduino	84
Tabla 39	Resumen de resultados de la evaluación y monitoreo de cloro residual.....	92
Tabla 40	Costo de materiales para la construcción de medidor de caudal	111
Tabla 41	Costos de mano de obra y operación de medidor de caudal.....	111
Tabla 42	Costo total de la construcción del medidor de caudal Arduino	111
Tabla 43	Costo del medidor ultrasónico de caudal-Arduino.....	112

GLOSARIO

Ámbito rural del Perú. Son el conjunto de centros poblados que no sobrepasan los dos mil (2 000) habitantes independientemente.

Agua cruda. Es aquella agua en estado natural captada para abastecimiento que no ha sido sometido a proceso de tratamiento.

Agua tratada. Toda agua sometida a proceso físico, químico y/o biológico para convertirla en un producto inocuo para el consumo humano.

Caudal aforado. Volumen de agua que pasa a través de una sección por unidad de tiempo medido mediante un procedimiento estandarizado.

Caudal de Goteo. Es el caudal de solución madre de concentración conocida, medido generalmente en mL/min, que ingresa al reservorio de agua.

Caudal Máximo Diario. Es el máximo consumo que se espera realice la población en un día y se calcula como un factor de ampliación (K1) del Qmd, dicho factor está establecido por la norma.

Caudal. Cantidad de agua que lleva una corriente o que fluye de un manantial o fuente.

Caudal máximo diario. Caudal de agua del día de máximo consumo en el año.

Caudal máximo horario. Caudal de agua de la hora de máximo consumo en el día de máximo consumo en el año.

Caudal promedio diario anual: Caudal de agua que se estima consume, en promedio, un habitante durante un año.

Cloración. Es la adición de cloro o compuestos de cloro al agua, con el propósito de desinfectarla.

Cloro residual libre. Concentración de cloro presente en el agua de consumo humano, en forma de ácido hipocloroso e hipoclorito, para proteger de posible contaminación microbiológica, posterior a la cloración como parte del tratamiento.

Cloro. Un elemento químico que se utiliza para matar microorganismos presentes en el agua. A temperatura ambiente y presión atmosférica es un gas amarillo.

Comparador de Cloro Residual. Comparador Colorimétrico. Equipo para la determinación de cloro residual libre por el método colorímetro usando DPD 1. Detecta cloro residual en el rango de 0 a 3,5 mg/L (con marcas de graduación cada 0,1 mg/L).

Concentración. La cantidad de material disuelto en una unidad de solución, expresado en mg/L.

Contaminación. La presencia de contaminantes u otros materiales no deseados en suspensión en el agua.

Demanda de Cloro Natural: Cantidad de cloro necesaria para desinfectar el agua no tratada adecuadamente. Se puede definir como la diferencia entre el cloro añadido y el cloro residual.

Desinfección del agua. La desinfección del agua significa la extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos que existen en el agua.

Dosificador. Es un equipo cuya función es dosificar en forma ágil la cantidad de insumo necesario para optimizar el proceso de potabilización.

Dotación. Es la cantidad de agua que requiere cada persona de la población, expresada en litros/habitante/día.

DPD. N.N. Dietil -parafenilendiamina (DPD1). Reactivo para determinación de cloro residual libre en muestras de agua. Cada unidad debe contener la cantidad de reactivo necesario para el análisis en 5 mL y/o 10 mL de agua y debe presentar una envoltura hermética que garantice la estabilidad del producto hasta la fecha de vencimiento. Presentación del DPD 1, en los siguientes envases inmediatos:

- Blíster (como tableta) para muestras de agua de 10 mL.
- Sachet (como polvo) para muestras de agua de 5 mL y 10 mL.

Hipoclorito de Calcio. Sustancia química que es ampliamente usada para la desinfección del agua, por ejemplo, en piscinas y en plantas de potabilización de agua. Es especialmente usual porque tiene un estable poder de secado y puede ser fabricado en pastillas.

Hipoclorito de Sodio. Es un compuesto que puede ser utilizado para desinfección del agua. Se usa a gran escala para la purificación de superficies, blanqueamiento, eliminación de olores y desinfección del agua.

Infraestructura. Las instalaciones, equipo y materiales necesarios para la operación de un sistema de abastecimiento de agua o de saneamiento. La infraestructura incluye sistemas de almacenamiento como presas y embalses además de sistemas de distribución y tratamiento.

Límite máximo permisible. Son los valores máximos admisibles de los parámetros representativos de la calidad del agua para consumo humano.

Microorganismos. Vida vegetal o animal de tamaño tan diminuto que solamente se puede ver a través del microscopio, incluidas las bacterias, levaduras, algas y protozoos. Algunos microorganismos son beneficiosos y otros suponen riesgos para la salud de humanos.

Muestra de agua. Volumen de agua representativa para ser analizada según requerimiento de laboratorio o del método de ensayo específico en puntos del sistema de agua potable, en forma aleatoria (en relación con el momento y emplazamiento).

Parámetro. Una variable, propiedad medible cuyo valor está determinado por las características del sistema en el caso del agua, por ejemplo, estas pueden ser la temperatura, la presión, la densidad, etc.

Parámetros inorgánicos. Son los elementos y/o compuestos químicos formados por distintos elementos pero que no poseen enlaces carbono-hidrógeno, analizados en el agua de consumo humano.

Parámetros microbiológicos. Son los microorganismos indicadores de contaminación y/o microorganismos patógenos para el ser humano, analizados en el agua para consumo humano.

Parámetros organolépticos. Son los parámetros físicos químicos cuya presencia en el agua para consumo humano pueden ser percibidos por el consumidor a través de su percepción sensorial.

Patógeno. Un organismo que desencadena enfermedades agudas o crónicas. Las bacterias, virus y parásitos son patógenos comunes.

pH. El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la

cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica.

Población Abastecida. Cantidad de habitantes que cuentan con una conexión de agua a la red de distribución.

Población Máxima. Cantidad máxima de habitantes que el Reservorio N°1 abastece

Población Mínima. Cantidad mínima de habitantes que el Reservorio N°1 abastece

Población Total. Cantidad de población total de la Comunidad.

Potable. Apta para usarse para beber.

Solución Madre. Disolución de concentración conocida de cloro en un tanque de volumen conocido que sirve para abastecer del cloro requerido para la cloración al reservorio de agua.

Turbidez. Es una suspensión de partículas muy finas, que obstruye el paso de la luz. Por el pequeño tamaño de estas partículas, se requieren muchos días para que se sedimente.

Vigilancia Sanitaria. Sistematización de un conjunto de actividades realizadas por la Autoridad de Salud para identificar y evaluar los factores de riesgo que se presentan en los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano. desde la captación hasta la entrega del producto al consumidor, con la finalidad de proteger la salud de los consumidores en cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles del Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.

Virus. Microorganismos sumamente diminutos, a menudo patógenos, que se reproducen dentro de las células de una organismo anfitrión o portador. Los virus pueden estar presentes en desechos humanos o animales y se propagan a través de agua contaminada.

INTRODUCCIÓN

La automatización y el control es una de las alternativas para lograr trabajos de eficiencia ya que la intervención humana es más importante, pero menos frecuente. Este método es ampliamente recomendable para el control de caudal en sistemas de abastecimiento de agua en el ámbito urbano y rural.

El control de caudal se realiza de manera constante ya sea por hora, diario, semanal, quincenal y mensual, etc. para realizar un adecuado control de proceso de cloración y a la vez realizar este trabajo requiere de tiempo y personal capacitado.

Una de las alternativas para el control de caudal es a través de la automatización con el cual se reduce el tiempo de trabajo. Dentro de la automatización podemos señalar la automatización de control de caudal del proceso de cloración para producir agua potable utilizando Arduino. La ventaja de la automatización es la reducción de costos, ahorrar tiempo y fácil de definición de prioridades.

El propósito de este trabajo de investigación fue desarrollar la facilidad técnica de emplear el medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino del proceso de cloración. Para este objetivo se ha fabricado un medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino para determinar la dosis optima de cloración del agua cuyo propósito es facilitar el trabajo del operador para mejorar la eficiencia de la operación para brindar agua de calidad a la población.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

Se tiene información sobre trabajos de implementación de prototipos con sistema Arduino; en el ámbito internacional existen trabajos relacionado a la implementación de sistemas de Arduino para prototipos de sistemas purificadores de agua, diseño de un sensor de nivel ultrasónico con aplicación de tanques reservorios de agua, sistema de monitoreo de parámetros de calidad físicos del agua y control automático para la dosificación de cloro en la planta de tratamiento de aireadores de la EP-EMAPAR; en el ámbito nacional se cuenta con trabajos de implementación de un sistema de dosificación para lavado manual en una central de esterilización, trabajo de vigilancia y control de la calidad de agua para consumo humano en Moquegua, del mismo modo trabajo de implementación de un prototipo con tecnología Arduino y Android para la ecoeficiencia en el uso del agua potable en las viviendas y en el ámbito local no se encontró ninguna información referida al tema.

1.1.1. A nivel internacional

Según San Miguel (2023) en su proyecto de investigación titulada “Elaboración y automatización del prototipo de un sistema de cloración y monitoreo de turbidez, pH y cloro residual para potabilizar el agua de un tanque almacenador” sustenta que en la comunidad de Yaurichambi, situada en el municipio de Batallas del departamento de La

Paz, algunos residentes han reportado problemas de salud relacionados con el consumo de agua proveniente de un estanque con capacidad de 15 m³. Tras evaluar el agua almacenada, se detectó la presencia de bacterias coliformes totales, registrando un valor de 25 NMP/100mL. Ante esta situación, el presente estudio tiene como finalidad desarrollar un prototipo automatizado para la desinfección y monitoreo del agua. Se eligió la cloración como el método más adecuado, empleando hipoclorito de calcio en solución como desinfectante. Para el control de la cloración se establecieron como parámetros a monitorear el pH, la turbidez y el cloro residual libre, con rangos permitidos de 6.5 a 8.0, 0 a 5 NTU y 0.2 a 1 mg/L respectivamente. Además, se determinó que el valor Ct (producto de la concentración de desinfectante residual por el tiempo de contacto) adecuado es de 15 mg/L.min. Se concluyó que el agua sin tratar requiere una dosis de 2.5 mg de hipoclorito de calcio por litro para mantener el cloro residual libre dentro del rango establecido, considerando una demanda de cloro libre de 0.99 mg/L. El prototipo diseñado opera con un sistema de control en lazo cerrado, donde la variable a regular es el cloro residual libre. Se implementaron un tanque de distribución de 14 litros y otro de almacenamiento de 17 litros. Los sensores de pH, turbidez y potencial óxido-reducción (ORP) fueron calibrados, obteniéndose las ecuaciones correspondientes a sus curvas de calibración. El sistema fue programado utilizando la plataforma Arduino IDE. El prototipo se construyó con los siguientes elementos: a) una placa Arduino Mega 2560 para el procesamiento y control; b) tres sensores calibrados para medir los parámetros definidos; c) dos minibombas, una electroválvula y un agitador como actuadores; d) dos fuentes de alimentación, una de 5 V (PC) y otra de 12 V (conmutada); y e) una pantalla LCD para la visualización de datos. Las pruebas realizadas confirmaron el correcto funcionamiento del sistema, demostrando una efectividad del 97% en la eliminación de coliformes totales tras el tratamiento del agua.

De acuerdo a Cando (2017) en su proyecto de investigación titulada "Prototipo de un sistema purificador del agua basado en energía renovable mediante Arduino" sustenta que en la presente investigación se llevó a cabo en la comunidad de Santa Teresita, ubicada en la provincia Bolívar, durante el periodo comprendido entre los meses de mayo y octubre del año 2017. En dicha comunidad se identificó una problemática relacionada con la falta de potabilización del agua, lo cual motivó la búsqueda de una solución viable para garantizar el acceso a agua segura. La alternativa propuesta consistió en el desarrollo de un prototipo purificador de agua basado en el uso de energías renovables, controlado mediante la plataforma Arduino.

El proceso incluyó el diseño de un esquema funcional del sistema de purificación y la selección de componentes adecuados mediante un análisis comparativo. Esta investigación se justifica por el impacto positivo que puede generar en la comunidad, al contribuir a la mejora de la salud pública, elevar la calidad de vida y disminuir la incidencia de enfermedades infecciosas provocadas por el consumo de agua no tratada. El fundamento teórico del estudio se basa en la ley de la electrólisis de Faraday, la cual describe la electrólisis como una reacción no espontánea inducida por el paso de corriente eléctrica a través de una solución química. A partir de esta base, el físico Svante Arrhenius propuso que al disolverse en agua, los electrolitos se separan no solo en moléculas, sino también en iones con carga positiva y negativa. Este principio permitió aplicar la electrólisis al tratamiento del agua, descomponiéndola en oxígeno e hidrógeno mediante el uso de un conductor, en este caso, la plata. Este elemento actúa interfiriendo en la respiración celular de los microorganismos, impidiendo así su crecimiento y reproducción.

De acuerdo a Balarezo (2021) en su trabajo de investigación titulada "Sistema de monitoreo de parámetros de calidad físicos del Agua y control automático para la dosificación de cloro en la Planta de Tratamiento de Aireadores de la EP-EMAPAR" sustenta que en la actualidad, los sistemas automáticos de monitoreo y control se han vuelto indispensables en diversas industrias debido a su impacto significativo en la optimización del tiempo y los recursos económicos. El sector del agua potable no es la excepción, especialmente considerando que el agua es un recurso esencial, patrimonio nacional y fundamental para la vida. Este proyecto se enmarca dentro de una metodología de investigación aplicada, que combina enfoques documentales, de campo y experimentales, y se desarrolla bajo la línea de investigación en tecnologías de la comunicación. La implementación del sistema automatizado de monitoreo de parámetros físicos de calidad del agua y el control de la dosificación de cloro comienza con la recolección de datos relacionados con el pH, temperatura, turbidez y conductividad, mediante una red de sensores inalámbricos (WSN). Estos datos son enviados a un servidor donde se procesan, y a través de un controlador PID (proporcional, integral y derivativo), se ajusta una servo-válvula que regula automáticamente la cantidad de cloro necesaria para cumplir con los estándares de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN-1108. Además, la información es visualizada en tiempo real mediante una página web. Una dosificación precisa de cloro no solo contribuye a la reducción significativa de la contaminación del agua, sino que también optimiza los tiempos y costos asociados a los análisis de calidad en laboratorios

especializados. Esto a su vez impacta positivamente en la salud de los seres vivos que consumen agua a diario. Gracias a esta iniciativa, la empresa EP-EMAPAR de la ciudad de Riobamba dispone de un sistema robusto, capaz de igualar o incluso superar los sistemas convencionales de dosificación actualmente existentes en el país.

1.1.2. A nivel nacional

Según Delgado (2022) en su trabajo de investigación titulada: “Implementación de un sistema de dosificación para el lavado manual en una central de esterilización” sustenta que el funcionamiento de una central de esterilización comienza en la denominada zona roja, cuyo objetivo principal es la desinfección del instrumental quirúrgico. Realizar un lavado adecuado y eficaz de estos instrumentos es esencial para prevenir la transmisión de enfermedades. En muchos centros de salud, este proceso aún se realiza de forma manual, un método que resulta menos eficiente comparado con las técnicas modernas disponibles. Esta ineficiencia se debe, en gran medida, a la ausencia de un sistema automatizado que regule la dosificación del detergente enzimático, el cual desempeña un papel clave en la desinfección. Cada marca de detergente enzimático recomienda diferentes niveles de dosificación, que varían entre 2 mL/L y 15 mL/L. Estas dosis deben ser aplicadas con precisión para asegurar la efectividad del proceso de lavado manual. En este contexto, la presente investigación se enfoca en el diseño y desarrollo de un sistema de dosificación de detergente enzimático que permita suministrar la cantidad exacta y adecuada del producto durante el lavado manual. El objetivo es minimizar los riesgos asociados a una aplicación incorrecta del detergente y reducir el desperdicio del mismo, contribuyendo a una mayor eficacia en la desinfección y un uso más racional de los recursos.

De acuerdo a Cari (2022) en su proyecto de investigación titulada “Vigilancia y control de la calidad de agua para consumo humano del distrito de Ichuña, región Moquegua – 2019” sustenta que el estudio se llevó a cabo en seis (06) sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano en el distrito de Ichuña durante el año 2019. La investigación se centró en la vigilancia y control del agua, abordando distintos aspectos. En la verificación de los sistemas de abastecimiento, se evaluó el estado de la infraestructura y sus componentes, encontrándose que doce sistemas carecían de un sistema de cloración, cinco presentaban un estado bueno, diez en condiciones regulares y ocho colapsados.

Respecto al mantenimiento de los sistemas de cloración, se realizaron intervenciones en los seis sistemas existentes. En cuanto al monitoreo continuo del cloro residual libre, se tomaron muestras en cuatro puntos: uno en el reservorio y tres en viviendas ubicadas en distintas posiciones (primera, segunda y tercera), todas dentro de los rangos establecidos. En relación con la contaminación microbiológica, los resultados del año 2019 mostraron que entre los seis sistemas, solo en el Centro Poblado de Ichuña se detectó un nivel elevado en comparación con los Límites Máximos Permisibles (LMP). En el ámbito del fortalecimiento de las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS), se identificaron diecinueve organizaciones comunales y se realizaron cuatro capacitaciones dirigidas a estas. Como conclusión, se fomentó la vigilancia y el control en los seis sistemas de abastecimiento de agua potable intervenidos durante el año 2019, pertenecientes a los centros poblados de Umalzo, Yanahuara, Antajahua, Maycunaca, Santa Cruz de Oyo Oyo, en el distrito de Ichuña, Moquegua, con el objetivo de mejorar la calidad del servicio.

Centeno (2017) en su trabajo de investigación titulada “Implementación de un prototipo con tecnología Arduino y Android, para la ecoeficiencia en el uso del agua potable en los predios de Talavera” sustenta que la presente investigación se llevó a cabo en el distrito de Talavera, en la provincia de Andahuaylas, con el objetivo de analizar y probar un sistema de distribución de agua potable en los predios instalados. Actualmente, el distrito presenta un servicio de agua potable por sectores, lo que genera interrupciones en el suministro durante varias horas al día, debido principalmente a la falta de un control uniforme en su distribución entre los diferentes sectores. Además, muchos predios carecen de sistemas que regulen el consumo eficiente de agua en puntos como lavamanos, duchas e inodoros, lo que provoca desperdicio innecesario y consecuencias como baja presión y escasez del recurso. Esta problemática se evidenció en diversas viviendas del distrito, lo que motivó el desarrollo de un sistema basado en tecnología Arduino y Android para fomentar la ecoeficiencia en el uso del agua potable. El propósito fue optimizar el consumo del recurso en cada predio y poner esta solución a disposición tanto de Talavera como de otros distritos que enfrenten condiciones similares. Para diseñar el sistema y alcanzar los objetivos planteados, se aplicó la metodología en “V”, respetando cada una de sus fases de desarrollo. El sistema automatizado y su respectiva aplicación móvil fueron construidos utilizando diversas tecnologías: sensores infrarrojos, sensor PIR, sensor de efecto Hall, servomotores, teclado numérico y válvulas electrónicas. En cuanto al software, se emplearon herramientas como Android Studio, Arduino y Enagle. El proyecto se enmarca en el tipo de investigación proyectiva y se

apoyó en técnicas de recolección de datos como el análisis documental, la observación directa y entrevistas. Como resultado, se logró implementar un sistema que permite un mejor control del flujo de agua en cada punto de uso dentro de los predios del distrito de Talavera, logrando una gestión eficiente del recurso mediante procesos automatizados instalados en lavamanos, duchas e inodoros.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la comunidad nativa de Sapani cuenta con el sistema de abastecimiento de agua potable por gravedad, el agua es captada de una fuente de manantial que cuenta con 15 L/s aproximadamente, la dotación de consumo de agua a la comunidad es de aproximadamente de 1 L/s que abastece a 82 familias de 315 habitantes, el sistema de agua potable cuenta con un sistema de cloración por goteo deficiente que esta implementada en el reservorio. A consecuencia de ello, no se logra brindar agua de calidad a la población que consigna en el D.S. N° 031-2010-SA de la calidad del agua; por ende, esto conlleva a tener ciertas implicancias en la salud de los habitantes; es por ello que hay necesidad de automatizar el control de caudal de proceso de cloración para producir agua de calidad a la población de la localidad de Sapani y un monitoreo y supervisión adecuado de parte de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS) de Sapani.

El presente proyecto tiene como propósito automatizar el control de caudal del proceso de cloración utilizando Arduino, por ser eficiente en zonas rurales, de bajo costo, fácil de instalación y mantenimiento, de operación simple, que demande poco tiempo y que sea amigable con medio ambiente por ser una alternativa para mejorar la cloración del agua en el ámbito rural con el fin de brindar agua potable a la población.

1.3. PROBLEMA PRINCIPAL

¿Se podrá automatizar el control de caudal del proceso de cloración para producir agua potable utilizando Arduino, en la comunidad nativa de Sapani del distrito de Raymondi en la región de Ucayali?

1.3.1. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímico y microbiológico del agua, destinada para el consumo humano en la comunidad nativa de Sapani?

- ¿Cómo se podrá determinar la operación y funcionamiento del equipo utilizando Arduino para el proceso de cloración, de acuerdo al diagnóstico realizado?
- ¿Cómo determinar la concentración final alcanzada de cloro residual en los puntos críticos, reservorio, primera vivienda, vivienda intermedia y ultima vivienda según la normativa?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo principal

Automatizar el control de caudal del proceso de cloración para producir agua potable utilizando Arduino, en la comunidad nativa de Sapani del distrito de Raymondi en la región de Ucayali.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros fisicoquímico y microbiológico del agua, destinadas para el consumo humano en la comunidad de Sapani.
- Determinar las condiciones de operación y funcionamiento del control de caudal con Arduino del proceso de cloración para producir agua potable en el sistema de agua de la comunidad de Sapani.
- Determinar la concentración de cloro residual en los puntos críticos, reservorio, primera vivienda, vivienda intermedia y ultima vivienda.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

La automatización y la puesta en funcionamiento del control de caudal mejorara el proceso de cloración para producir agua potable en la comunidad nativa de Sapani del distrito de Raymondi en la región de Ucayali.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se encontrarán dentro de los límites máximos permisibles por la buena dosificación de hipoclorito de calcio en solución utilizando Arduino destinada para el consumo humano en la comunidad de Sapani.
- Con las condiciones de optimización se va mejorar la operación y puesta en funcionamiento del equipo utilizando Arduino para el proceso de cloración.

- La concentración del parámetro de cloro residual está dentro de los límites máximos permisibles en los puntos críticos, reservorio, primera vivienda, vivienda intermedia y última vivienda.

1.6. JUSTIFICACIÓN

1.6.1. Justificación técnica

El presente proyecto de investigación permitirá automatizar el control de caudal del proceso de cloración para producir agua potable en sistemas de agua potable del ámbito rural. Los materiales, accesorios y componentes se encuentran disponibles en el mercado nacional para lo cual se tiene presupuesto destinado.

1.6.2. Justificación social

Mediante el desarrollo de la presente investigación se verá reflejado en reducir el tiempo de labor que realiza el operador y reducir enfermedades como enfermedades diarreicas agudas, anemia y desnutrición crónica que causan al consumir agua sin clorar y de esta manera reducir brechas de cobertura de agua potable y así mismo mejorara la calidad de vida de la población de la comunidad de Sapani.

1.6.3. Justificación de viabilidad

La presente investigación es viable puesto que la automatización utilizando Arduino es una plataforma de bajo costo, fácil manejo, más versátil y flexible, como una opción más viable para proyectos de investigación referida al agua y saneamiento dando una mejor calidad de vida sobre todo a las personas más vulnerables que con una simple aplicación podrán tener acceso al control efectivo del proceso; de la misma forma para proyectos de electrónica de pequeña escala de manera sencilla y accesible para la creación de prototipos.

1.6.4. Justificación ambiental

Desde el punto de vista ambiental, con la implementación de Arduino y panel solar en este proyecto de investigación constituye una tecnología limpia y renovable ya que no produce emisiones de gases de efecto invernadero ni contaminantes, lo que convierte en una opción sostenible para la generación de energía.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. EL AGUA

Según Cortez (2019) el agua es una sustancia cuya molécula está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O) unidos por un enlace covalente. El término agua, generalmente, se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque esta puede hallarse en su forma sólida, llamada hielo, y en su forma gaseosa, denominada vapor como se presenta en la figura 1.

Figura 1

Ciclo hidrológico del agua



Nota. Adaptado de (López Hernández, 2016).

El agua en nuestro planeta se presenta en tres estados: líquido, sólido y gaseoso. Se calcula que el volumen total de agua en la Tierra es de aproximadamente 1,400 millones

de km³, de los cuales solo el 3 % es agua dulce. Esta cantidad de agua, que se ha mantenido constante durante miles de millones de años, participa en el llamado "Ciclo Hidrológico". Este proceso implica una serie de transformaciones en el estado del agua, así como cambios en sus propiedades físicas, químicas, microbiológicas y en su ubicación (como océanos, nubes, glaciares, ríos y aguas subterráneas). El resultado final de este ciclo es la renovación continua del agua almacenada en grandes reservas naturales del planeta. La energía que impulsa este ciclo proviene del sol, cuya radiación provoca la evaporación del agua desde océanos y mares hacia la atmósfera.

Según la Resolución Ministerial N°192-2018-VIVIENDA para verificar la necesidad de una PTAP, debe tomarse muestras de agua de la fuente y analizarlas, la eficiencia de tratamiento del agua de PTAP para hacerla de consumo humano debe cumplir lo establecido en el Reglamento de la Calidad del Agua para el Consumo Humano del Decreto Supremo N°031-2010-SA. (DIGESA-MINSA) y sus modificatorias, y los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, el Decreto Supremo N°04-2017-MINAM del Ministerio del Ambiente, que aprueban los Límites Máximos Permisibles para los diferentes parámetros de una caracterización de fuentes de abastecimiento de agua antes de ser captadas y determinar así el uso que se le dará al agua que emana de estas fuentes.

2.2. FUENTES DE AGUA

a) Fuentes Subterráneas

Según Resolución Ministerial N°192-2018 del MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento) sustenta que se trata de aguas extraídas de fuentes subterráneas, como manantiales y pozos. Estas pueden ser sometidas a un proceso de potabilización mediante desinfección, con el objetivo principal de eliminar microorganismos presentes en ellas.

b) Fuentes Superficiales

Son aguas originadas por las precipitaciones pluviales que fluyen sobre la superficie terrestre, formando corrientes que desembocan en ríos, lagos o mares. Estas aguas pueden ser aptas para el consumo humano mediante un tratamiento convencional de potabilización.

c) Fuente de agua residual tratada

Son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reusó en servicios al público.

d) Fuente del agua del mar

El agua de mar es una disolución formada por agua y sales, en una proporción de un 96,5 % de agua y un 3,5 % de sales.

2.3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

De acuerdo a la Guía para la calidad de agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera agua contaminada aquella cuya composición ha sido alterada, volviéndola no apta para su utilización.

Este tipo de agua puede ser un vehículo de transmisión de enfermedades, entre ellas las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs), las cuales representan una de las principales causas de mortalidad y desnutrición crónica en niños menores de cinco años en el Perú.

En la localidad de Sapani, la calidad del agua refleja la problemática nacional en cuanto a contaminación, lo que resalta la necesidad urgente de garantizar el acceso a agua potable. Este derecho fue reconocido por la Organización de las Naciones Unidas en 2010 como un derecho humano fundamental y forma parte de los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en la Agenda 2030, específicamente el objetivo: "Agua limpia y saneamiento".

2.4. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN ZONA RURAL

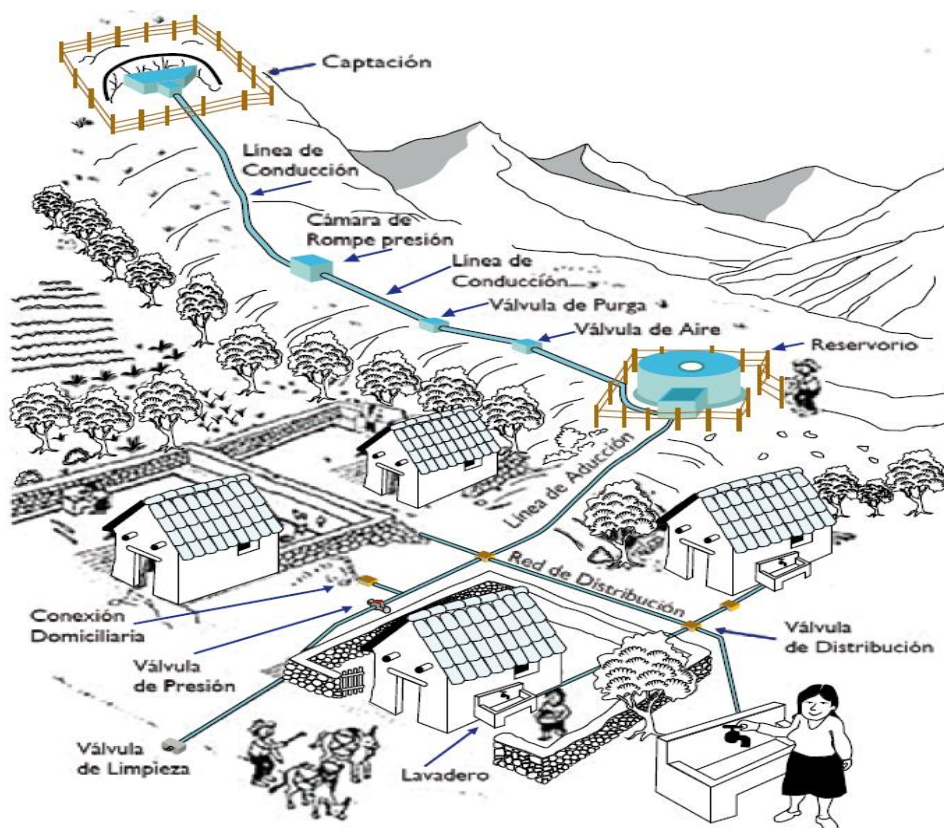
Según Resolución Ministerial N° 205-2010 del MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento) considera por sistema de agua potable al conjunto de instalaciones, infraestructura, maquinaria y equipos destinados a la captación, almacenamiento y conducción de agua sin tratar, así como al tratamiento, almacenamiento, conducción y distribución del agua ya potabilizada.

En las zonas rurales, la responsabilidad de brindar servicios de saneamiento recae en las municipalidades provinciales y distritales. Estas pueden hacerlo de manera directa

a través de una Unidad de Gestión Municipal (UGM) o de forma indirecta mediante Organizaciones Comunales (OC). Cabe destacar que las OC son entidades sin fines de lucro que se constituyen temporalmente con autorización municipal, adquiriendo capacidad legal y personería jurídica de derecho privado exclusivamente para brindar servicios de saneamiento en áreas rurales. Dentro de estas organizaciones, las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS) son las más comunes; cuentan con un consejo directivo que se renueva cada dos años.

El sistema de abastecimiento de agua potable convencional como se presenta en la figura 2.

Figura 2
Sistema Agua Potable Convencional



Nota. Adaptado de (GIZ, 2017).

2.4.1. Tipos de sistema de abastecimiento de agua

- ***Sistema de abastecimiento por gravedad sin tratamiento***

Se trata de sistemas en los que la fuente de agua es de calidad adecuada, por lo que no necesitan un tratamiento adicional antes de ser distribuida. Además, el diseño de estos sistemas permite que el agua llegue a los usuarios sin necesidad de utilizar equipos de bombeo.

Los componentes de un sistema de agua potable convencional son:

a) *Captación de agua*

Es el componente encargado de recoger el agua directamente desde la fuente de abastecimiento, en la cual es subterránea.

b) *Línea de conducción de agua*

Está compuesta por tuberías, cámaras rompe presión y válvulas de aire, cuyo propósito es transportar el agua captada hacia la planta de tratamiento, si esta existe. Esta conducción puede realizarse por gravedad o mediante bombeo, denominándose en este último caso línea de impulsión, ya que el agua se desplaza bajo presión generada por un sistema de bombeo.

c) *Almacenamiento de agua potable (Reservorio)*

Es el tanque de almacenamiento diseñado para guardar un volumen suficiente de agua que permita cubrir la demanda de la población en ausencia de una planta de tratamiento. En este reservorio también se puede llevar a cabo la desinfección directa mediante la instalación de un sistema de cloración.

d) *Línea de aducción de agua potable*

Es el conjunto de tuberías, válvulas y otros elementos encargados de transportar el agua potable desde el reservorio hasta la red de distribución.

e) Red de distribución de agua potable

Consiste en el conjunto de tuberías, cámaras rompe presión, válvulas de control y demás elementos que, en conjunto, se encargan de distribuir el agua potable hacia cada vivienda de la comunidad beneficiada.

f) Conexiones domiciliarias

La conexión domiciliar es el punto que permite el acceso al servicio de agua potable, compuesto por elementos de captación, medición y una caja de protección, y suele estar ubicado en la acera frente a la vivienda beneficiada.

- **Sistema de abastecimiento por gravedad con tratamiento**

Cuando el abastecimiento proviene de aguas superficiales captadas en canales, acequias, ríos u otras fuentes similares, es necesario realizar procesos de clarificación y desinfección antes de su distribución. Si el agua puede desplazarse sin necesidad de bombeo, estos sistemas se conocen como “por gravedad con tratamiento”. Las plantas de tratamiento deben ser diseñadas considerando la calidad física, química y microbiológica del agua cruda.

- **Sistema de abastecimiento por bombeo sin tratamiento**

Estos sistemas también utilizan agua de buena calidad que no requiere tratamiento previo para su consumo, pero el agua debe ser bombeada para llegar al usuario final. Por lo general, están conformados por pozos.

- **Sistema de abastecimiento por bombeo con tratamiento**

Los sistemas de bombeo con tratamiento necesitan contar con una planta que acondicione el agua para cumplir con los estándares de potabilidad, además de un sistema de bombeo que permita transportar el agua hasta el usuario final.

2.5. SISTEMA DE AGUA POTABLE

Según Pacheco y Zúñiga (2018) sugieren que “el sistema de agua potable es un procedimiento de ingeniería que con un conjunto de tuberías enlazadas nos permite llevar el agua potable hasta los hogares de las personas de una comunidad o área rural” (p.23).

2.6. CALIDAD DEL AGUA POTABLE

Agua libre de patógenos y de contaminantes químicos tóxicos: para alinearse con los ODS, se debe contar con datos actualizados de la “Vigilancia de la calidad del agua para consumo humano” que miden un mayor número de parámetros (químicos, radioactivos, de calidad organoléptica, microbiológicos y parasitológicos) del agua (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, pág. 323)

El ministerio de salud en su reglamento de la calidad del agua para consumo humano indica los parámetros básicos para el consumo del agua potable como se puede ver en el anexo 2.

2.7. DESINFECCIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

De acuerdo a GIZ (2017) señala que la desinfección consiste en eliminar los microorganismos patógenos presentes en el agua antes de su distribución a la población. Este proceso se lleva a cabo utilizando agentes químicos o físicos y debe asegurar un efecto residual en el agua potable para prevenir cualquier contaminación microbiana posterior. La calidad del agua se evalúa comparando sus características físicas, químicas y microbiológicas con los parámetros establecidos en las normas vigentes, según el uso previsto del agua. En este contexto, es necesario evaluar en qué medida los resultados del monitoreo cumplen con los estándares de calidad requeridos para el agua potable.

Al seleccionar un método de desinfección, es fundamental considerar aspectos como el mecanismo de acción, los subproductos generados, los requisitos de instalación, operación y mantenimiento, el monitoreo, así como los costos tanto de los equipos como de su operación. La desinfección del agua para consumo humano puede realizarse mediante métodos físicos, como el calor o la radiación ultravioleta, o químicos, utilizando sustancias como gas cloro, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, dióxido de cloro, cloraminas, ozono, entre otros. En el diseño de sistemas de tratamiento de agua, especialmente en zonas rurales, la desinfección debe considerarse un componente clave, dando prioridad tanto a la calidad como a la cantidad del agua que se va a suministrar.

De acuerdo a Cortez (2019) señala que algunas alternativas de desinfección incluyen la ozonización y con radiación ultravioleta (UV), las cuales no son comunes en el medio rural.

2.7.1. Cloración del agua

(Ministerio de Salud, 2019) señala que la cloración es el proceso mediante el cual se añade una cantidad específica de cloro al agua para hacerla apta para el consumo humano. El cloro puede aplicarse de diversas formas, y el sistema de dosificación varía según el volumen de agua a tratar, la concentración de cloro activo en el producto y el presupuesto disponible para el sistema. El cloro es un desinfectante popular debido a varias razones:

- Está disponible en forma de gas, líquido o granular.
- Su costo es relativamente bajo.
- Deja un residuo en el agua que proporciona protección sanitaria durante la distribución.

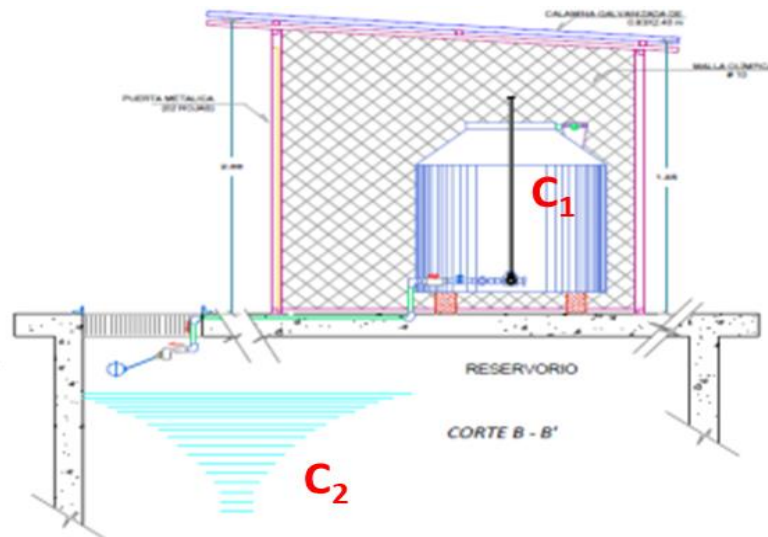
De acuerdo a GIZ (2017) menciona que el uso de cloro en forma gaseosa es más complejo, ya que requiere equipos especializados, personal capacitado y condiciones especiales para su almacenamiento. Por otro lado, los hipocloritos de sodio y calcio, que contienen concentraciones menores de cloro, son más estables que el cloro gaseoso y, por tanto, más fáciles de manejar, lo que los hace más adecuados para zonas rurales.

Según San Miguel (2023) sustenta que el cloro es un desinfectante potente con excelentes propiedades bactericidas y virucidas, eficaz incluso con tiempos de contacto cortos. En el agua, el cloro reacciona para formar ácido hipocloroso (HOCl), un desinfectante muy efectivo que puede disociarse en ion hipoclorito (OCl^-). Esta reacción depende del pH: no ocurre disociación por debajo de pH 6,5 y es completa por encima de pH 8,5. La cloración puede dejar un residuo de cloro que garantiza la continuidad de la desinfección del agua.

La tecnología de cloración convencional como se puede presentar en la figura 3.

Figura 3

Tecnología de Cloración Convencional



Nota. Adaptado de (Resolución Ministerial N°173-2016-VIVIENDA , 2016).

2.7.2. Presentaciones del cloro

Según Cortez (2019) afirma que se denomina así a cualquier producto que incluya cloro como componente principal. En la desinfección del agua, los compuestos de cloro más comunes son el cloro gaseoso (Cl_2), el hipoclorito de sodio ($NaOCl$) y el hipoclorito de calcio ($Ca(OCl)_2$).

a) **Cloro gas (Cl_2)**

El cloro gaseoso es un compuesto tóxico, más pesado que el aire, con una pureza del 99,5%. Posee un alto poder oxidante y reacciona con una gran variedad de sustancias, manteniéndose estable a lo largo del tiempo. La inhalación de este gas puede causar irritación, y la exposición a concentraciones elevadas puede generar daños graves.

Aunque el cloro es relativamente barato y sencillo de usar, los riesgos vinculados a su transporte requieren una adecuada gestión en su almacenamiento y manipulación. El cloro gaseoso en estado licuado se distribuye en envases presurizados de diferentes tamaños, siendo los más comunes los de 70 kg y 990 kg.

b) **Hipoclorito de sodio**

El hipoclorito de sodio es un compuesto químico, es un oxidante de fórmula $NaClO$. La lejía (popularmente conocido como cloro, agua lavandina, agua Jane, entre otros), una

disolución acuosa de hipoclorito de sodio, es usada frecuentemente en hogares, como oxidante en el proceso de potabilización del agua, a dosis ligeramente superiores al punto crítico (punto en que empieza a aparecer cloro residual libre) (San Miguel, 2023).

c) Hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)

El hipoclorito de calcio es un compuesto químico cuya fórmula es $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. Es ampliamente utilizado en tratamiento de aguas por su alta eficacia contra bacterias, algas, moho, hongos y microorganismos peligrosos que afectan a la salud humana, a lo cual se tiene sus propiedades: Fórmula: $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, Masa molar: 142,98 g/mol, Densidad: 2,35 g/cm³ y Punto de fusión: 100 °C.

Por lo general, se encuentra en una concentración del 70%. Es un potente agente oxidante con propiedades germicidas y bactericidas, eficaz como desinfectante en diversos ámbitos: potabilización de agua, tratamiento de aguas residuales, mantenimiento de piscinas y más. También se emplea para la desinfección de equipos en el procesamiento de bebidas y alimentos, incluyendo industrias como la cervecera, de refrescos, vinos y jugos de fruta. Además, se utiliza en el control microbiológico en la agricultura (frutas, papas, verduras) y en la limpieza y saneamiento de equipos y espacios en industrias lácteas, pesqueras, cárnicas y granjas avícolas.

• **Formación del ácido hipocloroso por hidrólisis**

Para el proceso de cloración, según el método que se utilice, se puede emplear cloro gas (Cl_2), hipoclorito de sodio (NaOCl) o hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$), sustancias que, al reaccionar en el agua, tiene las siguientes reacciones:



Ácido hipocloroso (HOCl). Es un compuesto químico que se forma cuando el agua reacciona con un producto que contiene cloro. Este ácido posee un alto poder desinfectante gracias a su bajo peso molecular, lo que le permite penetrar la membrana celular de los microorganismos. Es fundamental promover su formación para garantizar una desinfección eficaz del agua (Cortez, 2019).

Ion Hipoclorito (OCl⁻). Compuesto químico que también resulta de la reacción del agua con un compuesto de cloro. Su capacidad de desinfección es muy reducida. Su condición de ion no le permite atravesar la pared celular de los microorganismos (Cortez, 2019, pág. 40)

2.7.3. Condiciones para la cloración

a) **Análisis físico químico**

Según el Decreto Supremo N° 031-2010 del MINSA para realizar el proceso de cloración se tiene que realizar el análisis fisicoquímico y organoléptico como las principales tenemos: turbiedad y pH.

b) **Personal capacitado**

El operador de la cloración del agua para el consumo en la zona a investigar debe estar capacitado con el fin de mantener el sistema de cloración.

c) **Caudal**

Cantidad de agua que lleva una corriente o que fluye de un manantial o fuente. También se puede definir como la cantidad de fluido que circula a través de sección de ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal, etc.) por unidad de tiempo para satisfacer una demanda de agua (Pacheco Castelo & Zuñiga Hidalgo, 2018).

Se calcula con la siguiente formula (método volumétrico):

$$Q = \frac{V}{t} \quad \dots(1)$$

Donde:

Q: Caudal (L/seg)

V: Volumen (L)

t: Tiempo (seg)

Según la Resolución Ministerial N°192-2018-VIVIENDA, el caudal es la cantidad de agua que satisface las necesidades diarias de consumo de cada integrante de una vivienda, su selección depende del tipo de opción tecnológica para la disposición sanitaria de excretas sea seleccionada y aprobada bajo los criterios establecidos y la

región en la cual se implemente, como se presenta en la tabla 1 (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018, pág. 31).

Tabla 1

Dotación de Agua según Opción Tecnológica y Región

Región	Dotación según tipo de opción tecnológica (L/hab. d)	
	Sin arrastre hidráulico (Compostera y hoyo seco ventilado)	Con arrastre hidráulico (Tanque séptico mejorado)
Costa	60	90
Sierra	50	80
Selva	70	100

Nota. Esta tabla muestra cómo se utiliza la dotación según la región. Fuente: (Resolución Ministerial N° 192-2018-VIVIENDA-Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el ámbito Rural, 2018)

d) Caudal máximo diario

Corresponde al consumo máximo en un día durante un periodo de un año. Se calcula multiplicando la cantidad de población por la dotación diario y el coeficiente de variación diaria. El caudal máximo diario se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{(Poblacion) \cdot (Dotacion) \cdot (Coef. variación diaria)}{86400} \quad \dots (2)$$

Donde:

Q_{md} : Caudal máximo diario (L/s)

K_1 : Coeficiente variación diaria

Dot.: Dotación en L/hab. d

Pob.: Población de diseño en habitantes (hab.)

El coeficiente de consumo máximo diario, $k_1 = 1,3$; se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un periodo mínimo de un año.

e) Cálculo de demanda de cloro

Según la Resolución Ministerial N° 173-2016 del MVCS (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento), para determinar la cantidad de hipoclorito de calcio necesaria que demanda el agua para desinfectar. Este valor debe ser determinada de

acuerdo al caudal de ingreso del agua y además debe de aplicarse para conservar un valor residual, el cual se determina en campo.

Se determina con la siguiente formula:

$$P(g) = \frac{C \times V(L)}{10 \times \% \text{ concentración}} \quad \dots (4)$$

Donde:

P: peso del cloro en gramos (g)

V: Volumen del agua a clorar en litros (L)

C: Concentración requerida para la recarga (mg/L)

‰: Porcentaje del cloro activo que contiene el producto comercial (%)

La automatización de caudal para realizar la cloración, permite el ajuste y control de la cantidad de solución madre añadido al agua, cantidad que es requerida para cubrir la demanda y generar un residuo con finalidad de eliminar la mayoría de las poblaciones de organismos patógenos contenidas en el agua. De esta forma asegurar una correcta desinfección mediante un sistema de potabilización del agua (San Miguel, 2023, pág. 24).

f) Cálculo de dosis de cloro o caudal de goteo

De acuerdo a la Resolución Ministerial 173-2016 del MVCS (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento), para determinar la dosis o caudal de goteo de hipoclorito de calcio en solución por método volumétrico.

Se determina con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \dots (5)$$

Donde:

V: Volumen de tanque solución madre (mL)

t: Tiempo de duración de recarga (min)

g) Cloro residual libre

De acuerdo al MINSA (2011) señala que la concentración de cloro que debe mantenerse en el agua potable, en forma de ácido hipocloroso e ion hipoclorito, es fundamental para protegerla contra posibles contaminaciones microbiológicas después del proceso de cloración como parte del tratamiento.

h) Vigilancia de cloro

El agua destinada al consumo debe mantener siempre un nivel de cloro residual libre o combinado, o bien otros desinfectantes, especialmente en condiciones como altas temperaturas ambientales o cuando el agua presenta contaminación significativa. En estas situaciones, el cloro libre puede alcanzar concentraciones de hasta 1,5 mg/L. Es recomendable controlar la desinfección basándose en la cantidad de cloro que permanece en exceso tras un tiempo determinado de contacto. Existen dispositivos automáticos que permiten medir este exceso de cloro de forma precisa.

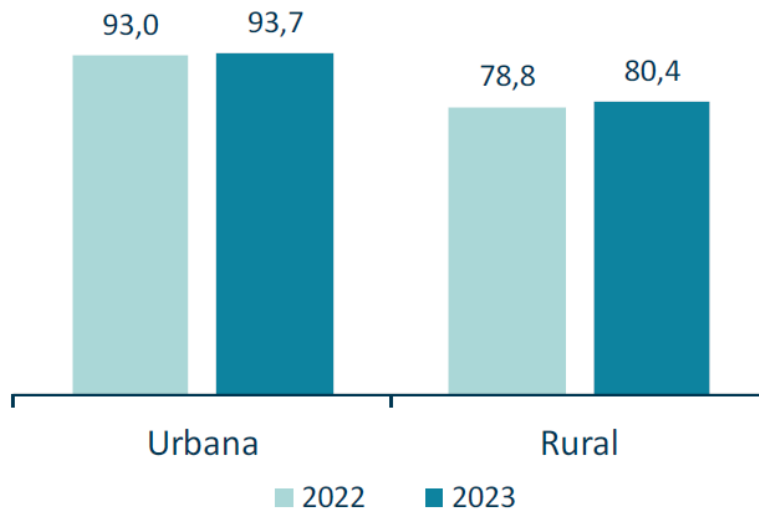
2.8. SITUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE AGUA EN EL SECTOR RURAL

Según la Encuesta Nacional de Programa Estratégico (ENAPRES) (2023) afirma que la población estimada de Perú es de aproximadamente 33.6 millones de personas, de las cuales 6.5 millones (equivalentes al 20 %) residen en zonas rurales. De este grupo, alrededor de 1.4 millones carecen de acceso al servicio de agua potable. En el país existen 81,696 centros poblados, 34,300 sistemas de abastecimiento de agua y cerca de 30,000 entidades encargadas de su prestación.

En el ámbito rural se tiene el 80,4 % de población tienen acceso al agua potable, como presenta en la figura 4.

Figura 4

Porcentaje de hogares por acceso de agua por red pública



Nota. Adaptado de (ENAPRES, 2023).

De acuerdo a ENAPRES (2023) afirma que en las zonas rurales persiste una considerable brecha en el acceso a conexiones de agua y sistemas de alcantarillado sanitario, además de un acceso limitado a agua segura. Solo el 20 % de los hogares rurales disponen de agua segura, definida como agua potable que contiene un nivel de cloro residual libre igual o superior a 0,5 mg/L. Este indicador de agua segura es fundamental para evaluar la calidad del servicio de abastecimiento, considerando su potabilidad y el riesgo de contaminación microbiológica.

2.9. AUTOMATIZACIÓN

2.9.1. Definición

De acuerdo a San Miguel (2023) señala que el término automatización se refiere a diversos sistemas y procesos que pueden funcionar con poca o ninguna intervención humana. En este caso, las tareas que normalmente realizan los operadores humanos son delegadas a componentes tecnológicos. Así, los sistemas operan mediante una entrada, un proceso y una salida. Un sistema automatizado modifica sus acciones o funciones en función de las variaciones en las condiciones externas.

2.9.2. Control automático

Según Balarezo (2021) señala que el control automático es una disciplina de la ingeniería enfocada en lograr que los sistemas operen de forma independiente, posibilitando la ejecución de tareas que no podrían ser realizadas por un operador humano. Estos sistemas de control son esenciales para garantizar el correcto funcionamiento de cualquier mecanismo diseñado por el ser humano.

2.9.3. Sistema de control

De acuerdo a San Miguel (2023) sustenta que un sistema de control está formado por un conjunto de componentes interconectados que poseen parámetros y variables propias, las cuales permiten conocer el estado del sistema. Su propósito principal es regular o gestionar un determinado proceso.

a) Tipos de sistema de control

- **Control de lazo abierto**

En este tipo de sistema, la salida no influye ni modifica la acción de control realizada.

- **Control de lazo cerrado**

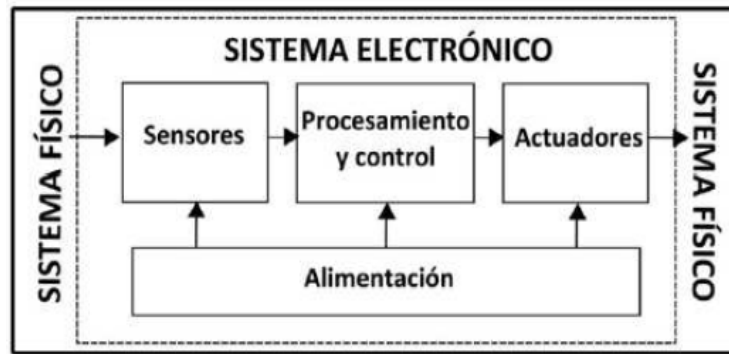
Son aquellos sistemas en los que la acción de control depende tanto de la señal de referencia como del valor de la salida; es decir, la salida influye directamente sobre la entrada para regular el proceso.

2.9.4. Sistema electrónico

De acuerdo a Quispe (2023), sostiene que un sistema electrónico está compuesto por un conjunto de elementos que incluyen componentes, sensores, circuitos de procesamiento y control, actuadores como motores o LEDs y fuentes de energía, como se presenta en la figura 5.

Figura 5

Partes del sistema electrónico



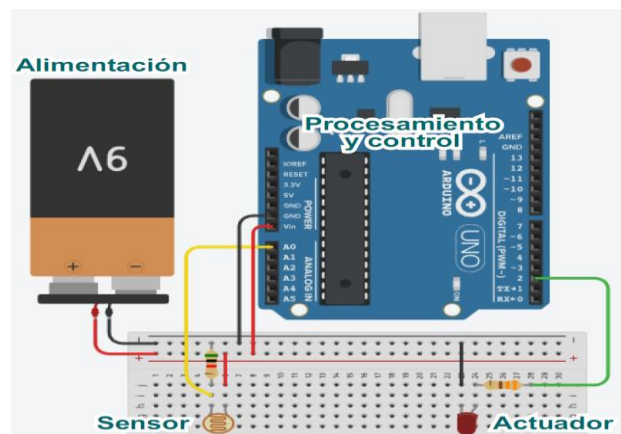
Nota. Adaptado de (Quispe, 2023).

Los sensores capturan información del mundo físico y la transforman en señales eléctricas. La forma en que estas señales se procesan depende de la circuitería interna del sistema de control. Existen diferentes tipos de sensores que miden variables como temperatura, humedad, sonido, entre otros.

La fuente de alimentación proporciona la energía necesaria para que toda la circuitería funcione correctamente. Algunos ejemplos son pilas, baterías, adaptadores AC/DC, entre otros, así como se presenta en la figura 6.

Figura 6

Circuito de Arduino



Nota. Adaptado de (Quispe, 2023).

2.9.5. Arduino

Según Quispe (2023) señala que Arduino es una plataforma de electrónica de código abierto que combina hardware y software libre, diseñada para ser flexible y sencilla de usar por creadores y desarrolladores (p. 26).

Hardware libre significa que Arduino proporciona las bases para que cualquier persona o empresa pueda diseñar y fabricar sus propias placas, las cuales pueden variar en diseño, pero funcionan de manera compatible con la plataforma original.

Por otro lado, software libre se refiere a los programas cuyo código fuente está disponible para que cualquiera pueda usarlo, estudiarlo y modificarlo. Arduino ofrece en su plataforma el "Arduino IDE" (Entorno de Desarrollo Integrado), un entorno de programación que permite crear los comandos necesarios para controlar las placas Arduino y así darles diversas funcionalidades (p. 26).

2.9.6. Microcontrolador

De acuerdo a Quispe (2023) señala que un microcontrolador es un circuito integrado, o "chip", que se caracteriza por ser programable, lo que significa que puede ejecutar de manera autónoma una serie de instrucciones previamente definidas por el usuario, así como se presenta en la figura 7.

Figura 7

Microcontrolador mega 328



Nota. Adaptado de (Arduino, 2024).

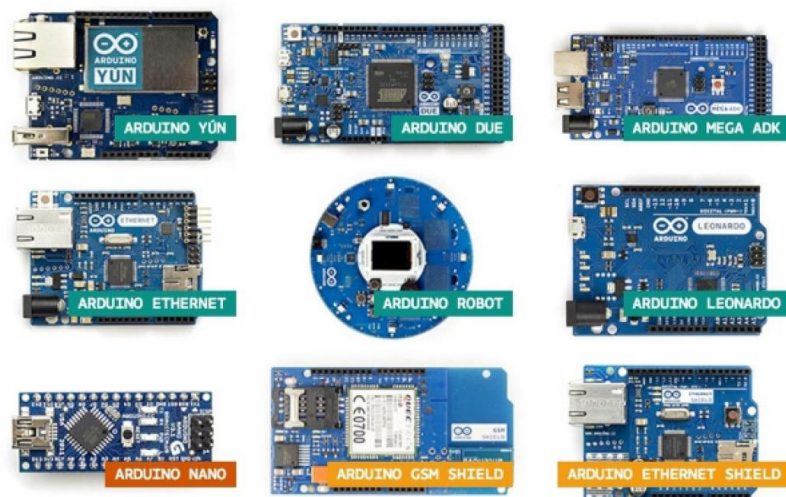
- **Tarjetas de Arduino oficiales**

La plataforma de Arduino nos ofrece varios modelos de tarjeta con distintos propósitos como para estudiantes, para impresora 3D, red o wifi, tarjetas con sensores incluido para distintos usos y propósitos.

Tal como vemos las distintas tarjetas que ofrece la misma plataforma de Arduino, como se presenta en la figura 8.

Figura 8

Distintas tarjetas Arduino



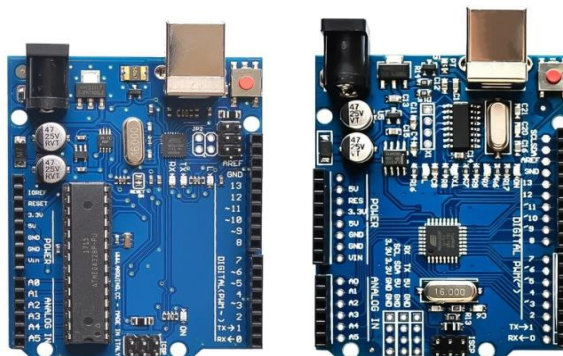
Nota. Adoptado de (Quispe, 2023).

- **Tarjetas No oficiales de Arduino**

Las tarjetas no oficiales de Arduino son comercializadas por desarrolladores de electrónica o tiendas o empresas no distribuidoras de Arduino, pero también son las más económicas de Arduino, ya que lo más notorio de las tarjetas es el logotipo tal como vemos la Figura 9.

Figura 9

Arduino no oficial (izquierda) y Arduino oficial (derecha)



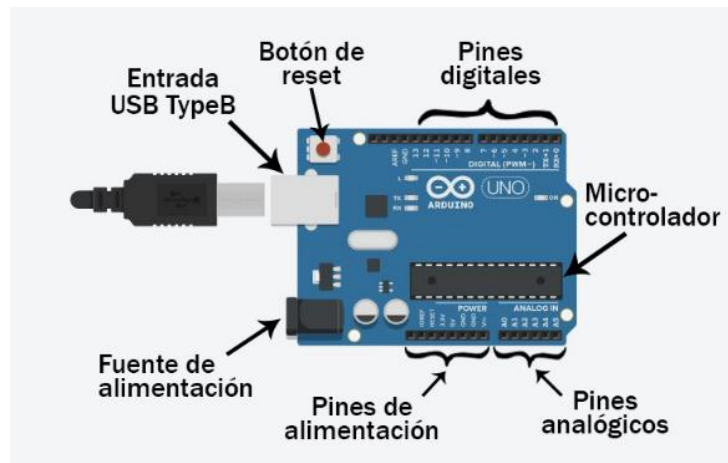
Nota. Adaptado de (Quispe, 2023).

2.9.7. Tarjeta Arduino uno

Comúnmente llamados por varios como “tarjetas de desarrollo”, la tarjeta “Arduino uno” son las favoritas para empezar de 0 para aprender o incluso para proyectos sin fin, lo que tenemos que reconocer de la tarjeta son las entradas y salidas para desarrollar nuestros proyectos tal como vemos la figura 10.

Figura 10

Placa Arduino Uno



Nota. Aptado de (Arduino, 2024).

Tal como se aprecia sobre la tarjeta debemos de conocer que en la parte digital los que tienen un símbolo (~) son los PWM (*Pulse Width Modulation*) que significa Modulación por Ancho de Pulsos, en otras palabras, salidas analógicas, que sirve para prender y apagar una luz suavemente y controlar la velocidad de un motor a tu antojo.

En cuando a la Memoria del Arduino, debemos de saber que para guardar nuestro programa dentro de la tarjeta tiene límites como un USB para guardar cierta cantidad de datos. ya que el microcontrolador “ATmega328” tiene 32 KB, por que el 0,5 KB ocupa el gestor de arranque, 2 KB de SRAM (algo parecido de la RAM de computadoras) y 1 KB de EEPROM (sería como un pequeño disco duro).

La alimentación del Arduino, existe ciertas maneras de alimentar la placa de desarrollo el más común sería por USB que lo alimenta con 5 V que es lo recomendable, en cambio los adaptadores de AC/DC también alimentaría con energía desde un rango de 7 V a 12 V, lo bueno de las placas Arduino es que tiene su regulador de voltaje para no exponer al microcontrolador con voltajes altos que podría quemarlo y lo más recomendable es utilizarlo con 7 V como máximo para no quemar el regulador de la placa de desarrollo.

2.9.8. Arduino Nano

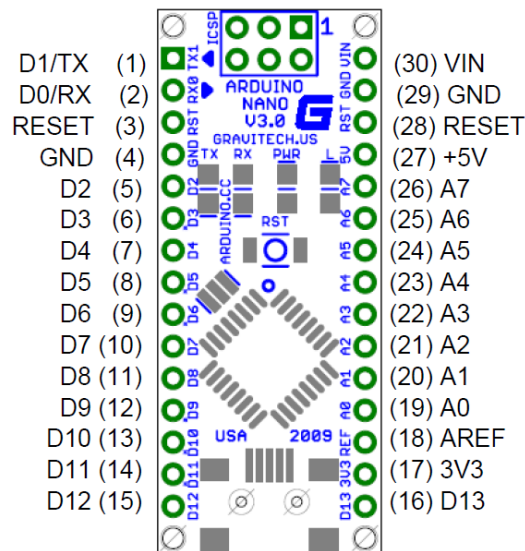
El Arduino Nano es una placa clásica diseñada para ser compatible con las placas de pruebas (breadboards), destacándose por su tamaño compacto. Cuenta con pines de conexión que facilitan su integración en estas placas y dispone de un conector USB Mini-B para su programación y alimentación. (Arduino, 2024)

Arduino Nano es el primer microcontrolador integrado de la serie Nano con funcionalidades mínimas, diseñado para Mini proyectos (Arduino, Arduino Nano, 2023).

Las capacidades de alto rendimiento y bajo consumo brindan la oportunidad de desarrollar aplicaciones basadas en seguridad. como sistemas de control de acceso mediante sensores de huellas dactilares. La flexibilidad para interconectar sensores y dispositivos externos usando La comunicación en serie ha mejorado el alcance de la utilidad, así como se representa en la figura 11.

Figura 11

Partes de la placa Arduino Nano



Nota. Adaptado de (Arduino, 2024).

- **Características técnicas**

Las especificaciones de Arduino Nano se pueden ver en la tabla 2.

Tabla 2*Características técnicas de Arduino Nano*

N° de pin	Nombre	Tipo	Descripción
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Puerto de entrada/salida digital 0 a 13
3,28	Reset	Input	Restablecer (activo bajo)
4,29	GND	PWR	Suministro de tierra
17	3V3	Output	+3,3V salida (de FTDI)
18	REF	Input	Referencia ADC
19-26	A0-A7	Input	Canal de entrada analógica 0 a 7
27	+5V	Output or Input	Salida de +5V (desde el regulador integrado) o +5V (entrada desde una fuente de alimentación externa)
30	VIN	PWR	Tensión de alimentación

Nota. Esta tabla muestra las especificaciones del Arduino nano.

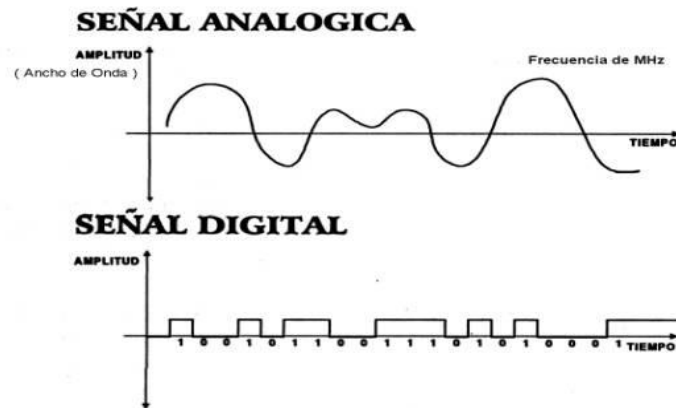
a) Señales Analógicas y Digitales

Las señales eléctricas varían dependiendo del voltaje o intensidad de varias maneras en sus características físicas y distinguir entre las dos señales digitales y analógicas.

- **La señal analógica** es aquella que puede representar una cantidad infinita de valores dentro de un rango determinado. Este tipo de señal varía de forma continua, sin saltos, y suele estar asociada a fenómenos físicos como la temperatura, el sonido o la luz, que afectan a los sensores. También se aplica en variables eléctricas como voltaje, corriente o potencia, ya que estas pueden cambiar gradualmente de manera natural.
- **La señal digital** es un número posible de valores enteros como por ejemplo un semáforo que muestra la señal por color, porque se muestra 3 valores concretos y diferenciados sin posible transición de colores entre el mismo punto entre ellos lleva rojo, ámbar y verde. pero nunca mostrara un apagado o prendido suave de la misma luz o cambiar de color rojo a ámbar y a verde. ya que los cambios son rápidos como saltos, así como se presenta la figura 12.

Figura 12

Señales eléctricas



Nota. Adaptado de (Quispe, 2023).

2.9.9. Sensor ultrasónico (HC-SR04)

Quispe (2023) señala que el sensor ultrasónico funciona a base en uno parecido a un parlante que emite una onda y el otro lo recibe, con ese efecto veremos algo que este al frente como un obstáculo lo que hace es que al botar una onda rebota en el obstáculo y lo vuelve para obtener esa onda emitida a recibirlo y tenemos resultados dependiendo la cantidad de rebotes por tiempo y luego de eso obtenemos también una distancia del resultado a nuestra placa de desarrollo.

El sensor puede detectar objetos desde una distancia mínima de 2 cm a 4 m, dispone de cuatro pines, dos de los cuales utilizados para la alimentación (GND y 5V) y los otros pines (TRIGGER y ECHO) para la transmisión del impulso y recibir la respuesta, así como se presenta en la figura 13.

Un sensor ultrasónico es un instrumento utilizado para calcular distancias mediante ondas sonoras de alta frecuencia, imperceptibles para el oído humano. Su operación consiste en emitir un pulso sonoro que, al chocar con un objeto cercano, se refleja y regresa al sensor. Este cuenta con un micrófono especializado que capta dicho eco. El sensor determina la distancia calculando el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción del pulso. Considerando que la velocidad del sonido es de aproximadamente 343 metros por segundo en condiciones normales (20 °C de temperatura, 50 % de humedad y al nivel del mar), es posible convertir esta velocidad a otras unidades para facilitar los cálculos de distancia. Transformando unidades tenemos el siguiente valor:

$$\text{Velocidad del sonido} = 343 \frac{\cancel{m}}{s} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \cancel{m}} * \frac{1 \text{ s}}{1000000 \text{ us}}$$

$$\text{Velocidad del sonido} = 0,0343 \frac{\text{cm}}{\text{us}}$$

Reemplazando en la ecuación tenemos:

$$\text{Distancia} = \text{Tiempo} * \text{Velocidad} \quad \dots (6)$$

$$\text{Distancia} = \text{Tiempo (us)} * 0.0343 \frac{\text{cm}}{\text{us}}$$

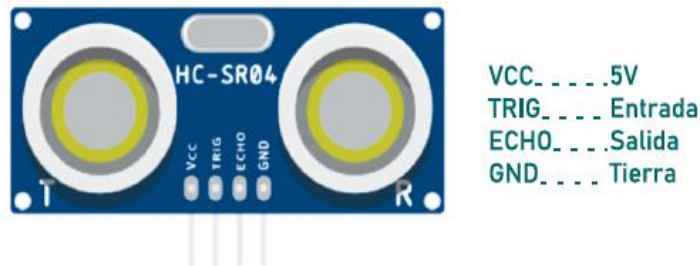
Para determinar con el sensor ultrasónico se realiza con la siguiente ecuación:

$$\text{Distancia} = \frac{t \text{ (us)} * 0.0343 \frac{\text{cm}}{\text{us}}}{2}$$

Donde: t(us): tiempo (microsegundos)

Figura 13

Sensor Ultrasónico-HC-SR04



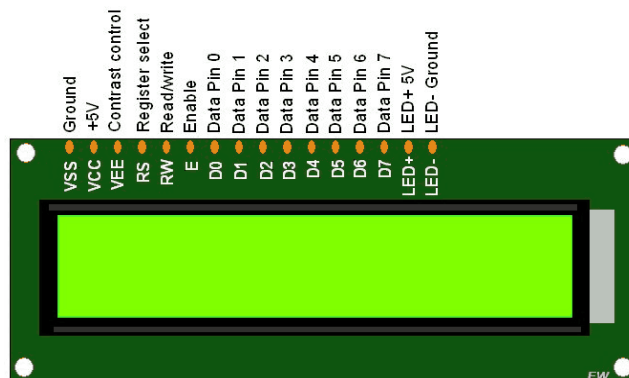
Nota. Adaptado de (Arduino, 2024).

2.9.10. Pantalla LCD 16x02

La pantalla LCD (*Liquid Crystal Display*), o pantalla de cristal líquido, es un dispositivo utilizado para mostrar información de manera gráfica a través de caracteres, símbolos o pequeñas imágenes, según el tipo de modelo. Su funcionamiento es controlado por un microcontrolador, que se encarga de gestionar lo que se visualiza.

En este caso específico, se utilizará una pantalla LCD de 16x2, lo que significa que cuenta con 2 filas y puede mostrar hasta 16 caracteres por fila. La resolución o cantidad de píxeles por carácter puede variar dependiendo del modelo del LCD, así como se presenta en la figura 14.

Figura 14
LCD 16X02



Nota. Adaptado de (Arduino, 2024).

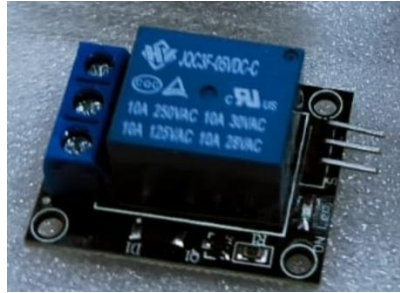
2.9.11. Modulo Relé

Se trata de un dispositivo electromagnético que actúa como un interruptor operado eléctricamente. Funciona mediante una bobina que, al recibir corriente, genera un campo magnético que activa un electroimán. Este, a su vez, acciona uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes del circuito de control.

Es un dispositivo que facilita el control del encendido y apagado de equipos de alta potencia, como electrodomésticos. Puede integrarse y operar sin inconvenientes con sistemas digitales como Arduino, ya que permite manejar cargas elevadas mediante señales de bajo voltaje provenientes del microcontrolador, así como se presenta en la figura 15.

Figura 15

Relay de 1 canal



Nota. La imagen muestra el relay de 1 canal.

2.9.12. Válvula solenoide

La válvula solenoide es un dispositivo comúnmente empleado para regular el flujo en tuberías o líneas mecánicas. Su funcionamiento se basa en una bobina magnética que, al recibir corriente eléctrica, activa un émbolo interno que permite abrir o cerrar el paso del fluido. Existen dos tipos principales: las válvulas normalmente cerradas, que permanecen bloqueadas hasta que se energizan, y las normalmente abiertas, que permiten el paso del fluido de manera continua hasta que se aplica corriente para cerrarlas, así como se presenta en la figura 16.

Figura 16

Válvula Solenoide



Nota. La imagen muestra la válvula solenoide.

- **Características técnicas**
- **Material:** combinación de metal y plástico.
- **Voltaje de operación (DC):** 12 voltios.

- **Conexiones:** entradas y salidas con boquillas para manguera de 1/2" (diámetro exterior).
- **Rango de presión operativa:** de 0,02 a 0,8 MPa.
- **Modo de funcionamiento:** normalmente cerrada (solo se activa al aplicar corriente).
- **Temperatura máxima del fluido:** hasta 100 °C.
- **Modo de operación:** normalmente cerrada (solo se abre al aplicar corriente).
- **Tipo de válvula:** de diafragma, operada por sistema servoasistido.
- **Aplicación:** adecuada para el control de agua y fluidos con baja viscosidad.

2.9.13. Software Arduino y Tinkercad

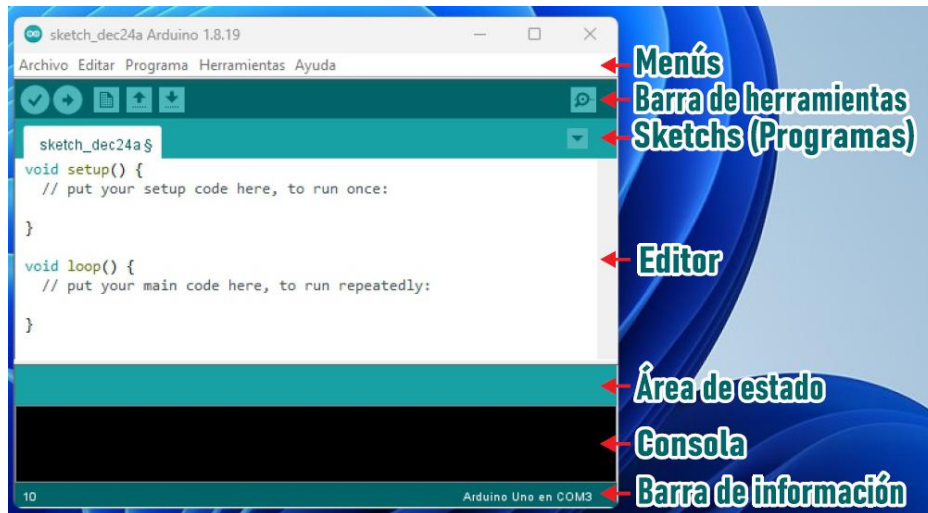
El IDE o mejor dicho “Entorno de Desarrollo Integrado”, sería una herramienta de software que asiste a los programadores a desarrollar código de software de manera eficiente como básicamente escribir y probar sus propios programas con comodidad. (se llama “sketch” en su propio mundo de Arduino).

Tal como vemos las partes de la ventana del Arduino IDE identificando cada parte y herramientas que más utilizaremos mientras avancemos esta guía, ya que sería muy útil saber qué cosa hace cada herramienta antes de programar nuestra tarjeta de desarrollo, así como se presenta en la figura 17.

En la barra de herramientas son las opciones más utilizadas de la IDE, ya que en esta guía no se tocará mucho los menús ya que abarcaría temas avanzados de explicaciones a profundidad, ya que se utilizaría algunas opciones como para seleccionar el tipo de modelo de tarjeta de desarrollo para grabar el programa, la comunicación de USB que se está utilizando y librerías.

Figura 17

Interfaz de Software Arduino IDE



Nota. En la imagen se muestra el interfaz del programa Arduino IDE.

- **Barra de herramientas**

Verificar/compilar. Verificar el código en busca de errores, incluso es un requisito hacerlo ya que no grabaría de frente un código erróneo.

Subir. Carga tu código a la placa de desarrollo, asegúrate de guardar o verificar tu sketch (proyecto) antes de cargarla, ya que al no guardarlo pasaría errores más adelante con el IDE.

Nuevo. Crea un nuevo proyecto, al hacerlo también abre una ventana nueva.

Abrir. Muestra un menú con todos los proyectos de tus sketches y ejemplos de librería de la misma Arduino IDE.

Salvar. Guarda tus sketches de tu proyecto de Arduino IDE.

Monitor serie. Muestra datos serie enviados desde la placa de desarrollo (placa serie o USB) e incluso se puede enviar datos a la placa, introduciendo el texto y hacer clic en el botón “Enviar” o presionando la tecla “Enter”.

2.9.14. Tinkercad

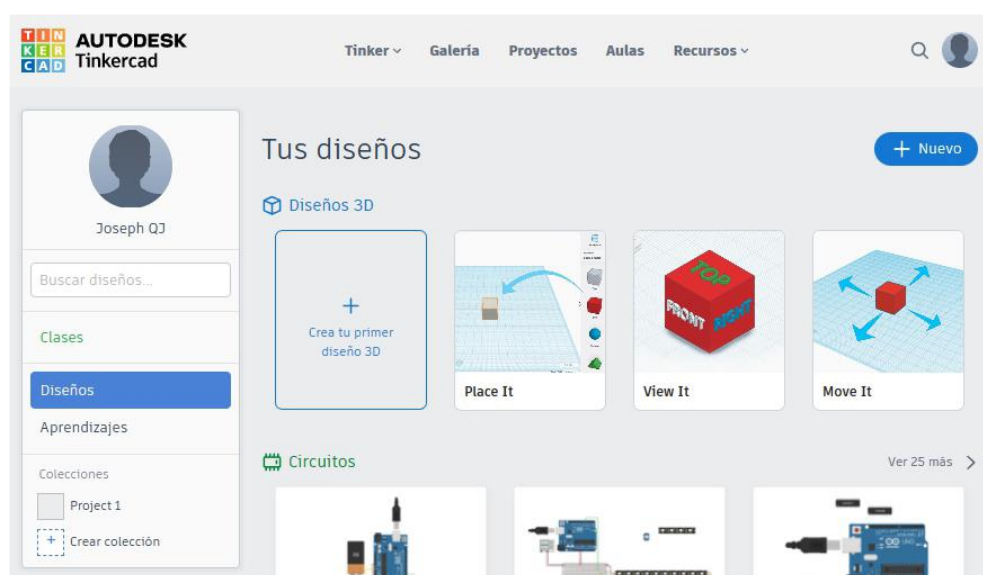
Es una aplicación web completamente gratuita para diseño 3D, electrónica y codificación, ya que este software gratuito no solo está hecho para niños sino también

para jóvenes y adultos e incluso para los profesores para enseñar a sus alumnos, ya que la empresa que lo diseñó fue Autodesk que es el líder mundial en tecnología de diseño y fabricación, así como se presenta en la figura 18.

Ya con su cuenta verificada, ingresas con tu cuenta creada y ya puedes utilizar libremente tinkercad, puedes hacer clic en “+ Nuevo” para empezar hacer un proyecto de diseño 3D, Circuito o bloques de código. Si deseas aprender cómo usarlo, haces clic en “Aprendizajes” y te enseña paso a paso sobre la plataforma e incluso el interfaz es simple ya que está hecho para que lo utilicen niños y jóvenes.

Figura 18

Interfaz de aplicación Tinkercad



Nota. Adaptado de (Quispe, 2023).

2.10. INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

De acuerdo a Demera et al. (2023) plantea que la Inteligencia Artificial (IA) es la combinación de algoritmos planteados con el propósito de crear máquinas que presenten las mismas capacidades que el ser humano, una tecnología que todavía nos resulta lejana y misteriosa, pero que desde hace unos años está presente en nuestro día a día a todas horas. La IA funciona combinando grandes cantidades de datos con procesamiento rápido y algoritmos inteligentes, permitiendo que el software aprenda automáticamente de patrones en los datos. Su importancia reside en que no sólo beneficia a las grandes compañías (p. 3).

La IA ofrece, por un lado, decisiones, es decir, conclusiones alcanzadas a partir de la deliberación algorítmica basada en los datos disponibles y por otro, soluciones, es decir cursos alternativos de acción para resolver un problema (p. 4).

La inteligencia asistida que consiste en ayudar a las personas a realizar tareas más rápido y mejor; la inteligencia aumentada que ayuda a las personas a tomar mejores decisiones y la inteligencia autónoma que consta de la automatización de los procesos de toma de decisiones sin intervención humana (p. 4).

La inteligencia artificial (IA) constituye uno de los sectores de desarrollo tecnológico que experimenta un crecimiento más acelerado en todo el mundo, a tal punto que muchas empresas de diferentes áreas de la economía han reducido de forma sustancial las tareas manuales humanas.

Las aplicaciones nativas se desarrollan utilizando un entorno de desarrollo integrado (IDE) que proporciona las herramientas de desarrollo necesarias para la construcción y depuración de aplicaciones.

La Inteligencia Artificial está revolucionando las relaciones de los humanos con los materiales. Entre otros usos, se está utilizando para desarrollar nuevos materiales para tecnologías “limpias” tales como paneles solares, baterías, etc.

Los modelos de Inteligencia Artificial (IA) que se utilizan para realizar búsquedas y generar respuestas, así como ChatGPT, DeepSeek, etc.

2.11. MARCO LEGAL

La normativa que regulan la calidad de agua potable y que van ligadas a este trabajo es como presenta en la tabla 3.

Tabla 3*Marco normativo en materia de Agua y Saneamiento*

Dispositivo legal	Nombre de la norma
Constitución política del Perú	
Ley N° 30156	Ley de Organización y Funciones del Ministerio De Vivienda, Construcción y Saneamiento.
Ley N° 27972	Ley Orgánica de Municipalidades
Ley N° 29338	Ley de Recursos Hídricos
Decreto Legislativo N° 1280	Ley marco de la gestión y prestación de los servicios de saneamiento.
Decreto Supremo N° 024-2009-VIVIENDA	Modifican Norma Técnica OS.020 “Plantas de Tratamiento de Agua para Consumo Humano” del Reglamento Nacional de Edificaciones.
RESOLUCION MINISTERIAL N° 269-2009-VIVIENDA	Aprueban los Lineamientos de los Servicios de Saneamiento en los Centros Poblados de Pequeñas Ciudades.
Decreto Supremo N° 006-2010-AG Anexo Decreto Supremo N° 006-2010-AG	Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua
Decreto Supremo N° 031-2010-SA	Reglamento de la calidad de agua para el consumo humano.
Decreto supremo N° 002-2012-VIVIENDA	Crea el Programa Nacional de Saneamiento Rural en el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM	Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias.
Decreto Supremo N° 007-2017-VIVIENDA	Aprueba la Política Nacional de Saneamiento
Decreto Supremo N° 019-2017 VIVIENDA y modificatorias	Aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.
Resolución Ministerial N° 013-2017-VIVIENDA	Aprueba el Manual de Operaciones del Programa Nacional de Saneamiento Rural. Aprueba documento “Instrumentos Técnicos que permiten obtener información de los Servicios de Saneamiento en el Ámbito Rural” y el aplicativo informático “Sistemas de Diagnóstico sobre Abastecimiento de Agua y Saneamiento en el Ámbito Rural”.
Resolución Ministerial N° 063-2017-VIVIENDA	Decreto Supremo que aprueba el Texto Único Ordenado del Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.
Decreto Supremo N° 005- 2020-VIVIENDA	Aprueban el Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026 y sus anexos.
Resolución Ministerial N° 399-2021-VIVIENDA	

Nota. Esta tabla muestra las normas legales que enmarcan de agua y saneamiento. Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, (MVCS); Autoridad Nacional del Agua (Ana); Ministerio de Agricultura y Riego (MINAG); Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento (SUNASS), compendio normativo de saneamiento.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Este capítulo trata sobre los aspectos relacionados con el diseño metodológico, el cual constituye la base fundamental para llevar a cabo la investigación. Se incluye la descripción de la ubicación geográfica y del lugar donde se desarrolló el estudio, así como la muestra utilizada y la identificación de las actividades realizadas.

Nivel de investigación: Descriptiva, debido a que se centra en describir las características del agua y dispositivo electrónico (medidor ultrasónico de caudal con Arduino)

Tipo de investigación: Aplicativo, debido a que se realiza la implementación física de medidor ultrasónico de caudal con Arduino.

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se desarrolló en el sistema de abastecimiento de agua potable de la comunidad nativa de Sapani distrito Raimondi región Ucayali. Haciendo el uso como unidad de investigación el reservorio de la etapa de tratamiento y análisis respectivo de la investigación.

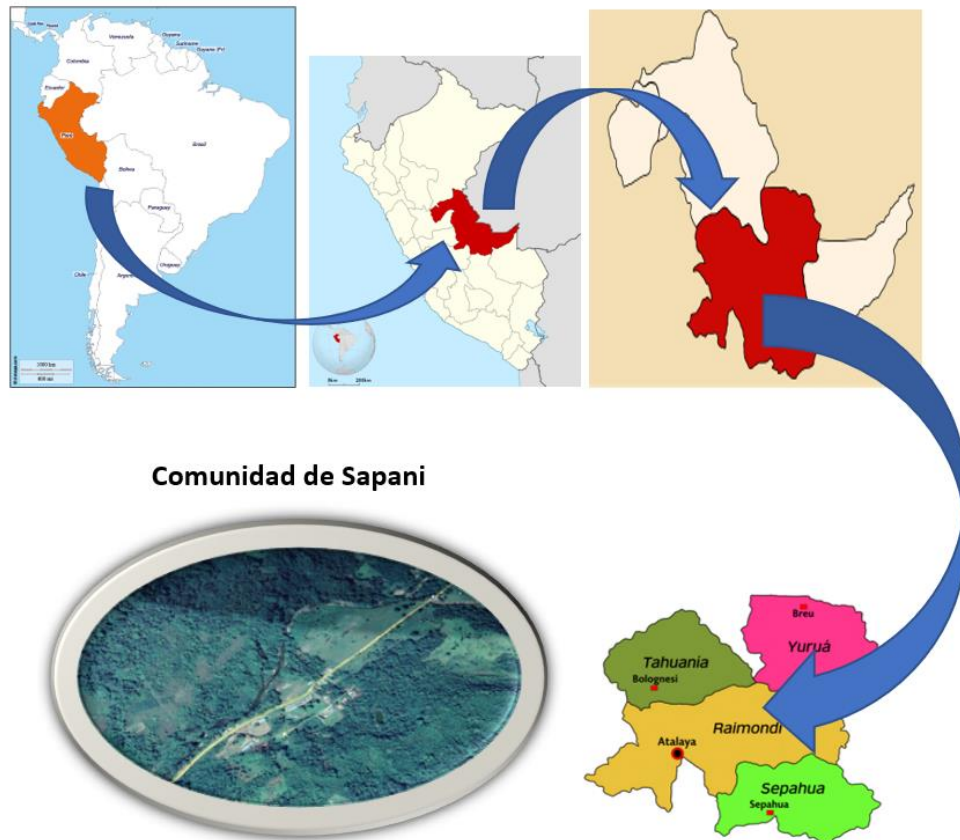
La comunidad nativa de Sapani está ubicada en el distrito de Raymondi, provincia de Atalaya, departamento de Ucayali ubicada a una altitud de 220 msnm, con una

temperatura promedio con una variación 18 °C a 37 °C (según períodos estacionales), con un clima tropical y con una humedad promedio de 65 %.

La instalación del medidor ultrasónico de caudal, se ha realizado en el reservorio del sistema de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Sapani, así como se presenta en la figura 19.

Figura 19

Ubicación geográfica del lugar de la investigación



Nota. En la imagen se muestra la ubicación geográfica del lugar de la investigación.

3.2. LUGAR DE DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se ha desarrollado durante 8 meses, de marzo a octubre 2024.

En el mes de marzo se ha realizado la evaluación del actual sistema de cloración del sistema de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Sapani, en el mes de abril se ha realizado el diseño y elaboración del medidor ultrasónico de caudal con Arduino y en el mes de mayo se ha realizado la instalación del medidor ultrasónico de caudal con Arduino, realizando el arranque y puesta en marcha. Se ha realizado la

evaluación interdiario de los parámetros de operación del medidor ultrasónico de caudal con Arduino y los parámetros de la calidad del agua en los puntos críticos desde el reservorio hasta las conexiones domiciliarias de la comunidad de Sapani.

La instalación del medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino, está situada en el reservorio del sistema de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Sapani que cuenta con capacidad de 8 m³.

A continuación, se observa en la figura, el lugar donde se realizó la instalación del medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino, así como se presenta en la figura 20.

Figura 20

Reservorio (Instalación de medidor de caudal con Arduino)



Nota. En la imagen se muestra el reservorio del sistema de abastecimiento de agua potable de sapani.

3.3. DISEÑO METODOLÓGICO

Esta investigación sigue un diseño cuantitativo ya que implica la recopilación de datos mediante análisis de datos, métodos de entrevistas y observaciones.

La investigación consta de 5 etapas:

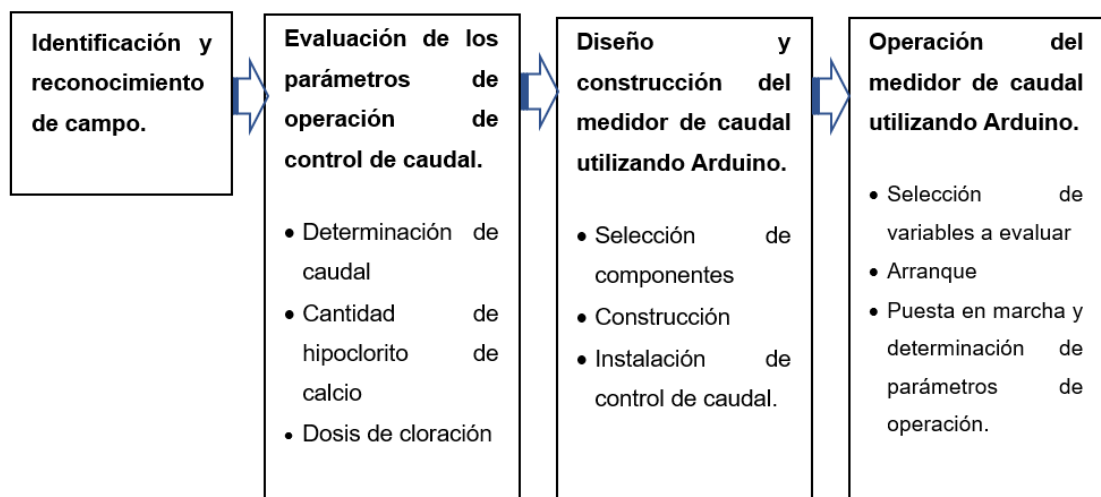
- Etapa de evaluación y diagnóstico de sistema de abastecimiento de agua y sistema de cloración actual del agua.
- Etapa de diseño, elaboración e implementación del medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino.

- Etapa de arranque y puesta en marcha de operación del medidor ultrasónico del caudal utilizando Arduino.
- Etapa de evaluación de los parámetros de operación.
- Etapa de levantamiento de información.

En la figura 21 se observa los pasos a seguir y las técnicas que se ha utilizado durante el desarrollo metodológico de trabajo de investigación del diseño, construcción y evaluación del medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino para producir agua potable de la comunidad de Sapani.

Figura 21

Estructura de diferentes actividades para realizar la investigación



Nota. En la imagen se muestra etapas de actividades para realizar la investigación.

3.4. DISEÑO DE SISTEMA

3.4.1. Variable controlada

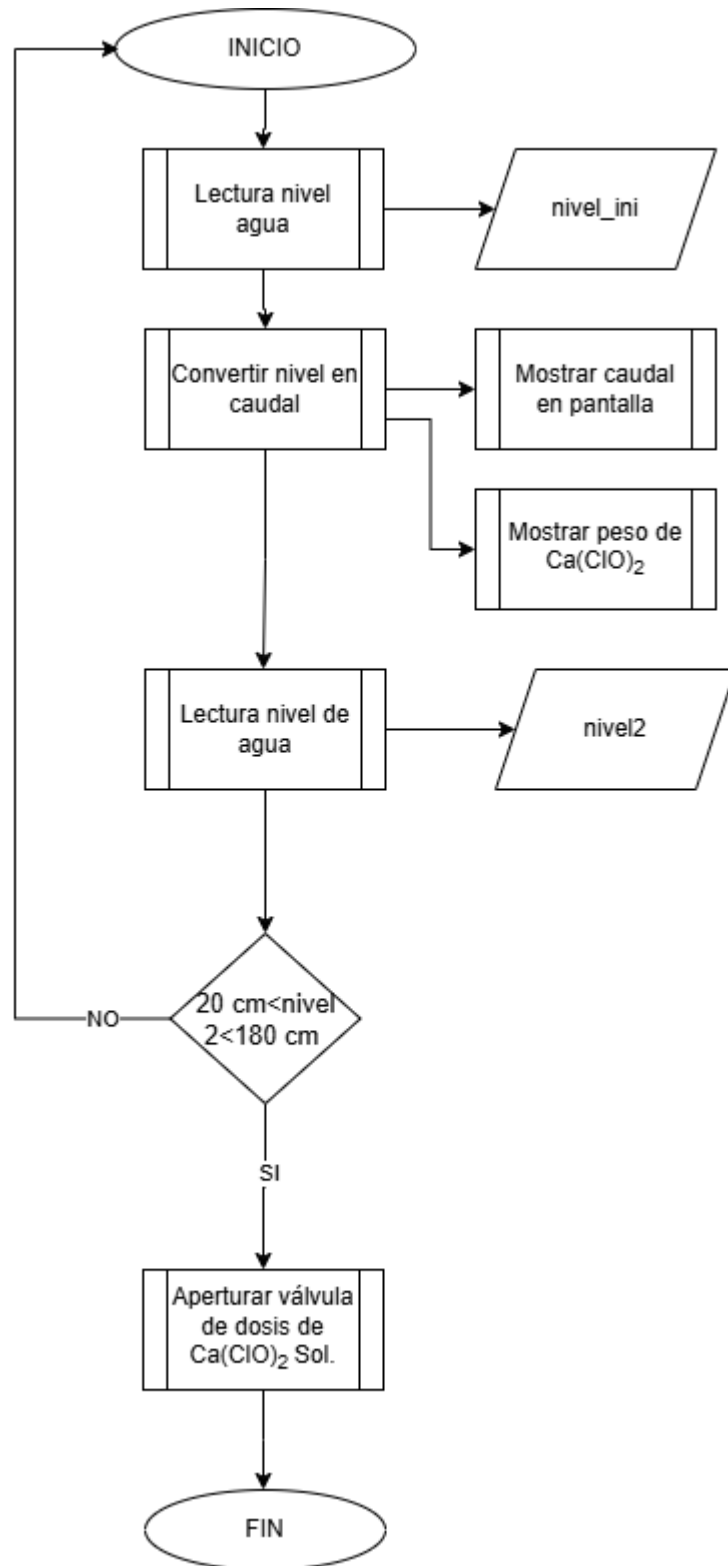
Para el diseño del sistema, es fundamental definir la variable que se desea controlar, ya que el correcto funcionamiento del sistema depende de ella. En este proyecto, la variable controlada es el caudal, el cual se determina de forma indirecta mediante un sensor que mide el nivel del agua. A partir de este dato, se calcula el volumen y, posteriormente, se obtiene el valor del caudal.

3.4.2. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema

Se realizó el diagrama de flujo de ejecución del sistema. En la figura 22 podemos verlo.

Figura 22

Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema



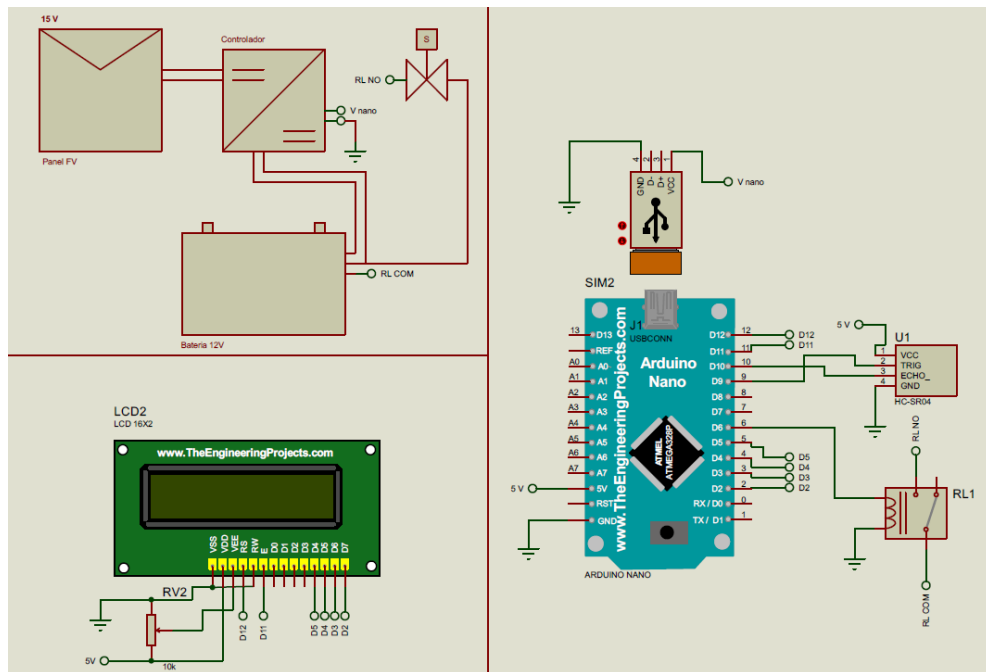
Nota. El diagrama de flujo indica las acciones que se ejecutan en el proceso de cloración con Arduino.

3.4.3. Esquema del cableado del sistema electrónico

Se llevó a cabo el cableado del sistema electrónico utilizando el programa de diseño y automatización Proteus Design. En la figura 23 podemos apreciarlo.

Figura 23

Conexiones de sistema electrónico



Nota. El esquema representa las conexiones del sistema electrónico.

3.5. CRITERIOS DE CONSTRUCCIÓN DEL CONTROL DE CAUDAL

En esta etapa se consideraron las características previstas para el desarrollo de la investigación, priorizando un diseño de bajo costo y de fácil manejo para el operador del sistema de agua. Además, se buscó aprovechar al máximo la tecnología disponible en este componente. Por ello, fue fundamental tener en cuenta diversos criterios de diseño recopilados durante la fase de recolección de información, con el fin de lograr la construcción del sistema de control automático.

3.6. MUESTRA Y UNIVERSO

En el reservorio del sistema de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Sapani se implementó el sistema de cloración empleando Arduino, el cual muestra el caudal y peso de hipoclorito de calcio para preparar la solución madre para luego dosificar el hipoclorito de calcio en solución.

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos que fueron utilizadas en la investigación fue la técnica de lectura, control y monitoreo.

Conocer el caudal que ingresa al reservorio en litros por segundo utilizando el medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino, para poder comparar con el Caudal Máximo Diario de Norma Técnica Peruana (NTP) y método volumétrico y así determinar el valor de caudal que sea apropiado, para realizar las recargas de cloro. Se identificó las variaciones de caudal durante los meses que duró la investigación para observar la evolución del mismo durante el periodo de la evaluación.

Asimismo, se recolectaron datos a través toma de muestra en los puntos críticos, a la salida del reservorio, primera vivienda, vivienda intermedia y ultima vivienda.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos fueron los siguientes:

- Informe de monitoreo de calidad de agua para consumo humano.
- Medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino.
- Cloro residual en los puntos críticos.

Equipos:

- Comparador de cloro visual.
- Colorímetro
- Cámara fotográfica
- GPS
- Balanza romana económica

Reactivos:

- Hipoclorito de calcio al 70 %
- DPD (N, Ndiethyl-p-phenyl-diamine)

Otros:

- Cuaderno de campo.
- Cronometro
- Balde de 4 L
- Balde de 20 L
- Balanza.

En la figura 27, se muestra los instrumentos de recolección de datos.

Figura 24

Equipos para recolección de datos



Nota. En la imagen se muestra los equipos para recolección de datos.

La técnica para el procesamiento de la información fueron la hoja de cálculo Excel y el dispositivo electrónico de control de caudal utilizando Arduino.

3.6.3. Puntos de Muestreo

Para la toma de muestra se ha realizado en frascos de 10 mL de manera manual en los puntos críticos, reservorio, primera vivienda, vivienda intermedia y ultima vivienda haciendo el uso del colorímetro y comparador visual de cloro residual se ha registrado la concentración de cloro residual, así como presenta en la tabla 5 y figura 28 respectivamente.

Tabla 4

Puntos de muestreo y su georreferenciación

Anexo/distrito	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM: WGS-84		Altitud
		Norte	Este	
Sapani/Raymondi	Reservorio	8819799	626085	257
	Conexiones domiciliarias	8819879	625925	236
		8819748	625532	225
		8819142	625037	234

Nota. Esta tabla muestra las coordenadas del punto de muestreo.

Figura 25

Puntos de muestreo de cloro residual



Nota. esta imagen muestra los puntos críticos de toma de muestra.

3.6.4. Operación y mantenimiento del medidor ultrasónico de caudal

En la operación se tuvo importancia el nivel del agua dentro del reservorio para luego calcular el caudal de ingreso del agua al reservorio el cual se visualizó en pantalla LCD display la lectura del caudal, con esta información se calcula la cantidad necesaria de hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) para preparar la solución madre para el proceso de cloración y finalmente realizar el monitoreo de cloro residual.

El mantenimiento del sistema, se ha realizado luego de concluir la prueba de evaluación, comprobando las conexiones de pines entre componentes electrónicos y verificando en el software Arduino IDE si la carga de códigos a la placa Arduino están correctos.

3.6.5. Resultados de los parámetros de evaluación

En este trabajo de investigación se ha empleado el dispositivo medidor ultrasónico que determina el caudal y el software más básico que es el Excel para los resultados de los datos de los parámetros de evaluación. La interpretación de resultados se realiza a través de representaciones graficas de programa Excel.

CAPITULO IV. AGUA POTABLE Y PROCESO DE CLORACIÓN EN SAPANI

4.1. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE SAPANI

Este estudio se basa en una fuente subterránea (manantial) proveniente de la quebrada Chirishato, la cual presenta un caudal aproximado de 15 L/s durante la época de estiaje y de 20 L/s en temporada de lluvias. La captación se realiza mediante un sistema tipo manantial de fondo, desde donde el agua es conducida a través de una línea de conducción hasta llegar al reservorio, donde se lleva a cabo el proceso de cloración, en la cual se tiene información de datos de la fuente de agua que muestra en la tabla 4.

Tabla 5

Resumen de datos hidrológico de la fuente

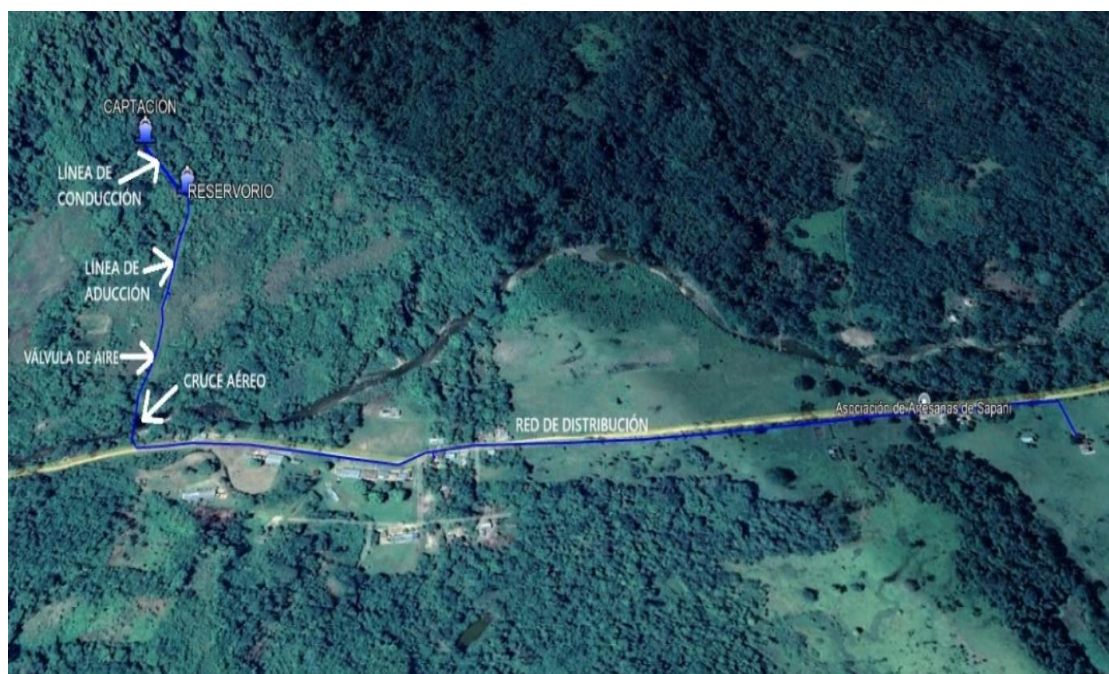
Anexo	Nombre de la fuente	Tipo de fuente	Documento	ALA	Tipo
Sapani	Quebrada Chirishato	Manantial	Resolución Directoral N° 042-2014-ANA-ALA-Atalaya	Atalaya	Licencia

Nota. Esta tabla muestra datos de la fuente de agua.

El servicio de agua potable en la comunidad de Sapani, es de tipo por gravedad sin tratamiento el cual está compuesto de captación tipo manantial de fondo, línea de conducción, reservorio, línea de aducción y red de distribución, así como se aprecia en la figura 26.

Figura 26

Sistema de agua potable de Sapani



Nota. esta figura muestra los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable.

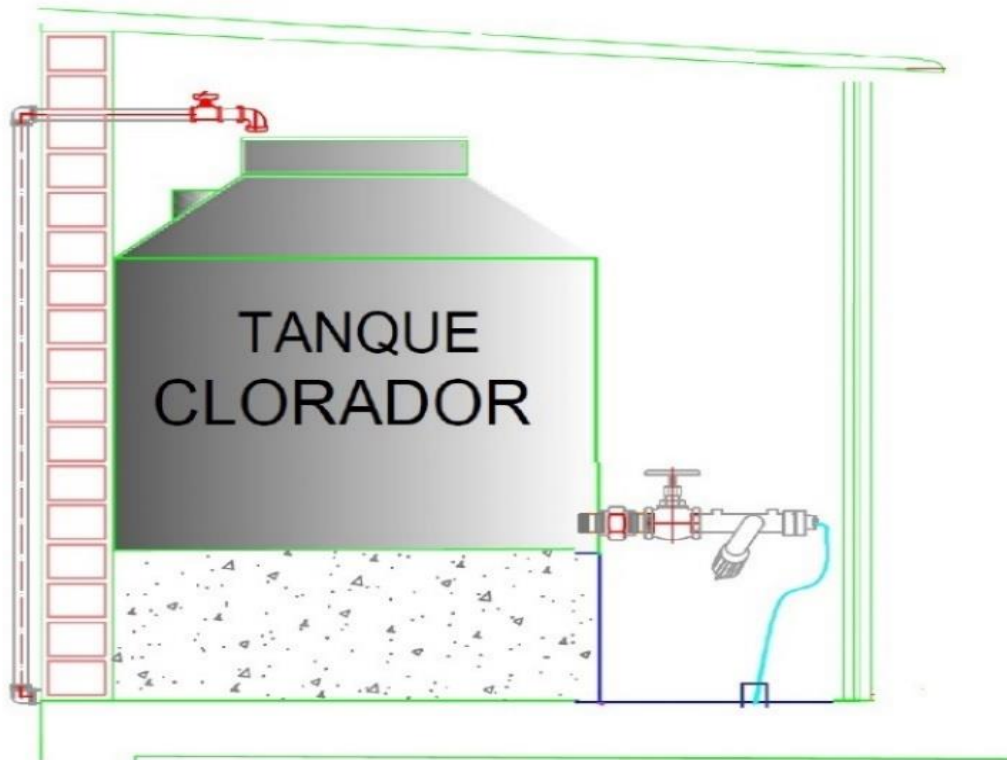
4.2. PROCESO DE CLORACIÓN DE SISTEMA DE AGUA POTABLE

El sistema de cloración que cuenta en sistema de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Sapani es por goteo autocompensante, el cual está ubicada en el reservorio del sistema de agua potable.

La cloración por goteo autocompensante es un proceso que permite desinfectar el agua cruda mediante la dosificación constante de hipoclorito de calcio en solución en el reservorio, el cual nos pudimos darnos cuenta de que el sistema presentaba deficiencias el proceso de cloración para lo cual se propone implementar el presente trabajo de investigación para mejorar el sistema de cloración, el objetivo es lograr la desinfección eficiente del agua y asegurar la presencia de cloro residual establecido en la norma vigente, el cual se muestra el diseño de programación del proceso de cloración con Arduino en la figura 27.

Figura 27

Sistema de cloración por goteo autocompensante

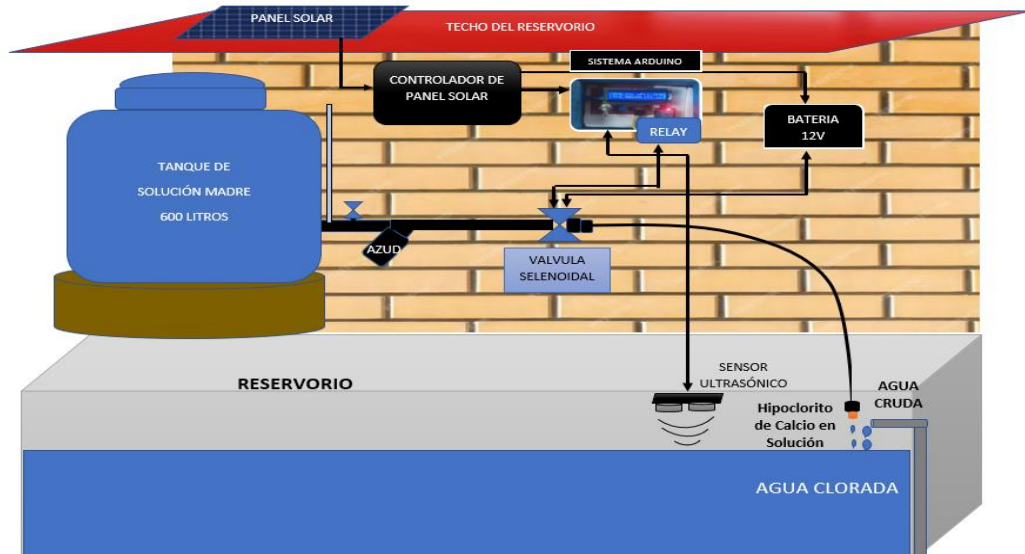


Nota. esta figura muestra el sistema de cloración por goteo autocompensante.

El agua ingresa al reservorio, en el cual se realiza la medición del caudal utilizando Arduino a través de un sensor ultrasónico, éste trasfiere la información de nivel del agua al microcontrolador de Arduino en el cual calcula y muestra el resultado del caudal a través de una pantalla LCD display, una vez teniendo el resultado del caudal el microcontrolador calcula el peso de hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) a requerir para disponer la solución madre, luego realizar la dosificación de hipoclorito de calcio en solución, el cual es controlado la dosis con la válvula solenoidal de acuerdo al nivel de ingreso del agua al reservorio, así como se aprecia en la figura 28 el diagrama de bloque del sistema de control de lazo cerrado.

Figura 28

Diseño de programación de sistema de cloración con Arduino

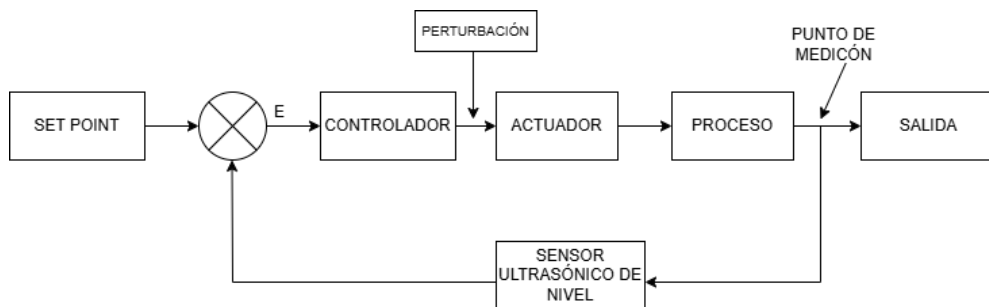


Nota. En la figura muestra el diseño de programación del sistema de cloración empleando Arduino.

El control de nivel para calcular el caudal y la apertura de la dosificación de hipoclorito de calcio en solución, se emplea un sensor ultrasónico de nivel para producir una señal eléctrica, esta señal se alimenta a un controlador de Arduino que compara con un valor deseado preestablecido o punto de referencia (set point). Si existe una diferencia, el controlador cambia la apertura de la válvula solenoidal de la dosis de hipoclorito de calcio en solución para corregir el nivel del agua en el reservorio, como se indica en la figura.

Figura 29

Diagrama de bloque del sistema de lazo cerrado



Nota. En esta figura muestra el diagrama de bloques de sistema de control de lazo cerrado, luego de estas consideraciones mencionadas se procedió a realizar el diseño.

CAPITULO V. DISEÑO, FABRICACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

En este capítulo enmarca el diseño, fabricación y puesta en marcha del dispositivo, los criterios de diseño y las dimensiones del medidor de caudal.

5.1. CRITERIOS DE DISEÑO

La consideración o criterios fue la selección de materiales, teniendo en cuenta su bajo costo de materiales, con este sistema de control automático para el operador será de mayor facilidad y menor de realizar trabajos de proceso de cloración, para ello se tiene en cuenta los materiales como se puede apreciar en la tabla 6.

Tabla 6

Componentes electrónicos utilizados

Componentes electrónicos			
Ítem	Nombre	Especificaciones	Cantidad
1	Arduino Nano		1
2	LCD16x02 Pantalla Azul	LCD 02X16	1
3	Sensor Ultrasónico	HC-SR04 HCSR04	1
4	Modulo relay de 1 canal		1
5	Válvula solenoide	12 V DC	1
6	Batería	12 V	1
7	Panel solar	10 W 15 V 0,66 A	1
8	Controlador solar	10 a 12 V	
9	Potenciómetro	R10k	1
10	Cables Unipolar	Color Blanco, Negro, Rojo y Azul	8 m
11	Regleta/Header	Macho Hembra de 1 *40	3
12	Cable con Jumper	Macho a Macho de 10 cms	1
13	Pinza Cocodrilo Para Batería	Negro/rojo	2

Nota. Esta tabla muestra las especificaciones de los componentes electrónicos.

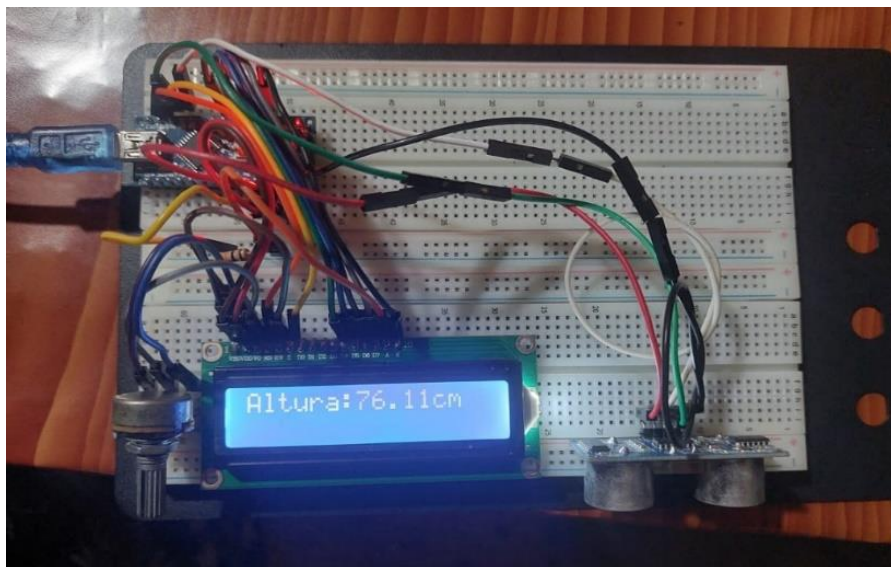
5.2. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MEDIDOR ULTRASÓNICO DE CAUDAL

5.2.1. Ensamblado de componentes electrónicos en placa de prueba (protoboard)

Se realizó el ensamblado de los componentes electrónicos en la placa de pruebas (protoboard) para realizar pruebas y de acuerdo a ello realizar el diseño de la placa o circuito electrónico, así como se presenta en la figura 30.

Figura 30

Ensamblado de componentes para la prueba



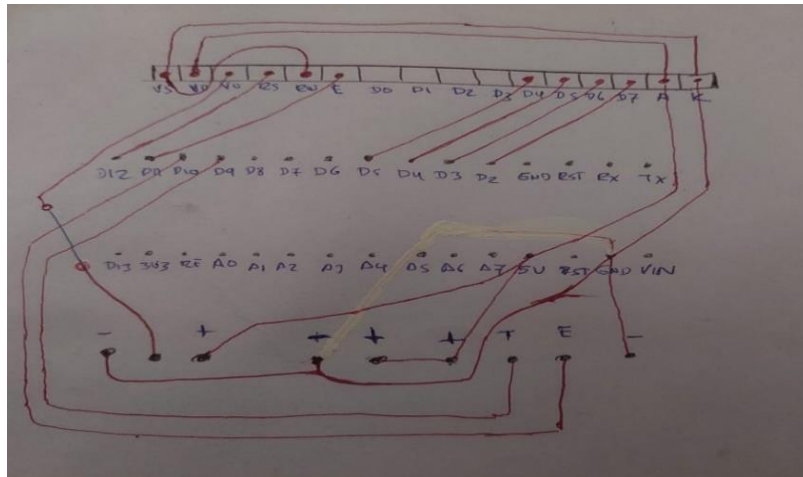
Nota. En la imagen muestra las conexiones de componentes con los pines respectivos en el protoboard para la prueba.

5.2.2. Elaboración de diseño de la placa preliminar

Una vez ya realizado las pruebas de los accesorios electrónicos en la placa de prueba (protoboard), se dibujó un diseño en plantilla para poder diseñarlo en software y obtener una placa de tal manera sea de menor tamaño y de manipular fácilmente, así como se puede ver en la figura 31.

Figura 31

Representación en plantilla de la placa



Nota. En la imagen muestra una representación en plantilla.

5.2.3. Elaboración de diseño preliminar en el Software KICAD

Una vez realizado el diseño en plantilla se ha realizado el diseño utilizando un software llamado “Kicad” para diseño de circuitos electrónicos; el cual, se realizó de acuerdo al diseño en plantilla, como se presenta en la figura 32.

Figura 32

Diseño de circuito electrónico de medidor



Nota. La figura muestra el diseño de circuito electrónico de medidor

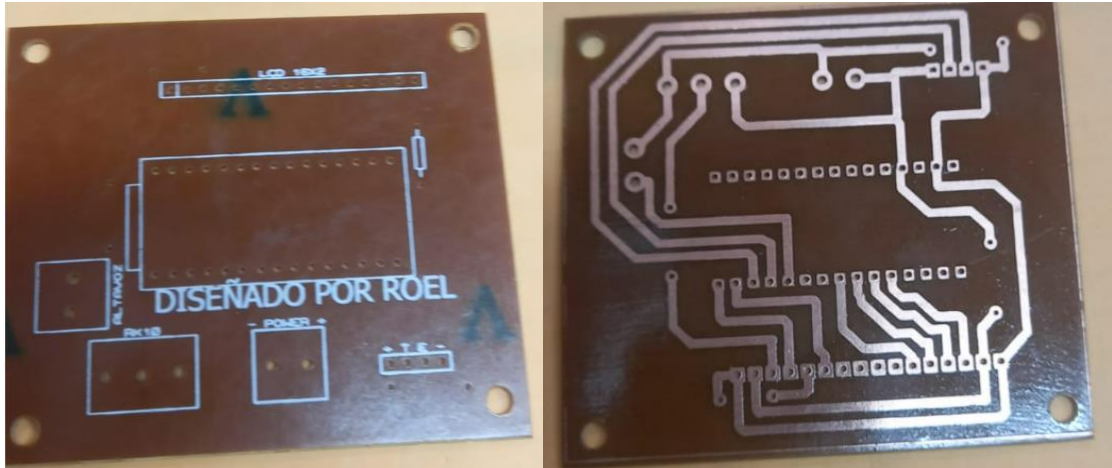
5.2.4. Placa o circuito impreso

Para la fabricación del medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino, se tuvo en cuenta la disponibilidad y el costo de los materiales en el mercado nacional. De modo

que se ha fabricado con una placa de material impreso con pistas conductoras de cobre que tiene una medida de 6,3 x 6,3 cm, como se aprecia en la figura 33.

Figura 33

Diseño e impreso de la placa



Nota. En la figura muestra la placa impresa.

5.2.5. Ensamblado de componentes electrónicos en la placa impresa.

Una vez ya teniendo la placa impresa y todos los materiales necesarios, luego se procedió a realizar el ensamblado de los componentes electrónicos y de la misma manera realizar la soldadura en sus respectivos pines de conexión, como se presenta en las tablas 7, 8, 9 y 10 respectivamente.

Tabla 7

Conexión de pines Arduino Nano y LCD 16X02

Arduino Nano	D12	D11	D5	D4	D3	D2
LCD 16X02	RS	E	D4	D5	D6	D7

Nota. En esta tabla muestra las conexiones de pines Arduino Nano y LCD

Tabla 8

Conexión de pines Arduino Nano y Sensor ultrasónico

Arduino Nano	D9	D10	5 V	GND
Sensor ultrasónico	TRIGGER	ECHO	VCC	GND

Nota. En esta tabla muestra las conexiones de pines Arduino Nano y sensor

Tabla 9

Conexión de pines Arduino Nano y modulo Relay

Arduino Nano	D6	5 V	GND
Relay	IN	+	-

Nota. En esta tabla muestra conexión de pines de Arduino Nano y el módulo relay.

Tabla 10

Conexión de pines Arduino Nano, LCD 16X02 y Potenciómetro

Arduino Nano	VCC		GND
LCD 16X02		VEE	
Potenciómetro	5V	OUTPUT	GND

Nota. En esta tabla muestra las conexiones de pines de Arduino, LCD y potenciómetro.

Se realizó la soldadura de componentes electrónicos y accesorios en la placa impresa para fabricar el dispositivo ultrasónico de caudal, así como se presenta en la figura 34.

Figura 34

Ensamblado de componentes en la placa



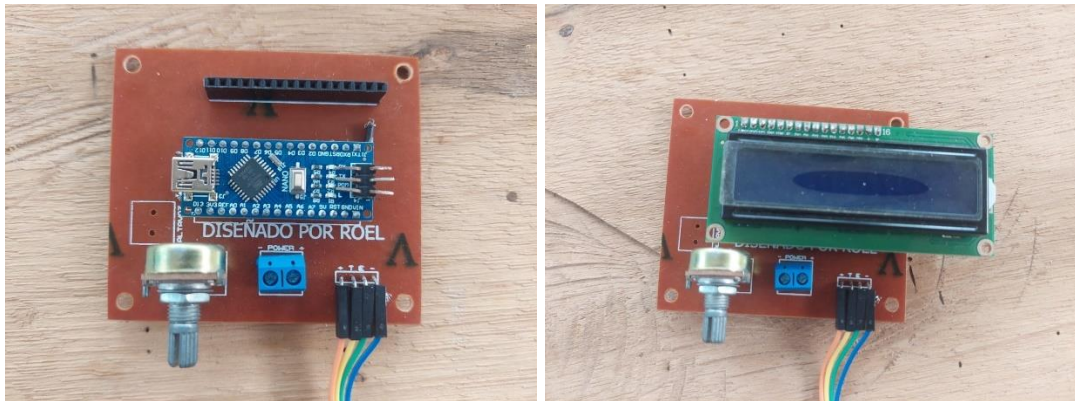
Nota. En la figura muestra el ensamblado de componentes electrónicos en la placa impresa.

5.2.6. Forma del medidor ultrasónico de caudal

La placa impresa que consta de 6,3 cm de largo y 6,3 cm de ancho, el cual se realizó la soldadura y conexiones de los componentes electrónicos, así como se puede apreciar en la figura 35.

Figura 35

Placa ensamblada con los componentes electrónicos



Nota. En la figura muestra la placa ensamblada con los componentes electrónicos.

5.2.7. Construcción de estructura para la protección de la placa

El módulo de recubrimiento se ha desarrollado en campo de trabajo. El material empleado fue madera con dimensiones de 17 cm de largo y 11 cm de ancho y 7 cm de espesor, se ha elegido este material según a la disponibilidad de la zona, así como se presenta en la figura 36.

Figura 36

Estructura para la protección de la placa



Nota. En la figura muestra la estructura para la protección de la placa.

5.2.8. Programación de códigos en el Software Arduino IDE

Para programar con el software Arduino IDE, se siguió los siguientes pasos:

- Se descargo el programa Arduino IDE.
- Conectó la placa Arduino al ordenador con el cable USB
- Escribió el código en el IDE (declaro variables, se ejecutó el programa)
- Subió el código al microcontrolador (Arduino Nano)

Los códigos de programación se pueden apreciar en el anexo 6.

5.2.9. Prueba del circuito construido antes de la implementación

Las pruebas se realizaron en campo de trabajo el software con el programador Arduino IDE con fines de encontrar errores de conexiones de pines del dispositivo ya sea en momento de la soldadura de los pines o en la manipulación de los componentes electrónicos, así como se presenta en la figura 37, de esta manera habiéndose encontrado sin problemas al momento de la prueba se procedió a la instalación.

Figura 37

Prueba de la placa con el software Arduino IDE



Nota. En la imagen muestra la prueba de la placa con el software Arduino IDE.

5.2.10. Pruebas del medidor ultrasónico de caudal en el lugar de la investigación

En esta prueba se ha realizado en el reservorio del sistema de abastecimiento del agua potable, para poder observar los primeros detalles e imprevistos durante el funcionamiento del medidor automático de caudal del agua, donde se ha instalado el

sensor ultrasónico para realizar la medición del volumen del agua y ciertamente el caudal del mismo, así como se presenta en la figura 38.

Figura 38

Prueba de medidor ultrasónico de caudal Arduino in situ



Nota. En la figura muestra la instalación y prueba de medidor ultrasónico de caudal Arduino in situ.

5.3. PUESTA EN MARCHA DEL MEDIDOR DE CAUDAL CON ARDUINO

El proceso da inicio una vez revisado las instalaciones y correcta ubicación del medidor automático de caudal para su funcionamiento con eficiencia.

Este medidor consta de sistema de recopilación de datos a través de un sensor ultrasónico que enviara información al microcontrolador de Arduino el cual procesa para luego determinar el caudal de ingreso del agua al reservorio y cuenta con sistema de alimentación de energía a través de conexiones de carga con paneles solares, así como se aprecia en la figura 39.

Figura 39

Sistema de cloración empleando Arduino



Nota. Esta figura muestra el sistema del circuito de control de caudal empleando Arduino.

CAPITULO VI. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de la evaluación de los parámetros de operación como es el caudal del agua y cloro residual, etc.

6.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA A LA SALIDA DEL RESERVORIO

La Tabla 11 presenta los resultados de los análisis de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos del agua a la salida del reservorio, realizados por un laboratorio acreditado por INACAL. Estos resultados permiten comparar los valores obtenidos con los establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM) y con los Límites Máximos Permisibles del Reglamento de la Calidad del Agua (Decreto Supremo N.º 031-2010-SA).

Tabla 11

Resultados de análisis fisicoquímico y microbiológico del agua para consumo humano a la salida del reservorio

Estación de Muestreo		SAPANI			CUMPLE PARAMETROS MINIMOS
		ECA	LMP		
Hora de Muestreo		10:22			
Fecha de Muestreo		10/05/2024			
Sólidos Totales	mg/L	146	1000	1000	SI CUMPLE
Disueltos					
Cloruros	mg/L	<4	250	250	SI CUMPLE
Turbidez	UNT	0,16	5	5	SI CUMPLE
Sulfatos	mgsSO ₄ ⁻² /L	11	250	250	SI CUMPLE
Dureza Total	mgCaCO ₃ /L	140	500	500	SI CUMPLE
Amoniaco	mg/L	<0,06	1,5	1,5	SI CUMPLE
Antimonio	mg/L	<0,004	0,02	0,02	SI CUMPLE
Cianuro Total	mg CN/L	<0,013	0,07	0,07	SI CUMPLE
Clorito	mg/L	<0,010	0,7	0,7	SI CUMPLE
Clorato	mg/L	<0,010	0,7	0,7	SI CUMPLE
Níquel	mg/L	<0,001	0,02	0,02	SI CUMPLE
Uranio	mg/L	<0,010	0,015	0,015	SI CUMPLE
Fluoruros	mg/L	0,132	1	1	SI CUMPLE
Conductividad (25°C)	µS/cm	224,00	1500	1500	SI CUMPLE
Arsénico	mg/L	<0,008	0,01	0,01	SI CUMPLE
Aluminio	mg/L	<0,02	0,2	0,2	SI CUMPLE
Bario	mg/L	<0,001	0,7	0,7	SI CUMPLE
Boro	mg/L	<0,008	1,5	1,5	SI CUMPLE
Cadmio	mg/L	<0,0004	0,003	0,003	SI CUMPLE
Cobre	mg/L	<0,001	2	2	SI CUMPLE
Cromo	mg/L	<0,0008	0,05	0,05	SI CUMPLE
Hierro	mg/L	0,3	0,3	0,3	SI CUMPLE
Manganeso	mg/L	<0,0002	0,4	0,4	SI CUMPLE
Mercurio	mg/L	<0,001	0,001	0,001	SI CUMPLE
Molibdeno	mg/L	<0,002	0,07	0,07	SI CUMPLE
Plomo	mg/L	<0,006	0,01	0,01	SI CUMPLE
Selenio	mg/L	<0,005	0,04	0,01	SI CUMPLE
Sodio	mg/L	1,46	-	200	SI CUMPLE
Zinc	mg/L	0,0072	3	3	SI CUMPLE
Color	Unit.Pt-Co	<3		15	SI CUMPLE
pH (medición en campo)	Und. pH	8,23	6,5 - 8,5	6,5 a 8,5	SI CUMPLE
Nitratos	mg/L	0,943	50	50	SI CUMPLE

				3	
Nitritos	mg/L	<0,008	3	(Exposición corta)	SI CUMPLE
Detección de Colifagos (Virus)	UFC/mL	0	0	0	SI CUMPLE
Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios	N° org/L	0	0	0	SI CUMPLE
Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios	N° org/L	0	0	0	SI CUMPLE
Recuento de Bacterias Heterótrofas PCA 35 °C 48±3h	UFC/mL	340	-	500	SI CUMPLE
Coliformes totales	NMP/100 mL	<1,8	50	<1,8	SI CUMPLE
Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP)	NMP/100 mL	<1,8	20	<1,8	SI CUMPLE
Escherichia coli	NMP/100 mL	<1,8	0	<1,8	SI CUMPLE
Olor	---	Aceptable	Aceptable	Aceptable	SI CUMPLE
Sabor	---	Aceptable	Aceptable	Aceptable	SI CUMPLE

Nota. En esta tabla muestra los resultados de la caracterización de agua. Fuente: Informe de Análisis realizado por el Laboratorio particular PACIF CONTROL.

De acuerdo a los análisis realizados podemos concluir que el agua proveniente del manante Chirishato es apta para consumo humano.

6.2. RESULTADOS DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

La investigación ha iniciado con la determinación de caudal para tener información para los cálculos del peso de hipoclorito de calcio.

6.2.1. Cálculo del caudal según Norma Técnica Peruana

- **Cálculo de caudal máximo diario según Norma Técnica Peruana (R.M. N° 173-2016-VIVIENDA)**

Se tomo los valores según la tabla 12, para determinar el caudal máximo diario para abastecer a la población.

Tabla 12

Dotación de Agua según Opción Tecnológica y Región

Región	Dotación según tipo de opción tecnológica (L/hab. d)	
	Sin arrastre hidráulico (compostera y hoyo seco ventilado)	Con arrastre hidráulico (tanque séptico mejorado)
Costa	60	90
Sierra	50	80
Selva	70	100

Nota. En esta tabla muestra que de acuerdo a la región selva se usa una dotación de 70 (L/hab. d). Fuente: (Resolución Ministerial N°173-2016-VIVIENDA)

Según la tabla 13 se tiene los datos de la demanda de agua para la comunidad.

Tabla 13

Datos de la demanda de agua

Población	115 habitantes
Dotación	70 L/ hab./día
Coefficiente de variación	1,3 según MVCS
1 día	86400 segundos

Nota. En esta tabla muestra los datos para determinar la demanda de agua.

Ecuación de cálculo:

$$Q_{md} = \frac{(Poblacion)*(Dotacion)*(Coef.Variación diaria)}{86400} \quad \dots (6)$$

Donde:

Q_{md} : Caudal máximo diario (l/s)

K1: Coeficiente variación diaria

Dot: Dotación en L/hab. d

Pob: Población de diseño en habitantes (hab.)

Reemplazando en la ecuación tenemos:

$$Q = \frac{1,3 * 115 * 70}{86400}$$

$$Q = 0,12 \text{ L/s}$$

Cálculo de la oferta diaria:

$$Q = 0,12 \frac{\text{L}}{\text{s}} * \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}}$$

$$Q = 10368 \text{ L/día}$$

Calculo el peso de hipoclorito de calcio:

$$P = \frac{C \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * V(\text{l})}{10 * \% \text{ concentración}}$$

$$P = \frac{1,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 10368 \frac{\text{L}}{\text{día}}}{10 * 70\%}$$

$$P = 22,22 \text{ gramos para 1 día}$$

$$P = 155,52 \text{ gramos para 7 días}$$

$$P = 156 \text{ gramos}$$

$$P = 0,15 \text{ kg}$$

Cálculo de caudal de goteo (dosis):

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

$$Q = \frac{600 \text{ L}}{7 \text{ días}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} * \frac{1 \text{ día}}{1440 \text{ min}}$$

$$Q = 59,52$$

$$Q = 60 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$$

Cálculo de la concentración de la solución madre:

$$C = \frac{\text{Peso de CaClO}_2}{\text{Volumen del tanque}}$$

$$C = \frac{156 \text{ g}}{600 \text{ L}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

$$C = 259,20 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Los datos de caudal según la Norma Técnica Peruana se presentan en la tabla 14.

Tabla 14

Datos experimentales según el caudal máximo diario

Q (L/s)	V (L/día)	Días	Peso de cloro al 70% (g)	V Tanque (L)	Dosis (mL/min)	[] mg/L	Cumple
0,12	18144	7	156	600	60	259,20	SI

Nota. En esta tabla se muestra los resultados según la NTP.

Los parámetros que se obtuvieron en campo se presentan en la tabla 15.

Tabla 15

Parámetros de campo analizados

Fecha	Caudal (L/s)	pH	T °C	Turbiedad (NTU)	Color
06/04/2024	0,12	7,5	23,4 °C	0,25	Aceptable

Nota. En esta tabla se muestra los parámetros esenciales de agua en campo.

Registro de lecturas de cloro residual según el caudal calculado por NTP se presenta en la tabla 16.

Tabla 16

Datos de medición de cloro residual en la red de distribución

Nº	Ubicación del punto de muestreo	Punto de toma de la muestra	Fecha de muestra	Cloro residual (ppm)	Nombres y apellidos
1	Red	1era vivienda	06/04/2024	0,46	Mesealita Cayetano Campos
2	Red	Vivienda intermedia	06/04/2024	0,40	Elsa Saldaña campos
3	Red	Ultima vivienda	06/04/2024	0,35	Norma Cobos Campos

Nota. En esta tabla se muestra los niveles de cloro residual en la red de distribución.

6.2.2. Cálculo de caudal método volumétrico:

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

Donde:

Q: Caudal de ingreso del agua (l/s)

V: Volumen del agua (l)

t: Tiempo (s)

Utilizando un balde de 4 litros se obtuvo el tiempo de llenado de agua, como se presenta en la tabla 17.

Tabla 17

Valores de tiempo

Tiempo	Valor
t ₁	25,1
t ₂	24,6
t ₃	25,0
Promedio	24,9

Nota. En esta tabla muestra los valores de tiempo

Cálculo del caudal:

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

$$Q = \frac{4}{16.39}$$

$$Q = 0,16 \text{ l/s}$$

Cálculo de la oferta diaria:

$$Q = 0,24 \frac{\text{L}}{\text{s}} * \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}}$$

$$Q = 13824 \text{ L/día}$$

Cálculo de peso de hipoclorito de calcio:

$$P = \frac{1,5 * 20736}{70\% * 10}$$

$$P = 207 \text{ gramos}$$

$$P = 0,207 \text{ kg}$$

Cálculo de goteo (dosis):

$$Q = \frac{V(mL)}{t(min)}$$

$$Q = \frac{600 \text{ Litros}}{7 \text{ días}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} * \frac{1 \text{ día}}{1440 \text{ min}}$$

$$Q = 60 \frac{mL}{min}$$

Cálculo de la concentración de la solución madre:

$$C = \frac{\text{Peso de CaClO}_2}{\text{Volumen del tanque}}$$

$$C = \frac{207 \text{ g}}{600 \text{ L}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

$$C = 345,60 \frac{mg}{L}$$

$$C = 259,20 \frac{mg}{L}$$

Los datos de caudal por método volumétrico se presentan en la tabla 18.

Tabla 18

Datos experimentales según el caudal método volumétrico

Q (L/s)	V (L/día)	Días	Peso de cloro al 70% (g)	V Tanque (L)	Dosis (mL/min)	[] mg/L	Cumple
0,16	13824	7	207	600	60	345,60	SI

Nota. En esta tabla muestra los datos de cálculo según el caudal determinado.

Los parámetros que se obtuvieron en campo se presentan en la tabla 19.

Tabla 19*Datos de parámetros de campo método volumétrico*

Día	Fecha	Caudal (L/s)	pH	T °C	Turbiedad (NTU)	Color
1	13/04/2024	0,16	8,2	25,5 °C	0,20	Aceptable
2	15/04/2024	0,17	8,0	25,5 °C	0,25	Aceptable
3	17/04/2024	0,15	7,8	25,5 °C	0,20	Aceptable
4	19/04/2024	0,17	8,0	25,5 °C	0,20	Aceptable
5	21/04/2024	0,155	7,6	25,5 °C	0,20	Aceptable
6	23/04/2024	0,17	7,4	25,5 °C	0,20	Aceptable
7	25/04/2024	0,164	7,8	25,5 °C	0,20	Aceptable

Nota. En esta tabla muestra los parámetros obtenidos según método volumétrico.

Registro de lecturas de cloro residual según el caudal calculado por método volumétrico.

Los valores de cloro residual en la red de distribución se presentan en la tabla 20.

Tabla 20*Datos de medición de cloro residual en la red de distribución*

N°	Ubicación del punto de muestreo	Punto de toma de la muestra	Fecha de muestra	Cloro residual (ppm)	Nombres y apellidos
1	Red	1era vivienda	13/04/2024	0,85	Mesealita Cayetano Campos
2	Red	Vivienda intermedia	13/04/2024	0,50	Elsa Saldaña campos
3	Red	Ultima vivienda	13/04/2024	0,25	Norma Cobos Campos

Nota. En esta tabla muestra los valores de cloro residual.

Los datos de niveles de cloro residual de 7 días se presentan en la tabla 21.

Tabla 21*Registro de lecturas de cloro residual*

Día	Fecha	Volumen de la muestra (mL)	Lectura de cloro residual (mg/L)		
			1ra Vivienda	Viv. Intermedia	Ultima Vivienda
1	13/04/2024	10	0,85	0,50	0,25
2	15/04/2024	10	0,64	0,48	0,16
3	17/04/2024	10	0,73	0,52	0,18
4	19/04/2024	10	0,64	0,46	0,10
5	21/04/2024	10	0,72	0,48	0,12
6	23/04/2024	10	0,78	0,56	0,18
7	25/04/2024	10	0,68	0,42	0,14

Nota. En esta tabla muestra los niveles de cloro residual en la red de distribución.

Primera evaluación

6.2.3. Datos de lectura de caudal empleando Arduino

Datos de caudal obtenidos de medidor ultrasónico de caudal utilizando ARDUINO, donde se presentan en la figura 40 y tabla 22 respectivamente.

Figura 40

Panel de control de caudal



Nota. en la figura muestra el panel de control de datos de caudal del ingreso del agua, el peso de hipoclorito de calcio, volumen y altura del agua.

Tabla 22

Resultados de caudal de ingreso de agua con Arduino

N°	Caudal (L/s)	Fecha
1	0,14	04/05/2024
2	0,13	04/05/2024
3	0,15	04/05/2024
Promedio	0,14	04/05/2024

Nota. En esta tabla muestra los datos obtenidos en dispositivo automático Arduino.

Calculo para 7 días:

Cálculo de la oferta diaria:

$$Q = 0,14 \frac{L}{s} * \frac{86400 s}{1 \text{ día}}$$
$$Q = 12096 L/dia$$

Calculo el peso de hipoclorito de calcio:

$$P = \frac{C \left(\frac{mg}{L} \right) * V(l)}{10 * \% \text{ concentración}}$$

$$P = \frac{1,5 \frac{mg}{L} * 12096 \frac{L}{dia}}{10 * 70\%}$$

$$P = 25,92 \text{ gramos para 1 día}$$

$$P = 181 \text{ gramos para 7 días}$$

$$P = 181 \text{ gramos}$$

$$P = 0,181 \text{ kg}$$

Cálculo de caudal de goteo (dosis):

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

$$Q = \frac{600 L}{7 \text{ días}} * \frac{1000 mL}{1 L} * \frac{1 \text{ día}}{1440 \text{ min}}$$

$$Q = 59,52$$

$$Q = 60 \frac{mL}{min}$$

Cálculo de la concentración de la solución madre:

$$C = \frac{\text{Peso de CaClO}_2}{\text{Volumen del tanque}}$$

$$C = \frac{181 g}{600 L} * \frac{1000 mg}{1 g}$$

$$C = 302,40 \frac{mg}{L}$$

Los datos obtenidos de caudal y cálculos de la primera evaluación del medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino se presentan en la tabla 23.

Tabla 23

Datos experimentales según medición de caudal Arduino

Q (L/s)	V (L/día)	Días	Peso de cloro al 70% (g)	V Tanque (L)	Dosis (mL/min)	[] mg/L	Cumple
0,14	12096	7	181	600	30	30,40	SI

Nota. En esta tabla muestra datos cálculos según el caudal obtenido con Arduino.

Los datos de los parámetros se muestran en la tabla 24.

Tabla 24

Datos de parámetros de campo utilizando Arduino

Día	Fecha	Caudal (L/s)	pH	T °C	Turbiedad (NTU)	Color
1	04/05/2024		8,24	25,5	0,30	Aceptable
2	06/05/2024		8,15	24,5	0,28	Aceptable
3	07/05/2024		8,25	25,5	0,30	Aceptable
4	08/05/2024	0,14	8,23	26,5	0,32	Aceptable
5	09/05/2024		8,12	25,5	0,31	Aceptable
6	10/05/2024		8,10	25,0	0,75	Aceptable
7	11/05/2024		8,16	25,5	0,32	Aceptable

Nota. En esta tabla muestra los datos de parámetros obtenidos en campo.

Registro de lecturas de cloro residual en la red de distribución de acuerdo al caudal determinado por medidor ultrasónico utilizando Arduino se presenta en la tabla 25

Tabla 25

Datos de medición de cloro residual en la red de distribución

Nº	Ubicación del punto de muestreo	Punto de toma de la muestra	Fecha de muestra	Cloro residual (ppm)	Nombres y apellidos
1	Red	1era vivienda	04/05/2024	1,0	Mesealita Cayetano Campos
2	Red	Vivienda intermedia	04/05/2024	0,86	Elsa Saldaña campos
3	Red	Ultima vivienda	04/05/2024	0,64	Norma Cobos Campos

Nota. En esta tabla muestra los niveles de cloro residual en la red.

Los valores de lectura de niveles de cloro residual en los 7 días en la red de distribución se presentan en la tabla 26.

Tabla 26

Registro de lecturas de Cloro Residual

Día	Fecha	Volumen de la muestra (mL)	Lectura de cloro residual (mg/L)		
			1ra Vivienda	Viv. Intermedia	Ultima Vivienda
1	04/05/2024	10	1,0	0,86	0,64
2	06/05/2024	10	0,96	0,84	0,52
3	07/05/2024	10	0,92	0,52	0,64
4	08/05/2024	10	0,98	0,78	0,50
5	09/05/2024	10	0,90	0,72	0,52
6	10/05/2024	10	0,88	0,62	0,54
7	11/05/2024	10	0,96	0,75	0,58

Nota. En la tabla muestra registro de cloro residual en la red durante los 7 días de monitoreo.

Segunda evaluación

Cálculo para 14 días

Datos de caudal obtenidos de medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino se presenta en la tabla 27.

Tabla 27

Resultados de caudal de ingreso de agua con Arduino

N°	Caudal (L/s)	Fecha
1	0,17	12/05/2024
2	0,18	12/05/2024
3	0,18	12/05/2024
Promedio	0,18	12/05/2024

Nota. En tabla muestra los resultados del caudal de ingreso de agua al reservorio con Arduino.

Los datos experimentales de obtenidos de caudal se presentan en la tabla 28.

Tabla 28

Datos experimentales según medición de caudal con Arduino

Q (L/s)	V (L/día)	Días	Peso de cloro al 70% (g)	V Tanque (L)	Dosis (mL/min)	[] mg/L	Cumple
0,18	15552	14	467	600	30	777,60	SI

Nota. En esta tabla muestra los datos experimentales de acuerdo al caudal obtenido con Arduino.

Los datos de parámetros en campo se presentan en la tabla 29.

Tabla 29

Datos de parámetros de campo utilizando Arduino

Dia	Fecha	Caudal (L/s)	pH	T °C	Turbiedad (NTU)	Color
1	12/05/2024	0,18	8,22	25,5	0,30	Acceptable
2	13/05/2024		8,03	24,5	0,28	Acceptable
3	14/05/2024		7,95	25,0	0,30	Acceptable
4	15/05/2024		7,85	26,5	0,32	Acceptable
5	16/05/2024		7,95	24,5	0,31	Acceptable
6	17/05/2024		8,04	25,5	0,75	Acceptable
7	18/05/2024		8,12	25,5	0,32	Acceptable
8	19/05/2024		8,06	25,5	0,31	Acceptable
9	20/05/2024		7,84	26,5	0,75	Acceptable
10	21/05/2024		8,06	25,5	0,32	Acceptable
11	22/05/2024		8,43	25,5	0,31	Acceptable
12	23/05/2024		8,12	24,5	0,75	Acceptable
13	24/05/2024		8,35	25,5	0,32	Acceptable
14	25/05/2024		8,14	24,0	0,31	Acceptable

Nota. En esta imagen muestra los resultados de parámetros obtenidos.

Los datos de obtenidos de niveles de cloro residual se presentan en la tabla 30.

Tabla 30*Registro de lecturas de Cloro Residual.*

Dia	Fecha	Volumen de la muestra (mL)	Lectura de cloro residual (mg/L)		
			1ra Vivienda	Viv. Intermedia	Ultima Vivienda
1	12/05/2024	10	0,98	0,86	0,64
2	13/05/2024	10	0,96	0,84	0,52
3	14/05/2024	10	0,92	0,52	0,64
4	15/05/2024	10	0,98	0,78	0,50
5	16/05/2024	10	0,90	0,72	0,52
6	17/05/2024	10	0,88	0,62	0,54
7	18/05/2024	10	0,96	0,83	0,58
8	19/05/2024	10	0,90	0,72	0,52
9	20/05/2024	10	0,88	0,62	0,54
10	21/05/2024	10	0,96	0,83	0,58
11	22/05/2024	10	0,96	0,83	0,58
12	23/05/2024	10	0,90	0,72	0,52
13	24/05/2024	10	0,88	0,62	0,54
14	25/05/2024	10	0,96	0,83	0,58

Nota. En esta tabla muestra los resultados de niveles de cloro residual en la red.

Tercera evaluación

Cálculo para 21 días

Datos de caudal obtenidos de medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino se presentan en la tabla 31.

Tabla 31*Resultados de caudal de ingreso de agua con Arduino*

N°	Caudal (L/s)	Fecha
1	0,20	26/05/2024
2	0,19	26/05/2024
3	0,18	26/05/2024
Promedio	0,19	26/05/2024

Nota. En esta tabla muestra los resultados obtenidos de caudal de agua al ingreso al reservorio con Arduino.

Los datos experimentales de caudal y cálculos se presentan en la tabla 32.

Tabla 32*Datos experimentales según medición de caudal con Arduino por 21 días*

Q (L/s)	V (L/día)	Días	Peso de cloro al 70% (g)	V Tanque (L)	Dosis (mL/min)	[] mg/L	Cumple
0,19	16416	21	739	600	30	1231,20	SI

Nota. En esta tabla muestra datos de cálculo de acuerdo al caudal determinado con Arduino.

Los datos de parámetros obtenidos en campo se presentan en la tabla 33.

Tabla 33*Datos de parámetros de campo con Arduino*

Día	Fecha	Caudal (L/s)	pH	T °C	Turbiedad (NTU)	Color
1	26/05/2024		8,24	25,5	0,30	Aceptable
2	27/05/2024		8,15	24,2	0,28	Aceptable
3	28/05/2024		8,25	25,5	0,30	Aceptable
4	29/05/2024		8,23	25,5	0,32	Aceptable
5	30/05/2024		8,12	26,5	0,31	Aceptable
6	31/05/2024		8,10	25,5	0,75	Aceptable
7	01/06/2024		8,16	25,5	0,32	Aceptable
8	02/06/2024		7,98	22,5	0,31	Aceptable
9	03/06/2024		7,96	25,5	0,75	Aceptable
10	04/06/2024		7,90	25,5	0,32	Aceptable
11	05/06/2024	0,19	8,20	24,5	0,75	Aceptable
12	06/06/2024		8,19	24,5	0,32	Aceptable
13	07/06/2024		8,18	25,5	0,31	Aceptable
14	08/06/2024		8,15	25,5	0,75	Aceptable
15	09/06/2024		8,12	23,5	0,32	Aceptable
16	10/06/2024		8,14	25,5	0,32	Aceptable
17	11/06/2024		8,18	24,8	0,75	Aceptable
18	12/06/2024		8,28	25,5	0,32	Aceptable
19	13/06/2024		8,32	25,5	0,31	Aceptable
20	14/06/2024		8,28	25,5	0,75	Aceptable
21	15/06/2024		8,22	24,5	0,65	Aceptable

Nota. En esta tabla muestra los resultados de los parámetros obtenidos en campo de acuerdo al caudal determinado con Arduino.

Los valores de niveles de cloro residual se presentan en la tabla 34.

Tabla 34

Registro de Lecturas de Cloro Residual por 21 días

Día	Fecha	Volumen de la muestra (mL)	Lectura de cloro residual (mg/L)		
			1ra Vivienda	Viv. Intermedia	Ultima Vivienda
1	26/05/2024	10	1,0	0,86	0,64
2	27/05/2024	10	0,96	0,84	0,52
3	28/05/2024	10	0,92	0,52	0,64
4	29/05/2024	10	0,98	0,78	0,50
5	30/05/2024	10	0,90	0,72	0,52
6	31/05/2024	10	0,88	0,62	0,54
7	01/06/2024	10	0,96	0,83	0,58
8	02/06/2024	10	0,90	0,72	0,52
9	03/06/2024	10	0,88	0,62	0,54
10	04/06/2024	10	0,96	0,83	0,58
11	05/06/2024	10	0,92	0,52	0,64
12	06/06/2024	10	0,98	0,78	0,50
13	07/06/2024	10	0,90	0,72	0,52
14	08/06/2024	10	0,88	0,62	0,54
15	09/06/2024	10	0,96	0,83	0,58
16	10/06/2024	10	0,90	0,72	0,52
17	11/06/2024	10	0,88	0,62	0,54
18	12/06/2024	10	0,96	0,83	0,58
19	13/06/2024	10	0,98	0,78	0,50
20	14/06/2024	10	0,90	0,72	0,52
21	15/06/2024	10	0,88	0,62	0,54

Nota. En esta tabla muestra los niveles de cloro residual en la red de distribución.

6.3. RESULTADOS DE CLORO RESIDUAL EN LOS PUNTOS CRÍTICOS

Los datos de cloro residual en los puntos críticos se presentan en la tabla 35.

Tabla 35*Resultados de concentraciones cloro residual en los puntos críticos*

N°	Fecha	Cloro residual (mg/L)			
		Reservorio	1ra viv.	Viv. Intermedia	Ultima viv.
Primera evaluación					
1	04/05/2024	1.2	1.0	0.86	0.64
2	06/05/2024	1.2	0.96	0.84	0.52
3	07/05/2024	1.0	0.92	0.52	0.64
4	08/05/2024	1.2	0.98	0.78	0.50
5	09/05/2024	1.0	0.90	0.72	0.52
6	10/05/2024	1.0	0.88	0.62	0.54
7	11/05/2024	1.2	0.96	0.75	0.58
Segunda evaluación					
1	12/05/2024	1.2	0.98	0.86	0.64
2	13/05/2024	1.2	0.96	0.84	0.52
3	14/05/2024	1.0	0.92	0.52	0.64
4	15/05/2024	1.2	0.98	0.78	0.50
5	16/05/2024	1.0	0.90	0.72	0.52
6	17/05/2024	1.0	0.88	0.62	0.54
7	18/05/2024	1.2	0.96	0.83	0.58
8	19/05/2024	1.0	0.90	0.72	0.52
9	20/05/2024	1.0	0.88	0.62	0.54
10	21/05/2024	1.2	0.96	0.83	0.58
11	22/05/2024	1.2	0.96	0.83	0.58
12	23/05/2024	1.0	0.90	0.72	0.52
13	24/05/2024	1.0	0.88	0.62	0.54
14	25/05/2024	1.2	0.96	0.83	0.58
Tercera evaluación					
1	26/05/2024	1.2	1.0	0.86	0.64
2	27/05/2024	1.2	0.96	0.84	0.52
3	28/05/2024	1.0	0.92	0.52	0.64
4	29/05/2024	1.2	0.98	0.78	0.50
5	30/05/2024	1.0	0.90	0.72	0.52
6	31/05/2024	1.0	0.88	0.62	0.54
7	01/06/2024	1.2	0.96	0.83	0.58
8	02/06/2024	1.0	0.90	0.72	0.52
9	03/06/2024	1.0	0.88	0.62	0.54
10	04/06/2024	1.2	0.96	0.83	0.58
11	05/06/2024	1.0	0.92	0.52	0.64
12	06/06/2024	1.2	0.98	0.78	0.50
13	07/06/2024	1.0	0.90	0.72	0.52
14	08/06/2024	1.0	0.88	0.62	0.54
15	09/06/2024	1.2	0.96	0.83	0.58
16	10/06/2024	1.0	0.90	0.72	0.52
17	11/06/2024	1.0	0.88	0.62	0.54
18	12/06/2024	1.2	0.96	0.83	0.58
19	13/06/2024	1.2	0.98	0.78	0.50
20	14/06/2024	1.0	0.90	0.72	0.52
21	15/06/2024	1.0	0.88	0.62	0.54

Nota. En esta tabla muestra los resultados de cloro residual en los puntos críticos.

CAPITULO VII.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta en análisis y discusión de los resultados obtenido en la evaluación de control de caudal y cloro residual; realizado durante los meses de mayo-octubre en sistema de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Sapani.

7.1. POBLACIÓN

La población total de la comunidad nativa de Sapani es de 315 habitantes, de los cuales la población atendida es de 115 habitantes.

7.2. VIVIENDA Y SANEAMIENTO

Existen 23 viviendas con abastecimiento de agua que equivale el 30% de la población total de la comunidad.

La continuidad del servicio del agua es de 24 horas, 7 días a la semana administrado por la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS Sapani) de la comunidad nativa de Sapani.

7.3. COMPORTAMIENTO DE CAUDAL DEL AGUA

Se ha evaluado en el periodo de mes mayo a octubre y se ha realizado con una frecuencia mensual. Observando una variación desde 0,14 a 0,25 l/s de los meses de mayo a octubre.

Los datos de caudal de acuerdo al método y tecnología empleado se presentan en la tabla 36.

Tabla 36

Datos de caudal según el método utilizado

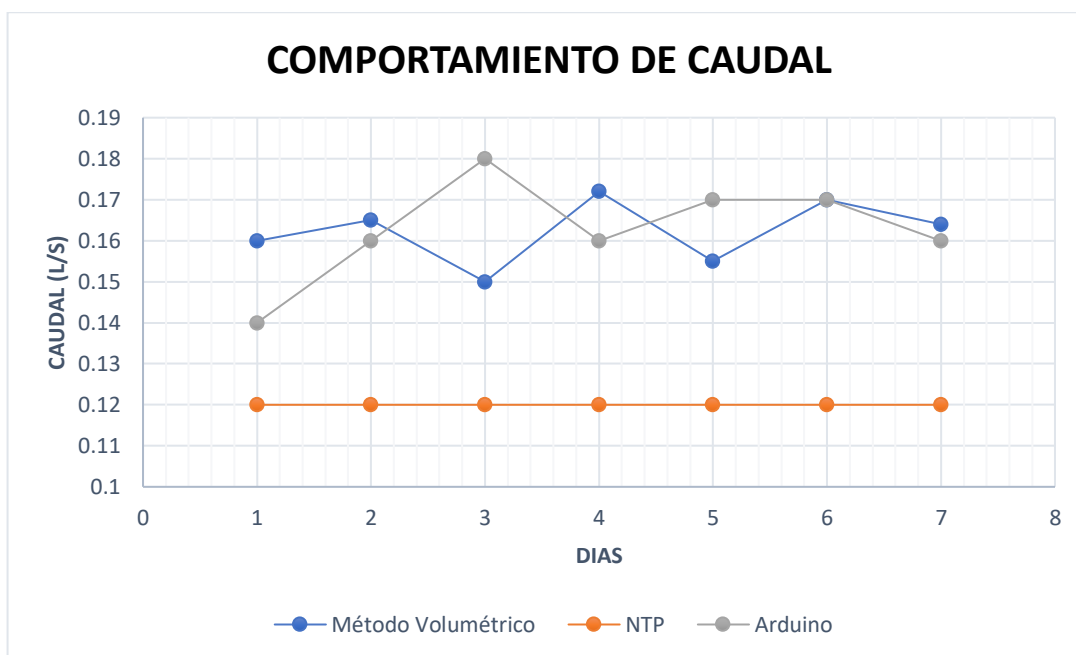
Días	Caudal (L/S)		
	Volumétrico	NTP	Arduino
1	0,16	0,12	0,14
2	0,17	0,12	0,16
3	0,15	0,12	0,18
4	0,17	0,12	0,16
5	0,16	0,12	0,17
6	0,17	0,12	0,17
7	0,16	0,12	0,16

Nota. En esta tabla muestra los datos de caudal de acuerdo a los métodos y tecnología utilizados durante el trabajo de investigación.

El comportamiento de cuál de acuerdo al método de determinación de caudal empleados durante la investigación se puede apreciar en la figura 41.

Figura 41

Comportamiento de caudal del agua por método de cálculo



Nota. En la imagen muestra el comportamiento de caudal por método volumétrico, norma técnica peruana e implementado con Arduino de fecha 04/05/2024.

7.4. RESULTADOS DE EVALUACIÓN MEDIDOR ULTRASÓNICO CON ARDUINO

La selección del método automático para determinar el caudal, es debido al uso de la tecnología que será de mayor facilidad de conocer valores de caudales y peso de cloro para el proceso de cloración, para ello se procedió a la evaluación del dispositivo electrónico.

Primera evaluación

La primera evaluación de determinación de caudal del agua en el reservorio con la implementación de medición ultrasónica, se realizó después de haber realizado las pruebas, se tomó en cuenta 3 datos y se tuvo el promedio para realizar los cálculos respectivos para determinar la cantidad de Hipoclorito de Calcio, así mismo se realizó mediciones de parámetros en campo y finalmente se realizó la medición de cloro residual en los puntos críticos, así como se muestra en la tabla 37.

Tabla 37

Resumen de resultados de los parámetros utilizando Arduino

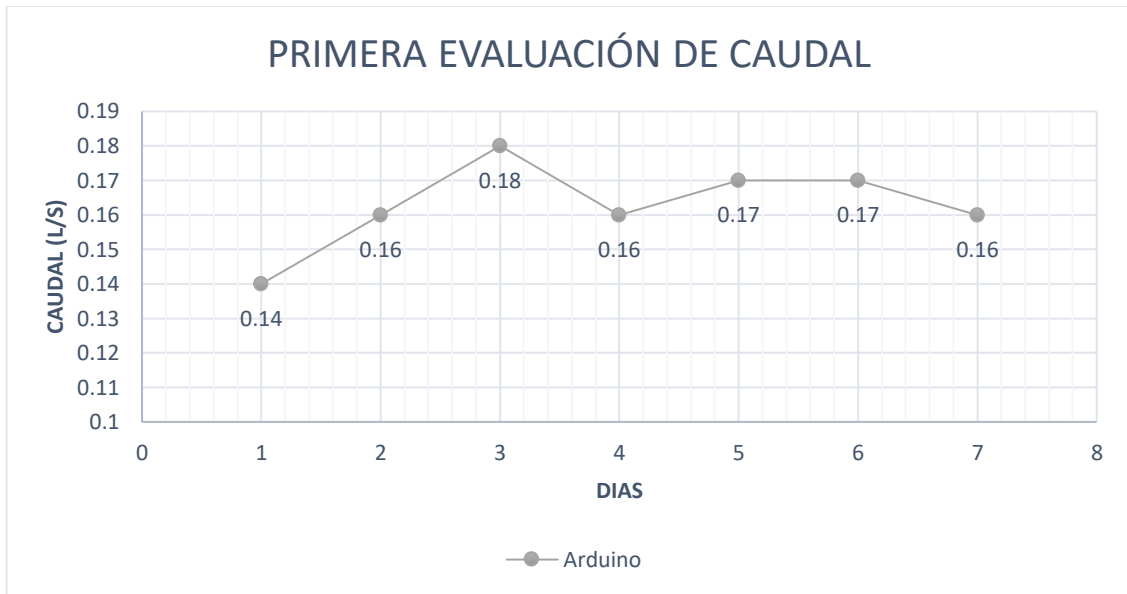
N°	Fecha	Caudal promedio (L/s)	Peso de Ca (ClO) ₂ (kg)	pH	T °C	Turbiedad (NTU)	Cloro residual (mg/L)		
							1ra viv	Viv. Intermedia	Ultima viv.
1	04/05/2024	0,14	0,18	8,24	25,5	0,30	1,0	0,86	0,64

Nota. En esta tabla muestra el resumen de los resultados de los parámetros obtenidos empleando Arduino.

El comportamiento de determinación de caudal de acuerdo al medidor ultrasónico utilizando Arduino durante la primera evaluación se puede apreciar en la figura 42.

Figura 42

Comportamiento de caudal durante los 7 días de evaluación



Nota. En la figura muestra el comportamiento de caudal durante los 7 días de evaluación con la implementación con Arduino con fecha 04/05/2025, el cual indica que se mantiene constante no habido variación.

Segunda evaluación

En la segunda evaluación se dio lectura de caudal de ingreso al reservorio con el medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino se presenta en la tabla 38.

Tabla 38

Resumen de resultados de los parámetros utilizando Arduino

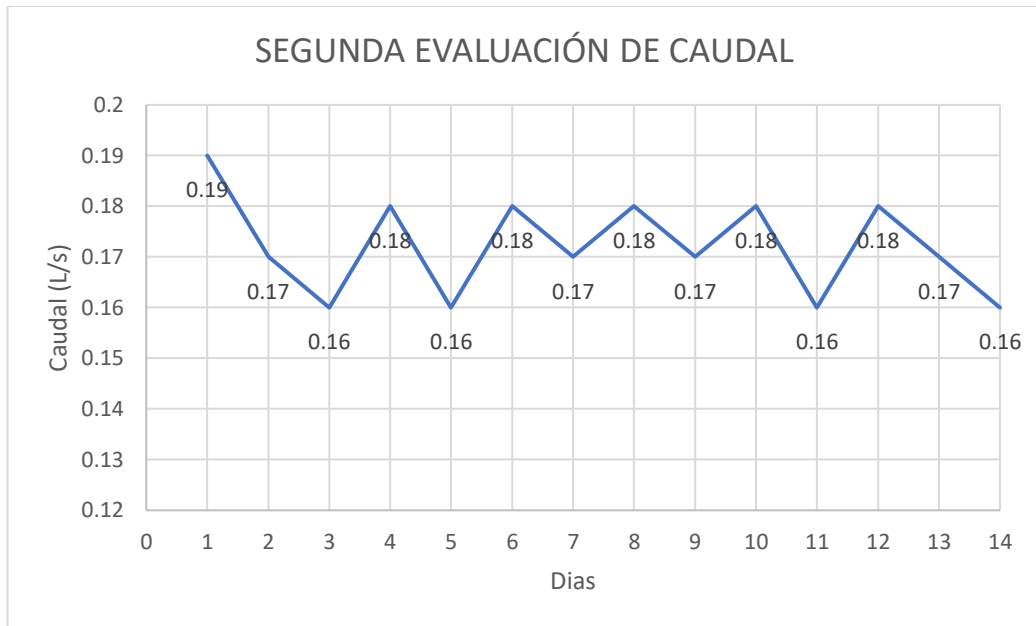
N°	Fecha	Caudal promedio (L/s)	Peso de Ca (ClO) ₂ (kg)	pH	T °C	Turbiedad (NTU)	Cloro residual (mg/L)		
							1ra viv	Viv. Intermedia	Ultima viv.
1	12/05/2024	0,18	0,5	8,0	25,5 °C	0,30	0,98	0,86	0,64

Nota. En esta tabla muestra los resultados de los parámetros obtenidos en campo.

En la segunda evaluación de medición de caudal se tiene el comportamiento de caudal, como se puede ver en la figura 43.

Figura 43

Caudal durante los 14 días de la segunda evaluación



Nota. En la figura muestra el caudal durante los 14 días de la segunda evaluación implementando Arduino con fecha 25/05/2024.

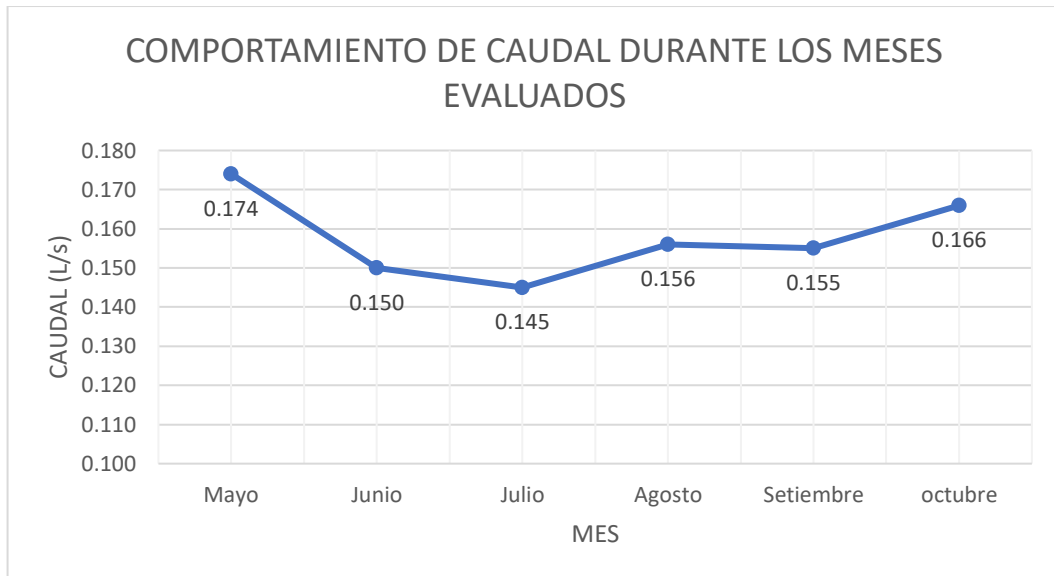
En la figura muestra caudal cercano a los datos consignados durante los 14 días de la segunda evaluación con el dispositivo electrónico con Arduino, esto significa que no pudiendo haber alterar significativamente los valores de cloro residual.

Tercera evaluación

En esta evaluación se procedió a tomar valores de acuerdo a la lectura de caudal durante los meses de mayo a octubre del 2024 en el cual tuvimos datos promedios de cada mes evaluado, así como se presenta en la figura 44.

Figura 44

Comportamiento del caudal durante los meses (mayo-octubre 2024)

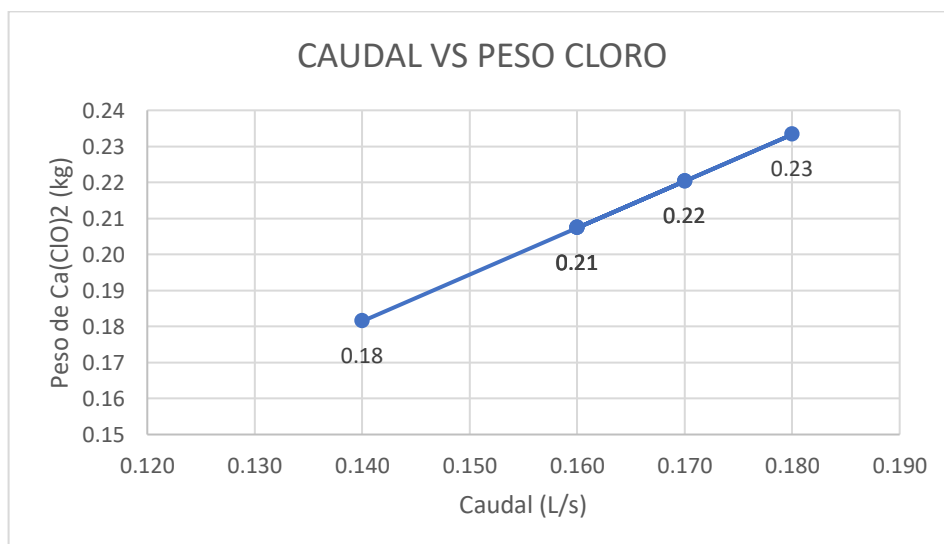


Nota. En la figura muestra el caudal durante el mes de mayo fue superior en comparación de los meses de junio, julio, agosto, setiembre y octubre, esto indica que el caudal de ingreso del agua al reservorio no se presentó variación en las pruebas realizadas con Arduino.

La representación de uso de cantidad de hipoclorito de calcio de acuerdo al caudal determinado como se puede ver en la figura 45.

Figura 45

Cantidad de hipoclorito de calcio que va requerir con respecto al caudal



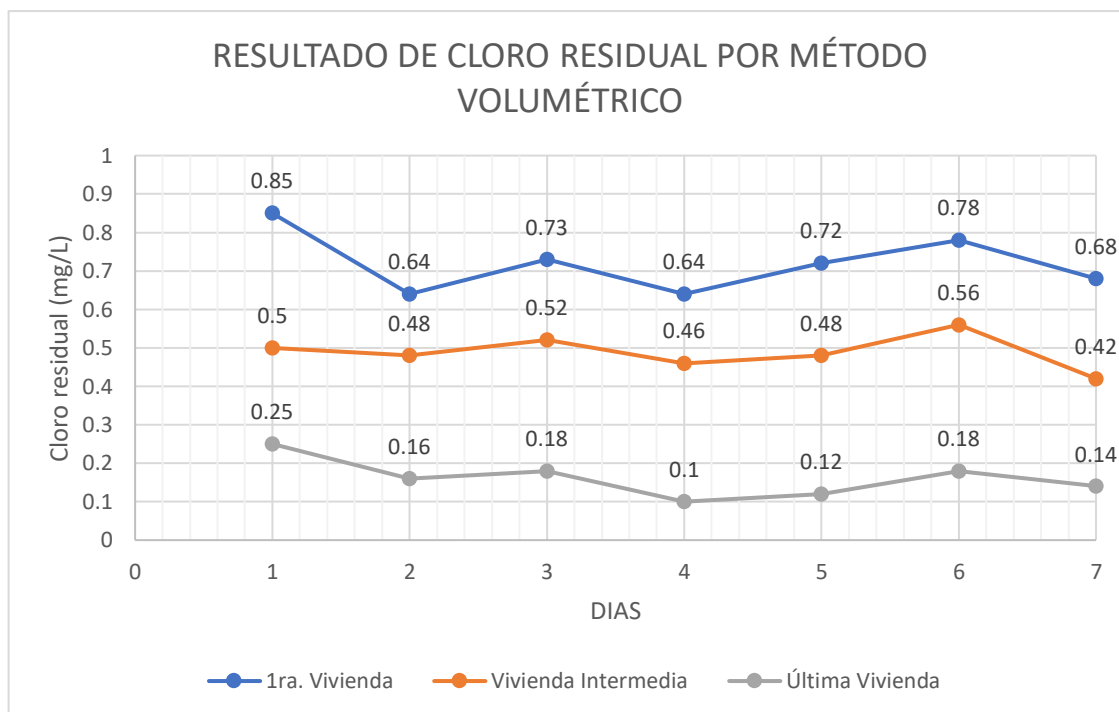
Nota. En la figura muestra la cantidad requerida de hipoclorito de calcio de acuerdo al caudal calculado por el sistema Arduino durante el periodo de investigación.

7.5. COMPORTAMIENTO DE CLORO RESIDUAL EN LOS PUNTOS CRÍTICOS

Al dar la operación de la dosificación de solución de hipoclorito de calcio se tuvo que realizar la medición de cloro residual luego de 30 minutos al tener contacto con el agua en los puntos críticos, así como se presenta en la figura 46.

Figura 46

Lectura de cloro residual para la recarga de 7 días por método volumétrico

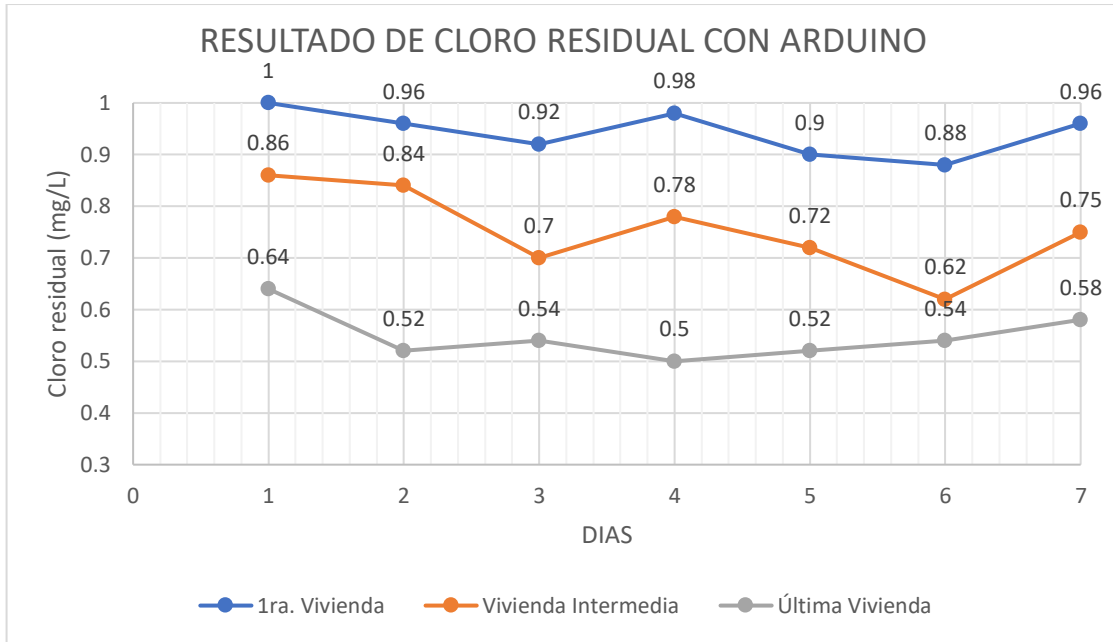


Nota. En la figura muestra los valores de cloro residual en la 1ra vivienda y vivienda intermedia están dentro del rango, mientras en la última vivienda están debajo del rango determinado por el método volumétrico.

Los valores de niveles de cloro residual de acuerdo al caudal determinado utilizando Arduino, se presenta en la figura 47.

Figura 47

Lectura de cloro residual para la recarga de 7 días utilizando Arduino

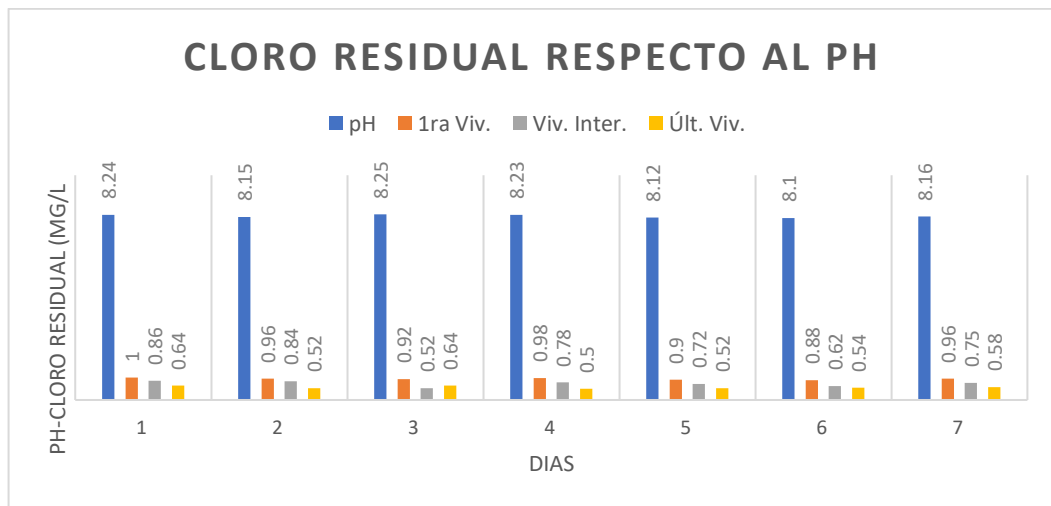


Nota. En la figura muestra los niveles de cloro residual en los puntos críticos en este caso en las viviendas (primera vivienda, vivienda intermedia y ultima vivienda) que están dentro del rango permitido.

La representación de cloro residual y el pH respecto a los días de evaluación se presenta en la figura 48.

Figura 48

Cloro residual respecto al pH de la muestra del agua

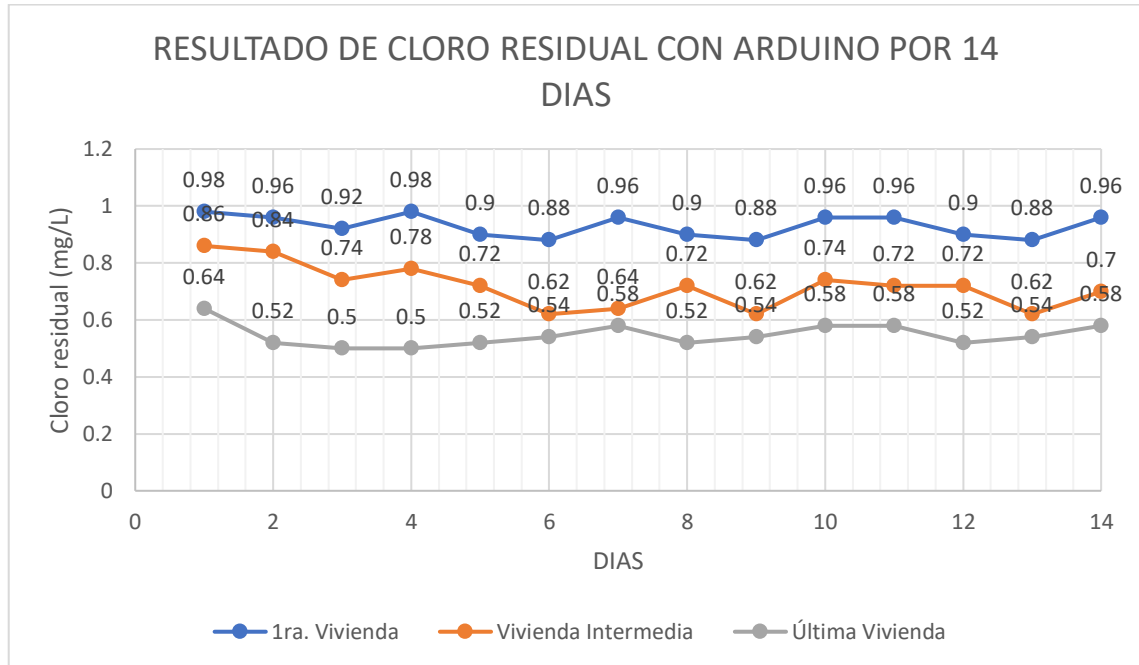


Nota. En la figura muestra la relación de lectura de cloro residual y el pH de la muestra del agua, la relación es cuanto el pH es mayor a 8,5 y menor a 6,5 no se realiza una adecuada cloración.

Representación de cloro residual de la segunda evaluación con el medidor ultrasónico de caudal empleando Arduino, se presenta en la figura 49.

Figura 49

Lectura de cloro residual de recarga de 14 días con Arduino

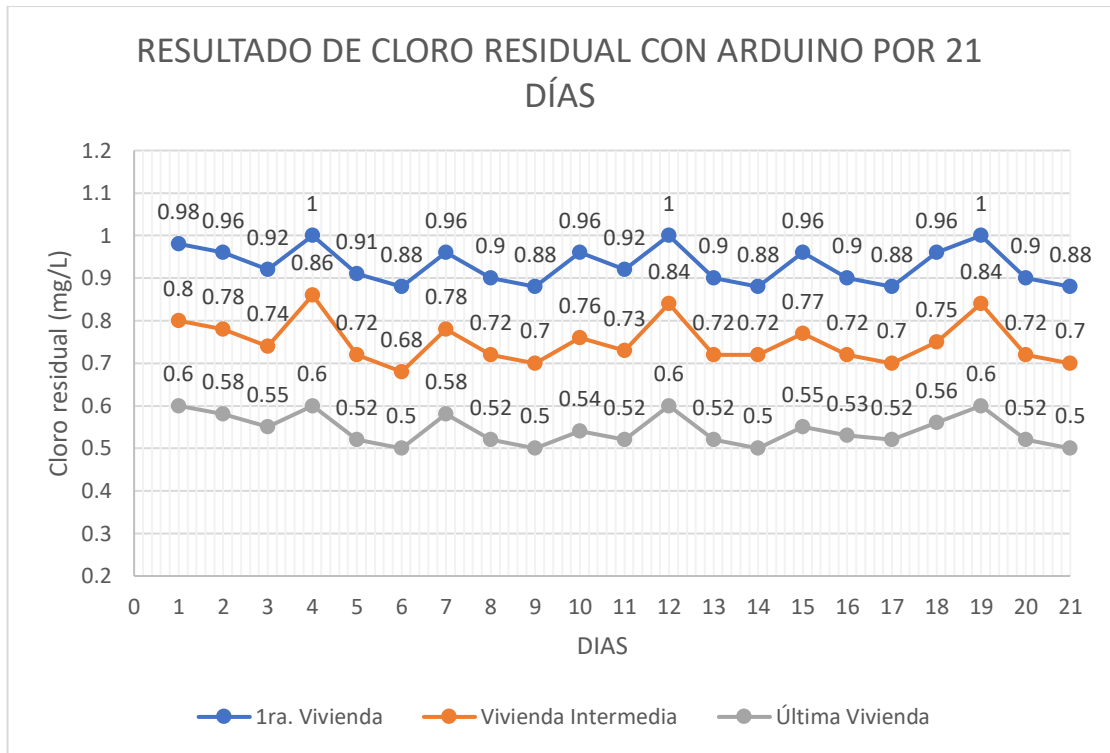


Nota. En la figura muestra la lectura de cloro residual en las viviendas empleando Arduino y que se encuentra dentro del rango permitido de cloro residual (0,5-1 mg/L).

La representación de cloro residual de la tercera evaluación con el medidor ultrasónico de caudal empleando Arduino, así se representa en la figura 50.

Figura 50

Lectura de cloro residual de recarga de 21 días con Arduino



Nota. En la figura muestra resultados de concentración de cloro residual en los puntos críticos con fecha 15/062024, como se aprecia que los valores están dentro del rango ideal.

7.6. ANÁLISIS DE COSTOS DEL ESTUDIO REALIZADO

Para el análisis de costos se agruparon todos los costos que demanda este proyecto de automatización, tanto en la implementación, operación, mantenimiento semanal y vida útil.

En el anexo 9 podemos observar a detalle los costos de estos componentes y seguido a ello se muestra el monto total agrupado, obteniendo un presupuesto total de cuánto costaría invertir este medidor ultrasónico de caudal para el proceso de cloración.

Los costos para la implementación del medidor ultrasónico, son accesibles en el mercado nacional.

7.7. DISCUSION DE RESULTADOS

Se llevaron a cabo diversos procesos de control de nivel utilizando nuestro circuito, con el objetivo de realizar mediciones y verificar la exactitud de los resultados obtenidos. La automatización del control de caudal mediante Arduino representa una alternativa innovadora para gestionar de manera eficiente el proceso de cloración. De acuerdo con San Miguel (2023), en su proyecto de investigación sobre la elaboración y automatización de un prototipo de sistema de cloración y monitoreo de turbidez, pH y cloro residual para la potabilización de agua almacenada en tanques, se concluyó que la cloración es el método más efectivo para la desinfección. Asimismo, destaca el uso del hipoclorito de calcio en solución como agente dosificador adecuado para este fin. Por su parte, Balarezo (2021), en su estudio sobre un sistema de monitoreo de parámetros físicos del agua y control automático de dosificación de cloro en la planta de tratamiento de Aireadores de la EP-EMAPAR, respalda que una dosificación precisa de hipoclorito de calcio en solución permite reducir significativamente la contaminación del agua. Para ello, se controlan variables como el pH, la temperatura, la turbidez y la conductividad mediante sensores especializados. Delgado (2022), en su investigación titulada "Implementación de un sistema de dosificación para el lavado manual en una central de esterilización", verificó que los volúmenes dosificados calculados manualmente coinciden con los valores obtenidos a través del programa implementado, lo cual valida la precisión del sistema automatizado en ese contexto.

Centeno (2017), en su estudio "Implementación de un prototipo con tecnología Arduino y Android para la ecoeficiencia en el uso del agua potable en los predios de Talavera", evidenció que la introducción de tecnología Arduino favoreció significativamente la automatización de procesos relacionados con el control del consumo de agua en duchas e inodoros. El uso de sensores y válvulas solenoides permitió reducir el consumo de agua entre un 20 % y 30 % en los hogares evaluados.

En el presente proyecto se realizaron diversas evaluaciones, cuyos resultados de caudal permitieron calcular con precisión la cantidad necesaria de hipoclorito de calcio granulado para preparar la solución madre. Esto posibilitó una dosificación adecuada del hipoclorito de calcio en solución, logrando niveles de cloro residual dentro del rango permisible de 0,5 a 1 mg/L, conforme a la normativa vigente de calidad del agua, como se puede apreciar en la tabla 39, muestra el resumen del resultado obtenido al evaluar el medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino.

Tabla 39*Resumen de resultados de la evaluación y monitoreo de cloro residual*

N	Fecha	Caudal (L/s)	pH	T °C	Turbiedad (NTU)	Cloro residual (mg/L)		
						1ra viv	Viv. Intermedia	Ultima viv.
Primera evaluación								
1	04/05/2024	0,14	8,24	25,5	0,30	1,00	0,86	0,64
2	06/05/2024	0,14	8,15	24,5	0,28	0,96	0,84	0,52
3	07/05/2024	0,15	8,25	25,5	0,30	0,92	0,52	0,64
4	08/05/2024	0,14	8,23	26,5	0,32	0,98	0,78	0,50
5	09/05/2024	0,14	8,12	25,5	0,31	0,90	0,72	0,52
6	10/05/2024	0,14	8,10	25,0	0,75	0,88	0,62	0,54
7	11/05/2024	0,15	8,16	25,5	0,32	0,96	0,75	0,58
Segunda evaluación								
1	12/05/2024	0,18	8,22	25,5	0,30	0,98	0,86	0,64
2	13/05/2024	0,17	8,03	24,5	0,28	0,96	0,84	0,52
3	14/05/2024	0,18	7,95	25,0	0,30	0,92	0,52	0,64
4	15/05/2024	0,18	7,85	26,5	0,32	0,98	0,78	0,50
5	16/05/2024	0,17	7,95	24,5	0,31	0,90	0,72	0,52
6	17/05/2024	0,18	8,04	25,5	0,75	0,88	0,62	0,54
7	18/05/2024	0,17	8,12	25,5	0,32	0,96	0,83	0,58
8	19/05/2024	0,18	8,06	25,5	0,31	0,90	0,72	0,52
9	20/05/2024	0,16	7,84	26,5	0,75	0,88	0,62	0,54
10	21/05/2024	0,18	8,06	25,5	0,32	0,96	0,83	0,58
11	22/05/2024	0,18	8,43	25,5	0,31	0,96	0,83	0,58
12	23/05/2024	0,18	8,12	24,5	0,75	0,90	0,72	0,52
13	24/05/2024	0,17	8,35	25,5	0,32	0,88	0,62	0,54
14	25/05/2024	0,17	8,14	24,0	0,31	0,96	0,83	0,58
Tercera evaluación								
1	26/05/2024	0,19	8,24	25,5	0,30	1,00	0,86	0,64
2	27/05/2024	0,19	8,15	24,2	0,28	0,96	0,84	0,52
3	28/05/2024	0,20	8,25	25,5	0,30	0,92	0,52	0,64
4	29/05/2024	0,18	8,23	25,5	0,32	0,98	0,78	0,50
5	30/05/2024	0,20	8,12	26,5	0,31	0,90	0,72	0,52
6	31/05/2024	0,19	8,10	25,5	0,75	0,88	0,62	0,54
7	01/06/2024	0,18	8,16	25,5	0,32	0,96	0,83	0,58
8	02/06/2024	0,19	7,98	22,5	0,31	0,90	0,72	0,52
9	03/06/2024	0,19	7,96	25,5	0,75	0,88	0,62	0,54
10	04/06/2024	0,19	7,90	25,5	0,32	0,96	0,83	0,58
11	05/06/2024	0,20	8,20	24,5	0,75	0,92	0,52	0,64
12	06/06/2024	0,19	8,19	24,5	0,32	0,98	0,78	0,50
13	07/06/2024	0,18	8,18	25,5	0,31	0,90	0,72	0,52
14	08/06/2024	0,19	8,15	25,5	0,75	0,88	0,62	0,54
15	09/06/2024	0,17	8,12	23,5	0,32	0,96	0,83	0,58
16	10/06/2024	0,17	8,14	25,5	0,32	0,90	0,72	0,52
17	11/06/2024	0,18	8,18	24,8	0,75	0,88	0,62	0,54
18	12/06/2024	0,19	8,28	25,5	0,32	0,96	0,83	0,58
19	13/06/2024	0,18	8,32	25,5	0,31	0,98	0,78	0,50
20	14/06/2024	0,18	8,28	25,5	0,75	0,90	0,72	0,52
21	15/06/2024	0,19	8,22	24,5	0,65	0,88	0,62	0,54

Nota. En esta tabla muestra los resultados obtenidos de la evaluación de medidor ultrasónico de caudal, se puede observar que en todos los casos los valores de cloro residual están dentro del rango quiere decir que se está cumpliendo con lo que establece en la normativa del DS N° 031-MINSA.

CONCLUSIONES

Se automatizó el control del caudal del ingreso del agua al reservorio que a través del sensor ultrasónico que mide el nivel del agua que ingresa al reservorio para realizar el proceso de cloración del sistema de abastecimiento de agua potable de la comunidad nativa de Sapani, que se obtuvieron los datos de caudal en la primera evaluación de 0,14 L/s de promedio, en la segunda evaluación de 0,18 L/s y la tercera evaluación de 0,19 L/s en promedio

Se obtuvo los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua a través de un informe de resultados por un laboratorio acreditado por la INACAL servicio que brindo a la municipalidad provincial de Atalaya que los resultados obtenidos se pueden apreciar en la página 61 del presente trabajo y los resultados del análisis fueron comparados con el reglamento de calidad de agua que se puede apreciar en el anexo 1, en el cual cumplen con las condiciones de los parámetros establecidos por la normativa.

Se optimizó las condiciones de operación y puesta en marcha del proceso de cloración, a través de la automatización del control de caudal empleando Arduino que nos permite mejorar las condiciones operativas de control de calidad del agua.

Se logro que los rangos permisibles de la concentración de cloro residual como promedio en los puntos críticos de los resultados obtenidos se encuentran de la siguiente forma: reservorio (1,2 mg/L), primera vivienda (0,9 mg/L), vivienda intermedia (0,7 mg/L) y última vivienda (0,6 mg/L).

RECOMENDACIONES

Los análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se deben realizar por metodologías analíticas acreditadas por laboratorios acreditados. Así mismo la municipalidad debe implementar metodologías mucho más modernos y precisos para mejorar los resultados y sean más confiables y certeros.

Para el control de caudal se sugiere implementar un caudalímetro en la línea al ingreso del agua al reservorio para que se puede contrastar el resultado con el sensor ultrasónico.

Se sugiere un número mayor de control de estación de muestreo de 2 a 3 viviendas más cercanas a los puntos críticos de toma de muestra para mejorar el control de monitoreo de cloro residual. Así mismo se recomienda implementar un sensor de concentración de cloro residual en el reservorio.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS E INFORMES, REVISTAS, ARTÍCULOS Y PÁGINAS

- Alvares Cardona, Y. A., & Girón Lerma, D. E. (2020). *Diseño de un sensor de nivel ultrasónico con aplicación en tanques reservorios de agua de los sistemas pscícolas*. Pereira.
- Arduino. (2023). *Arduino Nano*. Obtenido de <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>
- Arduino. (2024). Obtenido de <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>
- Balarezo Constante, J. C. (2021). *Sistema de monitoreo de parámetros de calidad físicos del agua y control automatico para la dosificación de cloro en la planta de tratamiento de aereadores de la EP-EMAPAR*. Ambato, Ecuador.
- Balarezo Constante, J. C. (2021). *Sistema de monitoreo de parámetros de calidad físicos del Agua y control automático para la dosificación de cloro en la Planta de Tratamiento de Aireadores de la EP-EMAPAR*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Cando Guamán, O. F. (2017). *Prototipo de un sistema purificador del agua basado en energía renovable mediante Arduino*. Guayaquil, Ecuador.
- Cari Bautista, U. W. (2022). *Vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano del distrito de Ichuña, región Moquegua - 2019*. Moquegua.
- Centeno Cáceres, D. (2017). *Implementación de un prototipo con tecnología Arduino y Android, para la ecoeficiencia en el uso del agua potable en los predios de Talavera*. Andahuaylas.
- Cortez, D. (2019). *Cloración y desinfección de Sistemas de Agua Potable – Tipo Gravedad Sin Tratamiento en el Ámbito Rural*. Abancay.
- Delgado Gutarra, C. J. (2022). *Implementación de un sistema de dosificación para el lavado manual en una central de esterilización*. Lima.
- Demera Zambrano, A. E., Sánchez Cedeño, A. N., Franco López, M. C., Espinoza Cedeño, M. J., & Santana Sardi, G. A. (2023). *Fundamentación teórica de la inteligencia artificial en el desarrollo de aplicaciones móviles en el Instituto de Admisión y Nivelación de la Universidad Técnica de Manabí*. Manabí.
- ENAPRES. (2023). *Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/4985657-peru-formas-de-acceso-al-agua-y-saneamiento-basico-nro-10>
- Encuesta Nacional de Programa Estratégico. (2023). *Indicadores de Resultados de los Programas Presupuestales*. Lima, Perú.
- GIZ. (2017). *Manual para la Cloración del Agua en Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable en el Ámbito Rural*. Lima: Programa PROAGUA. Obtenido de <https://sswm.info/es/node/11668>
- López Hernández, M. A. (2016). *Grado de Riesgo a Deslizamiento de Laderas en la Subcuenca Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez.

- Martel, A. B., & Vargas, L. d. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo II*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Organización Mundial de la Salud. Lima, Perú.
- Ministerio de Salud. (2019). *Ministerio de Economía y Finanzas*. Obtenido de https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_public/migl/metastaller_PI_meta35_2.pdf
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2018). *Resolución Ministerial N° 192-2018-VIVIENDA-Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el ámbito Rural*. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2022). *Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026*. Lima, Perú.
- MINSA. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Lima, Perú.
- Misterio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2010). *Resolución Ministerial N° 205-2010-VIVIENDA-Definiciones Básicas*. Lima, Perú.
- Pacheco Castelo, D. M., & Zuñiga Hidalgo, S. R. (2018). *Análisis de la eficiencia de las tecnologías de cloración de agua por goteo convencional, goteo adaptado, clorinador y goteo autocompensante aplicadas en la comunidad campesina de Pillao Matao en el distrito de San Jerónimo para el año 2017 y proyectadas*. Cusco, Perú.
- Quispe, J. J. (2023). *Guía de Electrónica y Arduino para jóvenes y adultos para principiantes o aficionados*. Lima, Perú.
- Resolución Ministerial N° 078-2019-VIVIENDA. (06 de Marzo de 2019). *Estrategia para incrementar el porcentaje de hogares rurales con acceso a agua clorada en zonas rurales del Perú*. Lima, Perú.
- Resolución Ministerial N°173-2016-VIVIENDA . (2016). *Guía de Opciones Tecnológicas para Sistemas de Abastecimiento de Agua para consumo Humano y Saneamiento en el ámbito Rural*. Lima, Perú.
- San Miguel, J. (2023). *Elaboración y automatización del prototipo de un sistema de cloración y monitoreo de turbidez, pH y cloro residual para potabilizar el agua de un tanque almacenador*. La Paz. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/31568>

ANEXOS

Anexo 01. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y la categorización de las fuentes disponibles. (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

10	NORMAS LEGALES	Miércoles 7 de junio de 2017 / El Peruano
Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias	publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;	
DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM	De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;	
EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA	DECRETA:	
CONSIDERANDO:	Artículo 1.- Objeto de la norma	
Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;	La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.	
Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28811, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;	Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua	
Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;	Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.	
Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;	Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua	
Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;	Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:	
Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;	3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional	
Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;	a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	
Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;	Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:	
Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;	- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	
Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;	Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.	
Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la republicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,	- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	
	Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.	
	- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	
	Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.	
	b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación	
	Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:	

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoníaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Agua que pueden ser potabilizadas con desinfección	Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Piomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₇ - C ₁₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (e)	(e)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodiclorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2-Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrín + Dieldrín	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difeníl Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrín	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copepodos, rotíferos, nematodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

ANEXO 02. Decreto Supremo N° 031-2010-SA

Aprueban los Límites Máximos Permisibles de Parámetros Microbiológicos y Parasitológicos

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 /100 ml

Fuente: Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano, establecido en el DS N° 031-2010-SA.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁼ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoniaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero
UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Fuente: Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano, establecido en el DS N° 031-2010-SA.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS

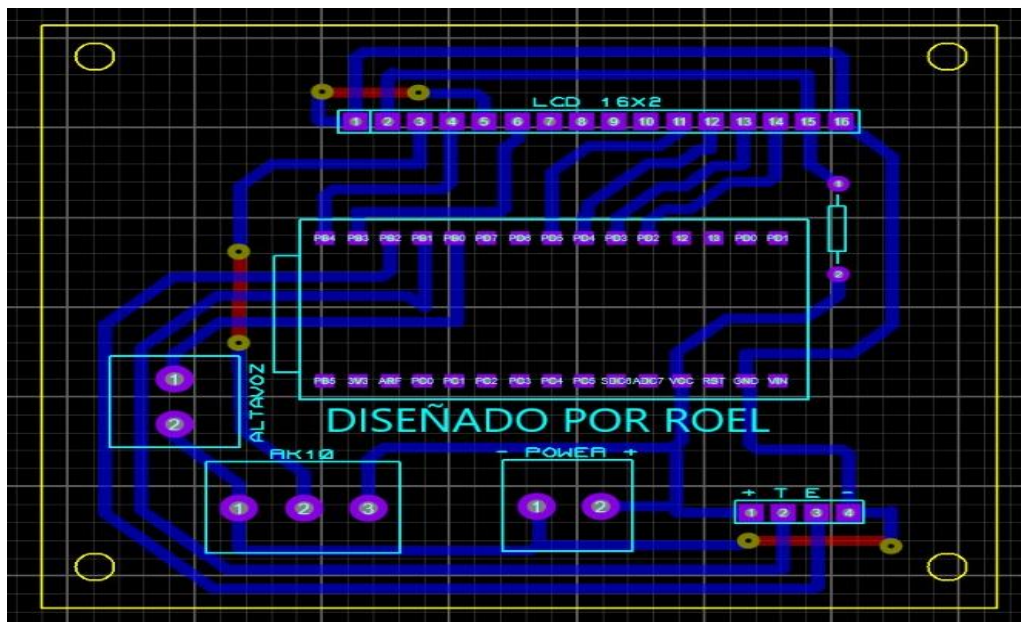
Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Niquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015

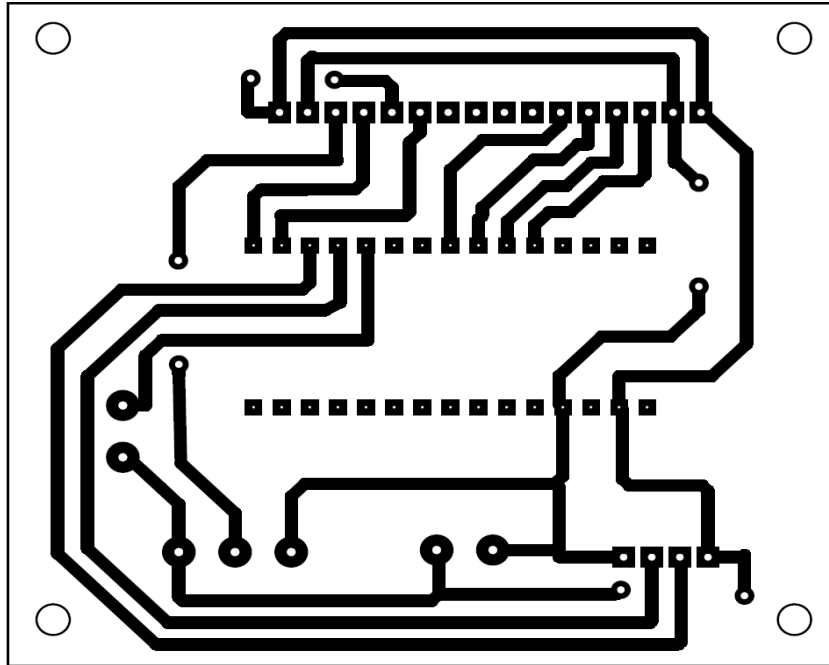
Fuente: Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano, establecido en el DS N° 031-2010-SA.

Anexo 03. Sistema de cloración por goteo Autocompensante del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de la comunidad de Sapani



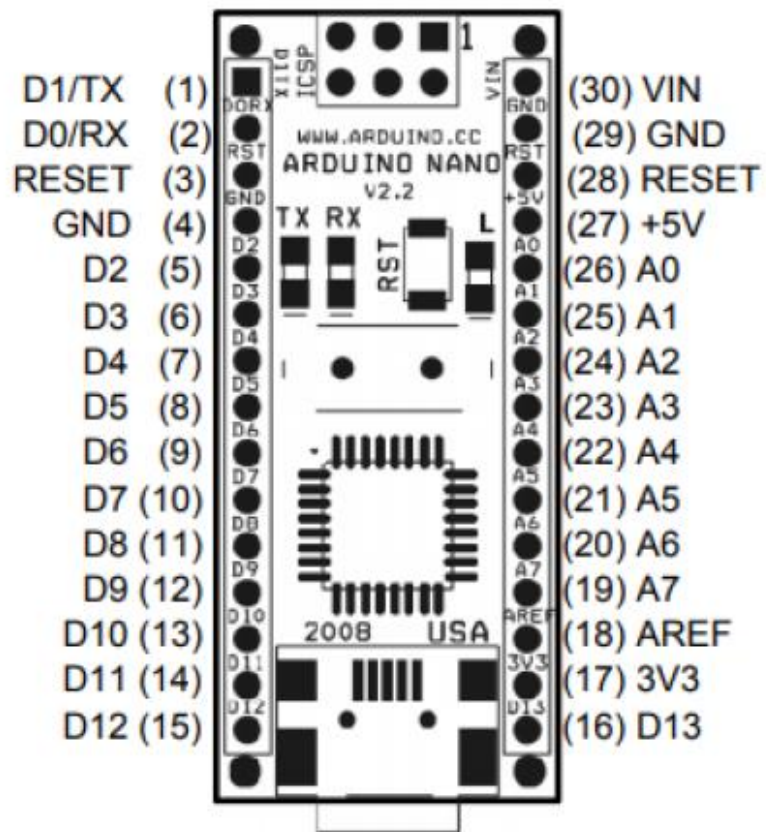
Anexo 04. Diseño del medidor ultrasónico de caudal- Arduino





Anexo 05. Hoja técnica Arduino Nano

Hoja de datos técnicos de microcontrolador Arduino Nano



Anexo 06. Código de programación de control ultrasónico de caudal para proceso de cloración

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2);
const int echo=10;
const int trigger=9;
const int relay=6;
long tiempo;
float distancia,Caudal,Altura,Q,P,V,H ,AlturaAgua, HH20m, Vm3,VL,Peso,
Volumen;

void setup() {
  // pon tu código de configuración aquí, para ejecutarlo una vez:
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16,2); // Inicializa la interfaz de la pantalla LCD y
  especifica las dimensiones (ancho y alto) de la pantalla
  pinMode(echo,INPUT);
  pinMode(trigger,OUTPUT);
  pinMode(relay, OUTPUT);
}

void loop() {
  // pon tu código principal aquí, para ejecutarlo repetidamente:
  digitalWrite(trigger,LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigger,HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigger,LOW);
  tiempo=pulseIn(echo,HIGH);//us=microsegundos
  distancia = float(tiempo*0.0343)/2;
  Altura = (190 - distancia);
  Caudal = ((Altura/100)*2.62*1.95*1000)/40000;
  Peso = (((Caudal*86400*1.4)/(70*10))/1000)*30;
  Volumen = 2.62*1.95*(Altura/100);
  delay(1000);

  if ((Altura>=40 && Altura<170))
  {
    digitalWrite(relay, HIGH);
  }
  else
  {
    digitalWrite(relay, LOW);
  }
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Q:");
  lcd.setCursor(2,0);//columna, fila
```

```
lcd.print(Caudal);
lcd.setCursor(6,0);
lcd.print("L/s");
delay(1000);

lcd.setCursor(9,0);
lcd.print("P:");
lcd.setCursor(11,0);//columna, fila
lcd.print(Peso);
lcd.setCursor(14,0);
lcd.print("Kg");
delay(1000);

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("V:");
lcd.setCursor(2,1);//columna, fila
lcd.print(Volumen);
lcd.setCursor(6,1);
lcd.print("m3");
delay(1000);

lcd.setCursor(8,1);
lcd.print("H:");
lcd.setCursor(10,1);//columna, fila
lcd.print(Altura);
lcd.setCursor(14,1);
lcd.print("cm");
delay(1000);
}
```

Anexo 07. Galería de fotos

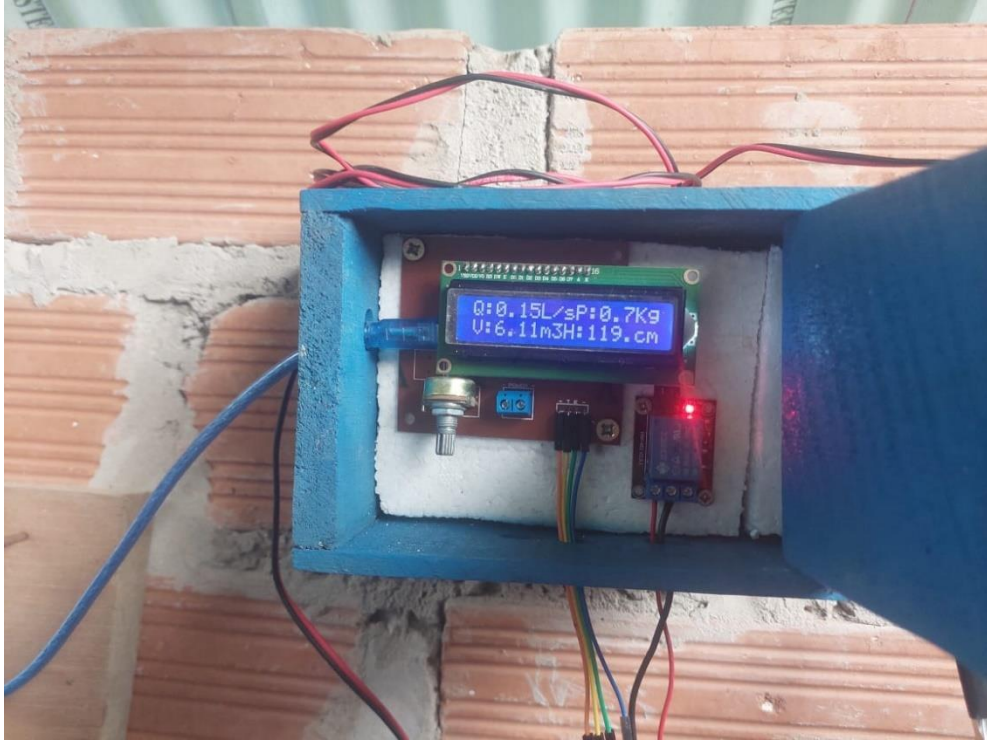


Figura 7.1 Visualización de datos en display de circuito electrónico (reservorio) de SAP



Figura 7.2 Instalación de Panel Solar



Figura 7.3 Instalación de sensor ultrasónico en reservorio.



Figura 7.4 Instalación de sistema de cloración automático utilizando Arduino.



Figura 7.5 Instalación de gotero para la dosis de hipoclorito en solución.



Figura 7.6 Operación de control de caudal automático utilizando Arduino.



Figura 7.7 Monitoreo de cloro residual en el reservorio.



Figura 7.8 monitoreo de cloro residual 1ra vivienda



Figura 7.9 Monitoreo de cloro residual vivienda intermedia



Figura 7.10 Monitoreo de cloro residual en ultima vivienda

**Anexo 08. Costeo de materiales de construcción, instalación y operación del
medidor ultrasónico de caudal utilizando Arduino.**

Tabla 40

Costo de materiales para la construcción de medidor de caudal

Ítem	Descripción	Especificaciones	Cant.	UM	S/. PU	S/. PT
Componentes electrónicos						
1	Arduino Nano		1	UND	30.00	30.00
2	LCD16x02 Módulo Pantalla Azul	LCD 02X16	1	UND	11.00	11.00
3	Sensor Ultrasónico	HC-SR04 HCSR04	1	UND	7.00	7.00
4	Modulo relay de 1 canal		1	UND	4.00	4.00
5	Válvula solenoide	12V DC	1	UND	19.00	19.00
6	Batería	12 V	1	UND	65.00	65.00
7	Panel solar	10 W 15 V 0,66 A	1	UND	90.00	90.00
8	Controlador solar	10A 12V	1	UND	75.00	75.00
9	Resistencia	10 kΩ	1	UND	0.10	0.10
10	Potenciómetro	R10 k	1	UND	0.80	0.80
11	Bornera	2 conectores Color Azul	1	UND	0.40	0.40
12	Cables Unipolar	Color Blanco, Negro, Rojo y Azul	8m	UND	0.80	6.40
13	Regleta/Header	Macho Hembra de 1 *40	1	UND	1.00	1.00
14	Cable con Jumper	Macho a Macho de 10 cms	2	UND	4.50	4.50
15	Pinza cocodrilo Para Batería	Negro/rojo	2	PAR	3.00	6.00
SUB TOTAL S/.						320.20
Materiales para soporte de la placa						
1	Madera	80 x 8 x 1.5 cm				5.00
TOTAL						S/. 325.20

Nota. En esta tabla muestra el costo de los materiales para la construcción de medidor ultrasónico de caudal.

Tabla 41

Costos de mano de obra y operación de medidor de caudal

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	Precio unitario	Precio total
Mano de obra					
01	Técnico especializado	Dia	1	200.00	200.00
TOTAL					S/. 200.00

Nota. Costos de operación y mano de obra de medidor ultrasónico de caudal.

Tabla 42

Costo total de la construcción del medidor de caudal Arduino

Ítem	Descripción	Costo
01	Costo de materiales de construcción	325.20

02	Costo de mano de obra, operación y prestación de servicio	200.00
TOTAL, S/.		525.20

Nota. En esta tabla muestra el costo total de la construcción del medidor ultrasónico de caudal.

Costo del medidor ultrasónico de caudal-Arduino

Tabla 43

Costo del medidor ultrasónico de caudal-Arduino

Estimación del costo del control automático de caudal	
Costo del equipo completo incluido mano de obra	S/. 525.20

Nota. Costo del kit de medidor ultrasónico de caudal.

El costo del control automático de caudal incluido el material de construcción y mano de obra fue presupuestado a S/. 525.20

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA**

ACTA DE SUSTENCIÓN DE LA TESIS:

Automatización de control de caudal del proceso de cloración para producir agua potable utilizando Arduino, en la comunidad de Sapani del distrito de Raymondi, Ucayali, 2024

**Expositor: Roel Pepe Perez Huallpa
Bachiller en Ingeniería Química**

Expediente N° 85557 Resolución Decanal N° 040-2025-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 06-05-2025

En la Sala de Conferencia “Pedro Villena Hidalgo” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las once de la mañana con cinco minutos del día jueves ocho de mayo del año dos mil veinticinco, se reunieron el Bachiller en Ingeniería Química **Roel Pepe Perez Huallpa**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Alfredo ARIAS JARA, Mg. Abel Nilo JUSCAMAYTA TOMASEVICH y Mg. Abrahán Fernando TREJO ESPINOZA, bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la Facultad), Mg. Anibal Pablo GARCIA BENDEZU (Docente Asesor de la Tesis), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente).

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Automatización de control de caudal del proceso de cloración para producir agua potable utilizando Arduino, en la comunidad de Sapani del distrito de Raymondi, Ucayali, 2024**, presentado por el Bachiller **Roel Pepe Perez Huallpa**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 040-2025-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó al Bachiller **Roel Pepe Perez Huallpa**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de treinta y cinco minutos.

Finalizado la exposición del Bachiller, el presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Abrahán Fernando TREJO ESPINOZA, Mg. Abel Nilo JUSCAMAYTA TOMASEVICH y Dr. Alfredo ARIAS JARA. Luego el Presidente invitó al Mg. Aníbal Pablo GARCIA BENDEZU para que, en su condición de Docente Asesor, se sirva levantar las observaciones del Jurado y efectuar las aclaraciones que considere conveniente.

A continuación, el presidente del jurado invito al sustentante y al público para que se sirva abandonar la sala de conferencia con la finalidad de permitir al jurado de sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADO POR UNANIMIDAD PROMEDIO QUINCE (15)**.



UNSCH

FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA**

ACTA DE SUSTENCIÓN DE LA TESIS:

Automatización de control de caudal del proceso de cloración para producir agua potable utilizando Arduino, en la comunidad de Sapani del distrito de Raymondí, Ucayali, 2024

Expositor: Roel Pepe Perez Huallpa
Bachiller en Ingeniería Química

Expediente N° 85557 Resolución Decanal N° 040-2025-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 06-05-2025

Finalmente, el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la sala de conferencias y anunció que, el Bachiller **Roel Pepe Perez Huallpa**, ha resultado **APROBADO POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con un flamante **INGENIERO QUIMICO** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las doce del medio día con cincuenta y cinco minutos se dio por finalizado este acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente

Dr. Alfredo ARIAS JARA
Miembro

Mg. Abel Nito JUSCAMAYTA TOMASEVICH
Miembro

Mg. Abraham Fernando TREJO ESPINOZA
Miembro

Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
(Secretario Docente)



UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y
METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA QUÍMICA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 004-2025-UNSCH-FIQM/EPIQ

El que suscribe, Director de la **Escuela Profesional de Ingeniería Química** de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Que, habiendo recibido el requerimiento de Constancia de Originalidad por parte del Bachiller **Roel Pepe PEREZ HUALLPA**, se procedió a la evaluación y regularización de originalidad del archivo adjunto con el **TURNITIN - UNSCH**, de acuerdo a los criterios establecidos en el **Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH**, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU; cuyos resultados son:

Automatización de control de caudal del proceso de cloración para producir agua potable utilizando Arduino, en la comunidad de Sapani del distrito de Raymondi, Ucayali, 2024

Autor Bach. : Roel Pepe PEREZ HUALLPA
Identificado : 2687820906
Fecha : 29 de mayo de 2025
Archivo : Tesis

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del **22 (VEINTIDOS) % de ÍNDICE DE SIMILITUD** realizado con **Depósito de trabajos estándar**, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que, los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

Ayacucho, 30 de mayo de 2025

 UNIVERSIDAD NACIONAL
DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Escuela de Formación Profesional
de Ingeniería Química


Dr. Guido Panamiro Hernández
DIRECTOR

Adjunto Reporte de Índice de Similitud
cc. archivo

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
QUÍMICA Av. Independencia S/N Ayacucho
Telf. 066-312510 Anexo. 152.**

Automatización de control de caudal del proceso de cloración para producir agua potable utilizando Arduino, en la comunidad de Sapani del distrito de Raymondi, Ucayali, 2024

por Roel Pepe PEREZ HUALLPA

Fecha de entrega: 29-may-2025 03:09p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2687820906

Nombre del archivo: TESIS_PEREZ_Roel.pdf (5.93M)

Total de palabras: 25521

Total de caracteres: 131884

Automatización de control de caudal del proceso de cloración para producir agua potable utilizando Arduino, en la comunidad de Sapani del distrito de Raymondí, Ucayali, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	3%
3	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1%
9	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	www.koshland-science-museum.org Fuente de Internet	<1%

12	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.uct.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.ute.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
17	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
19	www3.vivienda.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
20	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.une.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
23	aprenderly.com Fuente de Internet	<1 %
24	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
25	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
26	investigacionyposgrado.ues.mx Fuente de Internet	<1 %

27	Submitted to Universidad Peruana Del Centro	<1 %
	Trabajo del estudiante	
28	sswm.info	<1 %
	Fuente de Internet	
29	Submitted to Universidad TecMilenio	<1 %
	Trabajo del estudiante	
30	Submitted to Universidad Catolica de Trujillo	<1 %
	Trabajo del estudiante	
31	repositorio.uladech.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
32	repositorio.unsaac.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
33	oldri.ues.edu.sv	<1 %
	Fuente de Internet	
34	www.vivienda.gob.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
35	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego	<1 %
	Trabajo del estudiante	
36	repositorio.unapiquitos.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
37	repositorio.unc.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
38	Submitted to Universidad Catolica Los Angeles de Chimbote	<1 %
	Trabajo del estudiante	
39	Submitted to Universidad de Deusto	<1 %
	Trabajo del estudiante	
40	dspace.unitru.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	

41	red.uao.edu.co Fuente de Internet	<1 %
42	riul.unanleon.edu.ni:8080 Fuente de Internet	<1 %
43	cdn.gt.gt Fuente de Internet	<1 %
44	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
45	Jhonny Marcelo Orozco-Ramos, Juan Carlos Cayán-Martínez, Eduardo Francisco García-Cabezas, Gabriel Pilataxi-Contreras. "Implementación de un sistema de recolección y cloración para la potabilización automatizada", Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía, 2020 Publicación	<1 %
46	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
47	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
48	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
49	www.mef.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
50	Chaiña Flores, Joffre Omar. "Factores socioeconómicos, ambientales y situación del abastecimiento de agua para consumo humano en el Centro Poblado de Accaso del distrito de Pilcuyo Puno", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %

51	Submitted to Universidad Politécnica Estatal de Carchi Trabajo del estudiante	<1 %
52	tesis.ipn.mx Fuente de Internet	<1 %
53	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú Trabajo del estudiante	<1 %
54	Submitted to Universidad de Piura Trabajo del estudiante	<1 %
55	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo