



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN AGUA DE CONSUMO HUMANO DEL CENTRO POBLADO LA PALMA, DISTRITO SAN BERNARDINO, 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autores:

Merli Edith Díaz Díaz

Ana Veronica Rios Vasquez

Asesor:

M. Cs. Cristian Emerson Arana Mori

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios, por la sabiduría, por haberme guiado en todo momento de mi vida y haberme permitido llegar hasta estas alturas de formación profesional. A mis padres, por ser el pilar más importante de mi formación, por apoyarme emocional y económicamente a lo largo de mi aprendizaje profesional. A mi asesor, ya que con su asesoramiento y adecuadas sugerencias para con el trabajo de investigación, me ha permitido familiarizarme más con el campo de trabajo de mi carrera de Ingeniería Ambiental.

Díaz Díaz, Merli Edith

Dedico este trabajo de investigación a Dios por haberme iluminado y bendecido en la culminación de mi carrera profesional y la finalización de esta tesis, a mis padres que son el motivo más importante en mi vida y en mis estudios, por los consejos y motivación en cada paso de mi vida universitaria, a mis docentes y asesor por haberme brindado sus conocimientos y experiencia para el buen desarrollo de esta tesis.

Ana Veronica Rios Vasquez

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por darnos fuerza y paciencia para superar las dificultades que se nos presentaron a lo largo de nuestra vida.

A nuestros padres, por siempre brindarnos amor, paciencia y apoyo incondicional en todo momento de nuestras vidas.

A nuestros docentes, que a lo largo de nuestra carrera universitaria nos han brindado su valioso apoyo en el desarrollo de nuestro proyecto de investigación.

Agradecemos a todas las personas que de manera ya sea directa o indirectamente formaron parte del óptimo desarrollo de nuestro trabajo de investigación.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.1.1. Antecedentes	10
1.1.2. Bases Teóricas.....	15
1.1.2.1. Generalidades del agua.....	15
1.1.2.2. Usos del agua.....	16
<input type="checkbox"/> Consumo doméstico:	16
<input type="checkbox"/> Consumo público:.....	16
<input type="checkbox"/> Agricultura y ganadería:	16
<input type="checkbox"/> Industria:.....	16
<input type="checkbox"/> Fuente de energía:	17
<input type="checkbox"/> Deporte:	17
1.1.2.3. Calidad del agua.....	17
1.1.2.4. Categorías de los estándares de calidad ambiental (ECA).....	18
1.1.2.5. Potabilización de agua.....	21
Desinfección del agua	21
Desinfección con cloro.....	24
Propiedades de los productos de cloro	26
Mecanismos de la desinfección con cloro	27
Cloro residual.....	30
1.1.2.6. Definición de términos	34
1.1.2.7. Marco legal e institucional.....	36
1.2. Formulación del problema.....	38
1.3. Objetivos.....	39
1.3.1. Objetivo general	39
1.3.2. Objetivos específicos	39
1.4. Hipótesis	39
1.4.1. Hipótesis general	39
1.4.2. Hipótesis específicas.....	40

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	41
2.2. Tipo de investigación	44
2.3. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	44
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	44
2.5. Procedimiento	45
2.6. Análisis de datos	48
2.7. Procedimiento	48
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	53
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	54
REFERENCIAS.....	62
ANEXOS	71
ACTA DE CONFORMIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN, TESIS O TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Métodos de potabilización de agua	22
Tabla 2	Principales propiedades de las variables comerciales del cloro.....	27
Tabla 3	Clasificación de equipos para desinfección más usados	29
Tabla 4	Resistencia de materiales al cloro	30
Tabla 5	Métodos de determinación de cloro	31
Tabla 6	Técnica e instrumento de recolección de datos.....	45
Tabla 7	Instrumento de recolección de datos	46
Tabla 8	Ubicación del lugar de estudio.....	49
Tabla 9	Toma de muestras.....	51
Tabla 10	Distancia entre los puntos de muestreo	52
Tabla 11	Resultados de las muestras recolectadas en septiembre, octubre y noviembre del 2019.....	53
Tabla 12	Datos obtenidos del pH.....	54
Tabla 13	Datos obtenidos de conductividad.....	55
Tabla 14	Datos obtenidos de TDS	56
Tabla 15	Datos obtenidos de salinidad.....	57
Tabla 16	Datos obtenidos de turbiedad.....	58
Tabla 17	Datos obtenidos de cloro	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento del ácido hipocloroso respecto al pH. Góngora – 1983	29
Figura 2. Pasos a seguir para la medición de cloro residual. OMEGA PERÚ, 2019.	32
Figura 3. Valores de monitoreo de cloro residual óptimos en redes de distribución de	34
Figura 4. Delimitación de la provincia de San Pablo - San Bernardino. Zonificación San Pablo, 2010.	42
Figura 5. Mapa Político de San Bernardino – La Palma. Municipalidad distrital San Bernardino, 2016.	43
Figura 6. Sistema de cloración La Palma. Municipalidad distrital San Bernardino.	47
Figura 7. Georreferenciación de los puntos de muestreo del centro poblado La Palma – San Bernardino	49
Figura 8. Sistema de agua potable del centro poblado La Palma – San Bernardino	50
Figura 9. Caracterización de cloro residual en el agua. OMS, 2004.	52
Figura 10. Resultados de pH en agua de consumo humano del centro poblado la Palma septiembre - noviembre, 2019.	54
Figura 11. Resultados de conductividad en agua de consumo humano del centro poblado la Palma septiembre - noviembre, 2019.....	55
Figura 12: Resultados de TDS en agua de consumo humano del centro poblado la Palma septiembre - noviembre, 2019.	56
Figura 13: Resultados de salinidad en agua de consumo humano del centro poblado la Palma septiembre - noviembre, 2019.	57
Figura 14: Resultados de turbiedad en agua de consumo humano del centro poblado la Palma septiembre - noviembre, 2019.	58
Figura 15: Resultados de cloro en agua de consumo humano del centro poblado la Palma septiembre - noviembre, 2019.	59

RESUMEN

La contaminación del agua es un problema global, por lo que es necesario identificar a que categoría de agua pertenece para poder tratarla según D.S. N° 004-2017-MINAM. El centro poblado La Palma cuenta con un sistema de cloración por goteo, donde se utiliza hipoclorito de calcio al 70% en un tanque de agua Rotoplas 600L el cual abastece a 25 familias; debido a ello se tuvo por conveniente evaluar la concentración de cloro residual presente en el agua de consumo humano en la línea de distribución inicial, intermedia y final de dicho lugar, así mismo determinar si se cumple o no con el D.S. N° 031-2010-S.A. Para el desarrollo de la investigación se utilizaron equipos calibrados, mostrados en el punto 2.4. A su vez se recolectaron 24 muestras durante septiembre, octubre y noviembre del 2019. Respecto a los resultados obtenidos, expuestos en la tabla 12, se infiere que la solución madre utilizada para la cloración no es la adecuada, y los responsables del manejo del sistema de agua potable no conocen el procedimiento para preparar la solución madre como: el aforo constante del caudal, los gramos adecuados de hipoclorito de calcio al 70% y el tiempo de retención del desinfectante.

Palabras clave: Concentración, agua de consumo humano, cloro residual, LMP, cloración.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Como se sabe hoy en día debido a la contaminación las fuentes de agua no se encuentran en condiciones aptas para consumo humano, esto debido a que el hombre ha ido desarrollando a lo largo del tiempo diversas actividades antropogénicas como la agricultura, ganadería, industria, etc.; las cuales dejan como resultado desechos que al no ser tratados contaminan el ambiente, trayendo como consecuencia la muerte de diversas especies de plantas, animales y en el caso del agua los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos son alterados, impidiendo así la depuración natural del agua. (Lozada, 2017).

El agua que se ofrece en el país no es 100% segura, puesto que solo el 23.40 % del agua es segura para el consumo humano directo, el 21.40 % del agua no es debidamente purificada (aplicación de cloro) y el 55.20 % simplemente no es purificada con cloro. En el caso de Lima el 58.50% es agua segura para consumo humano, el 24.10% no tiene el nivel adecuado de cloro y el 17.40 % es agua no purificada. En el resto del país la situación es crítica, debido a que solo el 13.50% de agua es apta para el consumo humano, el 20% no tiene el proceso de purificación óptimo y el 66.50% no es agua tratada, por lo que cabe la posibilidad de que las aguas tengan un nivel de contaminación alto. (Rodríguez, 2015).

Para poder acceder a agua apta para consumo humano es necesario que el agua pase por etapas de captación y/o canalización, floculación, decantación, filtración, desinfección a través de la cloración, luz solar, luz ultravioleta, etc.; por lo que el Ministerio del Ambiente según Decreto Supremo N° 004–2017, establece categorías del agua, así como Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) de la misma, estipulando que aguas de categoría 1 (poblacional y recreacional), sub categoría A1 (aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable), pueden ser potabilizadas con desinfección simple (uso de cloro), y las fuentes de agua que cumplen con las características para este tipo de desinfección son las que se encuentran en zonas rurales.

El distrito de San Bernardino, provincia de San Pablo, cuenta con 4 centros poblados y 22 caseríos, de los cuales solo 5 cuentan con un sistema de cloración por goteo, mientras que los otros lugares cuentan con agua entubada sin desinfección alguna. De los 5 lugares que cuentan con un sistema de cloración por goteo, solo 1 se encuentra operativo, mismo que se ubica en el centro poblado La Palma, lugar donde se tuvo por conveniente realizar el trabajo de investigación, ya que en esta zona no se realiza inspección ni mantenimiento constante del sistema de cloración por goteo. Además de ello el centro poblado La Palma abastece a 25 familias, en las cuales hay niños, mujeres embarazadas y personas de la tercera edad, población vulnerable y propensa a sufrir de anemia, parasitosis y desnutrición crónica; enfermedades causadas por la ingesta de agua en condiciones no aptas para consumo humano.

1.1.1. Antecedentes

En un estudio realizado sobre un modelo de decaimiento de cloro libre en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Azogues, Ecuador, el cual tuvo como objetivo la evaluación del modelo de decaimiento de cloro residual mediante un protocolo de acceso a datos registrados (RDAP) usando un software EPANET para redes de distribución, elaboraron un modelo hidráulico calibrado y validado para que de esa manera determinen la reacción del cloro con el agua mediante el test de botella. Mediante la observación de la reacción del cloro con la pared del tubo realizaron mediciones en campo, donde llegaron a la conclusión de que el cloro influye en la corrosión de tuberías de cobre, además la simulación les permitió determinar las concentraciones de cloro que debe mantener el tanque dosador para que de esa manera mantenga la concentración mínima de cloro en las redes de distribución de la ciudad. (García, 2019).

En Cuenca, Ecuador, se realizó una investigación acerca del Análisis del efecto toxicológico que provoca el consumo humano de agua no potable, mediante la determinación de cloro libre residual en aguas tratadas de las parroquias rurales del cantón Cuenca; para ello recopilamos datos del estado físico químico y microbiológico de aguas tratadas de la provincia, los datos en su mayoría mostraron la ausencia de cloro libre residual, en las muestras tomadas. Según el informe realizado, en el 90% de muestras de agua tomadas no se encontró presencia de cloro libre residual, por lo

tanto, concluyeron que la población que consume estas aguas está en un gran riesgo toxicológico, debido a la falta de cloro en el agua y por ende la población está más propensa a enfermedades diarreicas y otras causadas por el agua no apta para consumo humano. (Campoverde, 2015)

En una investigación sobre la Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del Municipio de Turbaco en Colombia, tomaron muestras en nueve puntos de monitoreo analizando algunos parámetros in situ y el resto en el laboratorio para el análisis correspondiente, con los datos obtenidos realizaron la comparación con la normativa vigente; obteniendo como resultado una turbiedad de 1.049 UNT (Nephelometric Turbidity Unit), que es un promedio de 102.022 mg de CaCO_3/L de dureza total, en el análisis microbiológico obtuvieron como resultado que los coliformes totales cambiaron de 10 a 30 UFC/100 cm^3 resaltando uno de los puntos con mayor concentración de coliformes de 21 UFC (Unidad Formadora de Colonias)/100 cm^3 . Con todo lo mencionado sobre los resultados del estudio concluyeron que el Municipio de Turbaco no cuenta con una buena calidad de agua porque los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados sobrepasan los valores establecidos en la normatividad colombiana, siendo uno de los principales problemas la ausencia del cloro residual libre, parámetro que no cumple con los valores mínimos que exige la Resolución 2115 del 2007, por lo que afirman que el sistema de cloración del agua del Municipio Turbaco es deficiente. (Petro y Wees, 2014).

En un estudio de investigación acerca de la dosis de cloro y cloro residual libre en el sistema de agua potable del sector de Puyuhuan en Huancavelica, tuvieron como objetivo evaluar la concentración de cloro en el reservorio y el cloro residual libre presente en las redes de distribución domiciliarias, suministrado por la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS), los resultados que obtuvieron los compararon con el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano; en el cual tuvieron como resultado que la dosis correcta de hipoclorito de calcio para el volumen de agua que almacena el reservorio no es la adecuada, ya que el cloro residual libre en el reservorio encontrado fue de 0.4 mg/L y máximo 0.5 mg/L, en la redes de distribución el mínimo 0 mg/L y el máximo 0.39 mg/L, por ello concluyeron que el

agua abastecida a Puyuhuan no cumple con los estándares establecidos en el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano. (Pérez y Ramos, 2018).

En Pucará, Huancavelica en el 2019, se realizó un estudio sobre la eficiencia de la cloración por goteo en zonas rurales del distrito de Pucará, realizaron la investigación con la finalidad de determinar la efectividad del método por goteo y la eficiencia del cloro residual, para su investigación instalaron dos sistemas por goteo con el mismo caudal de 0.20 L/s, solución clorada, el tanque dosador de 250 L y caudal de goteo de 248 gotas /minuto, así mismo instalaron el sistema de cloración por goteo con flotador adaptado, la prueba la realizaron por 10 días consecutivos y tuvieron como resultado que el método más adecuado y económico es el sistema de cloración por goteo con flotador adaptado. (Muñoz, 2019).

En el 2017 en Santa Bárbara, Huancavelica se realizó un proyecto sobre el nivel de contaminación microbiológica en agua de consumo humano en el sector Sequia Alta, para ello tomaron en cuenta 10 muestras tanto en la captación, reservorio y grifos; en esta investigación utilizaron el método inductivo, deductivo y estadístico, diseño no experimental transversal, en el cual obtuvieron como resultados que en la muestra 1 existió un promedio de 2.8 de contaminación microbiológica, en la muestra 2 un promedio de 1,1 de contaminación microbiológica y en la muestra de grifos 0.6 de contaminación microbiológica y 0.1 mg/L de cloro residual respectivamente, a partir de los resultados que obtuvieron durante su proyecto llegaron a la conclusión que el agua que consume la población de Sequia Alta, Santa Bárbara, no es apta para consumo humano, debido a que presenta microorganismos patógenos que sobrepasan los LMPs del Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano, además agregaron que lo más adecuado sería implementar un mejor sistema de cloración para tener agua de calidad para la población. (Araujo y Benito, 2017).

En Pacora, Lambayeque en el 2016 se realizó un estudio sobre caracterización físico – química y microbiológica de agua para consumo humano de la localidad, para dicho estudio tomaron como referencia el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, estipulado en el D.S. N° 031–2010–SA del Ministerio de Salud, donde tuvieron 10 puntos de muestreo en la localidad por cuatro semanas obteniendo 40 muestras de 19 parámetros en cada una; teniendo como resultado que los parámetros

que están dentro de los límites para consumo humano son: pH, dureza total, turbidez, color, nitratos, arsénico, plomo y recuento de heterótrofos y los parámetros que sobrepasan los límites son: cloruros, magnesio, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, sulfatos, cloro residual, coliformes totales y coliformes termotolerantes. Con los datos que obtuvieron, concluyeron que el agua proveniente de la localidad de Las Juntas no es apta para consumo humano. (Cava y Ramos, 2016).

En un estudio sobre parámetros de control obligatorio para determinar la calidad del agua de consumo humano en la ciudad de Iquitos, 2018, realizaron muestreos del agua que consume la población de Iquitos, para ello emplearon una metodología descriptiva-cualitativa, con un diseño general no experimental y diseño específico descriptivo transversal. Se realizaron mediciones de los parámetros de campo, que consistieron en pH, turbiedad y cloro residual, donde obtuvieron los siguientes resultados; pH 7.2 - 7.8, en el caso de la turbiedad se obtuvieron resultados de 1.4 – 2.9 NTU (unidades nefelométricas de turbidez) , valores que se encuentran dentro de LMP según D.S. N° 031-2010-SA, y con respecto al cloro residual los valores de la concentración de cloro oscilaron entre 0.3 – 2 mg/L, teniendo como resultado promedio una concentración de 0.7 mg/L de cloro libre residual; por lo cual se concluyó que el agua que consume la ciudad de Iquitos contiene concentraciones adecuadas de cloro residual, puesto que el 95% del total de las muestras analizadas contenían concentraciones adecuadas de cloro residual, garantizando en gran medida la eliminación de la contaminación bacteriológica. (Vásquez, 2018).

En una investigación realizada sobre el control estadístico de la calidad del agua respecto al cloro residual y turbidez en la planta de tratamiento Seda Juliaca, emplearon métodos descriptivos aplicativos, la metodología que usaron fue las cartas de control de Walter A. Shewhart para variables cuantitativas. Para la validación del control estadístico de la calidad, usaron la capacidad del proceso, donde como resultado obtuvieron que el proceso es capaz de cumplir con las normas del Ministerio de Salud - Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S. N° 031-2010-SA. Tuvieron como resultado de cloro residual 0,5 - 5 mg/L y 0 – 5 UNT para turbiedad, con todo lo mencionado referente a sus resultados llegaron a la conclusión que el cloro residual se encuentra bajo control estadístico de calidad ya que los límites

de especificación de la planta de tratamiento Seda Juliaca fue LIC: 1,897 mg/L LCS: 2,872 mg/L mientras los límites de tolerancia LIC: 1,6433 mg/L, LCS: 3,8567 mg/L. Del mismo modo se verificó que las muestras de turbiedad se encuentran bajo control estadístico de calidad con límites de especificación de la planta de tratamiento Seda Juliaca LIC: 0,441 UNT LCS: 1,74 UNT mientras que los límites de tolerancia LIC: 1.342 UNT LCS: 3,6588 UNT. (Murillo, 2015).

En un estudio realizado en el centro poblado Puyllucana – Baños del Inca, acerca de la evaluación ambiental de la calidad de agua del sector A, han tomado en cuenta 3 estaciones de muestreo con 12 parámetros fisicoquímicos y biológicos en cada estación, han obteniendo como resultado de las diferentes muestras que la concentración de elementos minerales es elevada y la concentración de coliformes fecales en el punto de muestreo del reservorio y domicilio según los LMPs (23 NMP/100mL. y 30 NMP/100mL. respectivamente), con respecto del punto de muestreo de la captación según los ECAs (161 NMP/100mL.), también son elevadas, los resultados obtenidos han sido comparados con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) según el D.S. N° 004–2017–MINAM, en el reservorio y el domicilio se compararon con los Límites Máximos Permisibles (LMP) del reglamento de calidad del agua para el consumo humano según el D.S. N° 031-2010-SA, llegando a la conclusión que en la mayoría de los puntos los coliformes fecales y totales están elevados, a su vez no obtuvieron concentraciones de cloro residual óptimos en las redes domiciliarias del sistema de agua potable, esto se debe a que en el centro poblado se utiliza un sistema de cloración muy poco eficiente para que abastezca a toda la población, por lo cual concluyeron que el agua de consumo humano en el centro poblado Puyllucana no es de buena calidad. (Castro, 2017).

En un trabajo de investigación sobre determinación de la calidad del agua para consumo humano en el distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc, región Cajamarca, 2017, su objetivo fue determinar la calidad del agua para consumo humano, para lo cual tuvieron cuatro puntos de monitoreo, en los cuales se tomaron las muestras durante los meses de agosto, septiembre y octubre. Recolectaron 32 muestras de agua, las que las transportaron al Laboratorio Regional del Agua, Cajamarca, para su análisis. Los resultados que obtuvieron fueron comparados con

Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental de agua para categoría A1, donde obtuvieron como resultado la presencia de bacterias coliformes, pero que cumple con la normativa según el D.S. N° 004-2017-MINAM, además se obtuvo la baja concentración de cloro en las cuatro estaciones de monitoreo, donde los valores de cloro libre residual registraron un promedio de 0.45 mg/L; lo cual significa que el sistema de cloración con el que cuenta el distrito de Bambamarca no es el adecuado para el tratamiento del sistema de agua potable del mencionado lugar. (Saldaña, 2017).

En un trabajo de investigación sobre concentración microbiológica en el agua para consumo humano, de la comunidad campesina Yaminchad del distrito y provincia de San Pablo, en el departamento de Cajamarca, se basó en los ECA según D.S. N° 002-2008-MINAM y el D.S. N° 015-2015-MINAM, las cuales determinan el análisis de aguas superficiales para consumo humano y el D.S. N° 031-2010-SA DIGESA. Realizaron las muestras en cuatro puntos de monitoreo: manantial, reservorio y grifos. Recolectaron 32 muestras de agua, las cuales fueron llevadas al laboratorio, donde obtuvieron como resultado que en el agua de la comunidad Yaminchad, existía una concentración de coliformes fecales y termotolerantes altos que al ser comparados con los ECA para el agua comprueban que sobrepasan los valores analizados, en tal sentido concluyeron que el agua solo necesita desinfección simple, pero por el desconocimiento de la población la consume sin ningún tipo de tratamiento lo que puede provocar enfermedades gastrointestinales. (Santacruz y Terán, 2016).

1.1.2. Bases Teóricas

1.1.2.1. Generalidades del agua

El agua es el componente natural más abundante de la tierra, ocupando más de dos tercios de la superficie terrestre. A su vez nos dice que nuestro cuerpo está formado por más del 70 % de agua y en el caso de las plantas pueden llegar a tener un 99% de agua. (Organización de las Naciones Unidas, 2018).

Lavoisier y Cavendish en 1913, mencionaron que ellos demostraron que el agua estaba formada por hidrógeno, el bioquímico y fisiólogo Henderson en 1942 en su libro “The

Fitness of the Environment”, mencionó que el agua tiene capacidad calorífica, conductividad, densidad, tensión de vapor y su punto de congelación, las cuales son propiedades únicas de solvente, constante dieléctrica y su tensión superficial, lo hacen en ciertos aspectos, lo más apto para los seres vivos. (Carbajal y González, 2012).

Los estados en los que se presenta el agua nos afectan indirectamente de distintas formas. Por ejemplo, los océanos (en estado líquido) adquieren gran influencia en el balance energético del planeta y en los patrones climáticos. Además, la salinidad junto con otras propiedades constituye un medio atractivo para algunos seres vivos como los peces. (Carbajal y Gonzáles, 2012).

A pesar de la universalidad del agua, en la actualidad no todos los seres humanos tienen acceso al agua potabilizada, debido a que muchas fuentes de agua no se encuentran dentro de los ECA ni de los LMP y en la gran mayoría de zonas no se puede potabilizar el agua, ya que para tratar el agua en algunos casos se requiere de un sistema de potabilización complejo, el cual pasa por diferentes etapas como la captación, coagulación, decantación, filtración, cloración y finalmente su distribución. (Carbajal y Gonzáles, 2012).

1.1.2.2. Usos del agua

El desarrollo de la humanidad tiene uno de sus indicios en la relación con el agua. Debido a ello Gaya (2018), menciona que los principales usos del agua son:

- **Consumo doméstico:** Hace referencia a la utilización del agua en nuestra alimentación, limpieza, lavado de ropa, higiene y aseo personal.
- **Consumo público:** Agua utilizada en la limpieza de las calles de ciudades y pueblos, en las fuentes públicas, ornamentación, riego de parques y jardines, otros usos de interés comunitario.
- **Agricultura y ganadería:** En agricultura, para el riego de los campos. En ganadería, como parte de la alimentación de los animales y en la limpieza de los establos y otras instalaciones dedicadas a la cría de ganado.
- **Industria:** En las fábricas, en el proceso de fabricación de productos, en los talleres, en la construcción, etc.

- **Fuente de energía:** Utilización del agua para producir energía eléctrica y en algunos casos se aprovecha la fuerza de la corriente de agua de los ríos para mover máquinas (molinos de agua, aserradero, etc.).
- **Vías de comunicación:** Navegación por las aguas de mares, ríos y lagos para transportar las cargas más pesadas que no pueden ser transportadas por otros medios.
- **Deporte:** Práctica de deportes en los ríos, mares, piscinas y lagos. Tales como natación, buceo, surf, kayak, etc.

También menciona que todas las personas debemos ser conscientes a la hora de usar el recurso hídrico. (Gaya, 2018).

1.1.2.3. Calidad del agua

En el 2010, con el objetivo de proteger y promover la salud y bienestar de la población, la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), elaboró el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano”. Este reglamento establece los LMP de elementos físicos, químicos y microbiológicos que debe presentar el agua, para ser considerada potable. También, se establecieron a las autoridades encargadas de dirigir y supervisar la gestión de la calidad del agua para consumo humano, el papel de los gobiernos regionales y locales; además de fortalecer la posición de la DIGESA, como autoridad sanitaria.

La calidad de agua es el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas que la definen, es decir calidad de agua se refiere a las condiciones en las que se encuentra el recurso hídrico, para mantener un ecosistema equilibrado. (Maestu, 2015).

Dentro de los parámetros que determinan la calidad de aguas para consumo humano tenemos:

Parámetros Físicoquímicos: Dentro de estos parámetros se encuentran el sabor, olor, color, turbidez, conductividad, pH, dureza, sólidos disueltos y en suspensión, alcalinidad, nitratos, fluoruros, fosfatos, sílice, carbonatos y presencia de otros componentes como ácido sulfhídrico, ácido húmico, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, metales tóxicos y gases disueltos. (Corporación Autónoma Regional del Quindío, 2016).

Parámetros Microbiológicos: Dentro de ellos se encuentran la demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), también la no presencia de Escherichia Coli, Estreptococos y Clostridios. (CRQ, 2016).

Para determinar la calidad del agua los parámetros indispensables a medir son: pH, conductividad, turbidez, sólidos totales, nitratos, nitritos, coliformes termotolerantes y coliformes totales. También se resalta que para que un cuerpo de agua no sea de calidad es suficiente que exceda en cualquier parámetro o indicador de calidad de agua propuesto por el MINAM de acuerdo a la categoría y al Estándar de Calidad Ambiental que se estipula, para que de esta manera no represente ningún tipo de riesgo para la salud de las personas. (Caicedo, 2014).

En una publicación acerca de los principales factores que afectan la calidad del agua se destacaron: el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento alguno a cuerpos de agua, así como el tiempo, clima, radiación solar, precipitaciones, e incluso el crecimiento poblacional. A su vez se indica que el agua puede provenir de fuentes naturales o haber sido tratada específicamente para uso humano. En el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, (2010) se especifican los parámetros microbiológicos, organolépticos y químicos, que debe cumplir el agua para ser considerada apta para el consumo humano. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S, 2008).

1.1.2.4. Categorías de los estándares de calidad ambiental (ECA)

Según el D.S. N° 004-2017-MINAM, clasifica en 4 categorías al agua y a las mismas en subcategorías, dentro de las cuales tenemos:

- **Poblacional y recreacional:** Dentro de esta categoría tenemos:

Subcategoría A. Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable: Son aquellas aguas que previo tratamiento son destinadas para el abastecimiento de agua de consumo humano.

Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección: Son aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección.

Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional: Aguas sometidas a un tratamiento convencional, mediante 2 o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación y/o filtración o procesos equivalentes incluyendo su desinfección, en conformidad con la normativa vigente.

Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado: Aguas sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

Subcategoría B. Aguas superficiales destinadas para recreación: Aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales.

B1. Contacto primario: Actividades como: natación, esquí acuático, buceo, surf, canotaje, pesca submarina, etc.

B1. Contacto secundario: Deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

- **Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**

Subcategoría C1. Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras: Ostras, almejas, erizos, estrella de mar y tunicados.

Subcategoría C2. Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras: Peces y algas comestibles.

Subcategoría C3. Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras: Aguas aledañas a las infraestructuras

marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

Subcategoría C4. Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas: Aguas destinadas a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano de manera directa o indirecta (pesca – peces).

- **Riego de vegetales y bebida de animales**

Subcategoría D1. Riego de vegetales: Dentro de esta subcategoría tenemos 2 usos del agua, el primero es de riego no restringido, lo cual hace referencia al riego de cultivos que se consumen crudos y el segundo uso es de riego restringido, el que hace referencia al riego de cultivos que se consumen cocidos, cultivos de tallo alto que el agua de riego no entra en contacto con el fruto, cultivos industriales no comestibles como el algodón, cultivos forestales, forrajes, pastos o similares.

Subcategoría D2. Bebida de animales: Utilizado para bebida de animales como ganado vacuno, equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

- **Conservación del ambiente acuático:** Aguas que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas.

Subcategoría E1. Lagunas y Lagos: Cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan una corriente continua, incluyendo humedales.

Subcategoría E2. Ríos: Cuerpos naturales de agua lóuticos, que se mueven continuamente en una misma dirección.

Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos

✓ **Estuarios:** Zonas donde el agua de mar ingresa en valles o causes de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Incluye marismas y manglares.

- ✓ **Marinos:** Zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

1.1.2.5. Potabilización de agua

Para poder tener agua apta para consumo humano es necesario tratarla y lograr el cumplimiento del D.S. N° 004-2017, establecido por el MINAM, es decir cumplir así que el líquido elemento se encuentre dentro de los LMP y no pueda generar daño a la salud de las personas que la consumen.

Desinfección del agua

La naturaleza y concentración del agente desinfectante como el cloro y derivados pueden formar en el agua una serie de especies químicas cloradas, de diferente eficiencia desinfectante. Por otro lado, la concentración del desinfectante determinará el tiempo de contacto necesario para destruir todos los microorganismos presentes en el agua (Cáceres, 1990).

La temperatura del agua favorece el proceso de desinfección. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la solubilidad de los agentes desinfectantes en estado gaseoso es inversamente proporcional a la temperatura. (Pérez, et al. 2018).

Si el agua llega a una temperatura de menos de 5 °C o en otros donde puede tener 35 °C, la cantidad del desinfectante disuelto en el agua variará considerablemente es decir será menor a mayor temperatura y viceversa. A su vez indica que la práctica demuestra que cuanto más alcalina es el agua requiere mayor dosis de desinfectante para una misma temperatura y tiempo de contacto.

Además de ello indica que cuanto mayor es el tiempo de contacto, mayor será la posibilidad de destrucción de los microorganismos. (Pérez, et al. 2018).

Tabla 1

Métodos de potabilización de agua

MÉTODOS PARA POTABILIZAR EL AGUA			
MÉTODO	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ebullición del agua	Hervir el agua a una temperatura mayor a 60 °C de 1 a 3 minutos.		Resistencia de microorganismos como: Cryptosporidium, Cyclospora y Toxoplasma.
Desinfección química	Utilización de yodo y cloro en el agua con temperatura mayor a 25 °C.	✓ Eliminación de microorganismos patógenos.	El exceso de producto puede generar vómitos, dolor de cabeza, alergia, etc.
Filtración	Los más utilizados son el de membrana, carbón y cerámica. Con porosidad de menos de 1 micrómetro.	✓ Agua más pura. ✓ Eliminación de protozoos.	Costo, mantenimiento constante, no mata bacterias, falta de protección residual.
Dióxido de cloro	Sirven para el tratamiento de agua en pequeña cantidad en un tiempo de 30 minutos. Depende de la dosis y el tiempo de exposición	Eliminación de microorganismos patógenos.	Se degradan por la luz solar
Luz ultravioleta	UV, el tiempo recomendado es de 4 horas a más.	Eliminación de microorganismos patógenos y virus.	Costo

FUENTE: Asociación de Médicos de Sanidad Exterior – 2018

Para la selección de la técnica y el sistema de desinfección se deben tener en cuenta características de la planta, lugar y comunidad, es decir, contrastar lo teórico con la realidad, por ello mencionan que para complementar las mejores condiciones de la técnica y del sistema de desinfección es necesario tener en cuenta la fuente de agua, lugar, sistema, población y sus características culturales, todo ello es muy importante, puesto que la realidad indica que no hay lugar, sistema ni comunidad que sean perfectos. A su vez debe reconocerse que no existe el desinfectante o técnica que sea ideal o perfecta, ya que todas las técnicas que se han desarrollado y se utilizan en todo el mundo, son excelentes, pero no son perfectas. Todas y cada una de ellas pueden sufrir objeciones, por ejemplo, no aniquilan todos los microorganismos, no eliminan quistes o parásitos, no dejan residual en la red, dependen de productos químicos que no se producen en la comunidad, generan subproductos de la desinfección, debido a que son complejas, caras, difíciles de operar, etc. (Pérez, et al. 2018).

En las zonas rurales el agua no siempre se bebe directamente del grifo sino también que se almacenan en depósitos, a su vez mencionan que las distintas formas que adoptan los pobladores para abastecerse de agua hacen que la contaminación de esas aguas sea más rápida y frecuente. (Marchand, 2002). Por seguridad es necesario hacer la desinfección del agua, para hacer frente a la contaminación posterior al almacenamiento, que en la gran mayoría de ocasiones ocurre dentro del hogar, motivo por el cual indican que el desinfectante debe dejar un residual en la red y en caso de que no sea así, se deberán utilizar dos desinfectantes, uno primario para desinfectar y otro secundario para proveer el residual. (Organización Panamericana de la Salud/Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente 2002).

Respecto a la concentración y tiempo se considera que, para que cualquier desinfectante actúe eficientemente, deberá cumplir los requerimientos de la ecuación $C \times T$, lo que significa que todo desinfectante presentará una determinada concentración (C) y estará en contacto con el agua a desinfectar por un período mínimo de tiempo (T). (Solsona, et al. 2002).

Dentro del marco operativo, es importante recalcar la necesidad de que cualquiera que sea el desinfectante o método empleado, debe haber una buena mezcla y dispersión. Además de ello se indica que siempre se tiene que capacitar a los encargados del proceso de desinfección (operador), y a toda la comunidad, así mismo se menciona que debe haber un seguimiento continuo del sistema, para así asegurar su óptimo funcionamiento. A su vez a partir de la desinfección se generan subproductos de desinfección (SPD), conocidos también por sus siglas DBP (disinfection by product). (Vargas y Barrenechea, 2004).

La Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS), está estrechamente relacionada con los operarios y los usuarios del agua potable. Por ello es que lo primero que se debe hacer es una concientización respecto al tema de desinfección, sus beneficios, riesgos y peligros. En zonas rurales el sabor y olor producido por el cloro, el cual es utilizado para desinfección del agua, puede generar desconfianza a la población, razón por la cual se debe brindar información clara y precisa a los mismos, para evitar así inconvenientes en el proceso de potabilización de agua. (Vargas y Barrenechea, 2004).

Desinfección con cloro

La desinfección tiene por objeto eliminar a los microorganismos patógenos y garantizar la ausencia de todo germen infeccioso (bacteria o virus) en las aguas. Los productos clorados son las sustancias utilizadas con mayor frecuencia en el tratamiento químico del agua gracias a su inocuidad y facilidad para el control de sus niveles. (Hanna Instruments, 2015).

En una publicación realizada por el blog Hanna Instruments, sobre desinfección del agua, señala que todos los productos clorados utilizados en el tratamiento producen ácido hipocloroso (HClO) al reaccionar con el agua. El ácido hipocloroso es un ácido débil que se disocia a hipoclorito (ClO^-) en el agua según un equilibrio condicionado por el valor del pH. La suma de estas 2 formas constituye lo que se llama el cloro libre. En las aguas con un pH alto, la mayor parte del ácido hipocloroso (cloro activo) se convierte en ión hipoclorito (cloro potencial), una forma de cloro con muy bajo poder desinfectante. El cloro combinado es el resultado de la combinación del cloro con el amoníaco y materia orgánica nitrogenada que contiene el agua. La suma del cloro libre y el cloro combinado constituye el cloro total. (Hanna Instruments, 2015).

La desinfección con cloro del agua tiene dos funciones: la primera es destruir o desactivar a la mayoría de los microorganismos que producen enfermedades; la segunda en especial en el agua de consumo es mejorar su calidad al reaccionar con el amonio, hierro, manganeso, sulfuros y algunas sustancias orgánicas. La cloración puede producir efectos adversos al reaccionar el cloro con los fenoles y otros compuestos orgánicos presentes en el agua, produciendo cloraminas y organoclorados que le dan al agua sabor y olor característicos. (Hanna Instruments, 2017).

Como ya se mencionó la cloración es un medio sencillo y eficaz para desinfectar el agua y hacerla apta para consumo humano. Este método consiste en introducir productos clorados (pastillas de cloro, lejía, etc.), en el agua para matar los microorganismos presentes en la misma. Cabe mencionar que para que la cloración sea óptima se requiere dejar actuar al producto clorado durante 30 minutos, después de los 30 minutos el agua pasa a ser potable y la durabilidad depende de las condiciones del almacenamiento. (Zayas, 2018). La desinfección de agua, genera subproductos de

desinfección (SPD), y muchos de ellos son cancerígenos. En ocasiones, este hecho real y concreto (del potencial carcinogénico) ha causado, por un lado, desinterés de los ingenieros o responsables por implementar la desinfección (“es mejor ser cautos y no desinfectar demasiado, ya que la desinfección produce cáncer”) y, por otro lado, una mala información a la población que ha generado un justificado rechazo. Por ello, es fundamental que todo aquél que esté trabajando en esta línea del tratamiento de agua tenga absolutamente claro qué significa “el riesgo de la desinfección” y “el riesgo de la no desinfección”. (Pérez, et al. 2018).

El riesgo de enfermarse por cáncer está asociado a una ingesta durante muy largos períodos de agua desinfectada y es un riesgo potencialmente bajo. El riesgo de enfermarse o morir por otras enfermedades debido a microbios que están presentes en el agua que no está desinfectada es, en cambio, mucho más alto (OPS/CEPIS, 2002). Se estima que el riesgo de morir (mortalidad) por cáncer debido a la ingesta de agua desinfectada frente al riesgo de morir por alguna enfermedad de transmisión hídrica (diarrea, hepatitis infecciosa, fiebre tifoidea, cólera, etc.) es de 1 en 1 000. (Solsona, et al. 2002), es decir, tomar agua sin desinfectar implica que una persona corre un riesgo 1 000 veces mayor de morir por una enfermedad diarreica, que morir por un cáncer asociado a la ingesta de aguas cloradas. Pero si esos datos de mortalidad son impresionantes, mucho más son los relacionados con la posibilidad de enfermarse (morbilidad), ya que el riesgo de enfermarse de diarrea es 1 000 000 de veces mayor que el riesgo de enfermarse de cáncer, por lo que se puede asegurar que los riesgos de enfermarse o morir son mucho más altos si no se clora el agua. Esta realidad estadística ha llevado a la Organización Mundial de la Salud (OMS) y a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (USEPA) a expresar que “bajo ningún concepto debe comprometerse la desinfección del agua de consumo” (Galal y Gorchev, 1996). Las principales causas de fallas en el sistema de potabilización son la motivación insuficiente y falta de compromiso político, así como la falta de conocimiento e información sobre los riesgos de una desinfección ineficiente y la importancia de la relación entre el agua y la salud, poca disponibilidad de desinfectantes en el mercado local, etc. Además, mencionan que los usuarios tienen que haber entendido que existe una clara relación entre el agua y la salud (o entre el

agua y la enfermedad) y que la desinfección es la barrera imprescindible para detener el riesgo de la enfermedad. (Pérez, et al. 2018).

PROAGUA (2017), menciona que la dosis del desinfectante depende del tipo de agua a clorar, lo cual deberá determinarse antes de poner en funcionamiento el sistema de agua potable.

Para la determinación exacta se requiere de un laboratorio y personal especializado, por lo cual se recomienda determinar la dosis de cloro por lo menos dos veces al año, según varíe las características fisicoquímicas del agua a desinfectar. Por ejemplo, durante la época de lluvias y épocas de estiaje (ausencia de lluvias). La dosis de cloro para desinfectar el agua es equivalente a:

Dosis de cloro mg/L = (Demanda de cloro + Cloro residual libre)mg/L (RM N° 173-2016-VIVIENDA).

En Perú, la norma establece la obligatoriedad de al menos 0,50 mg/L de cloro residual libre en el agua que será abastecida como potable. Por tanto, la dosis de cloro será:

Dosis de cloro (mg/L) = (Demanda de cloro + 0.50)mg/L (RM N° 173-2016-VIVIENDA).

La demanda de cloro es la concentración de cloro necesaria para eliminar todos los microorganismos más la concentración de cloro que reacciona con todas las sustancias presentes en el agua. (PROAGUA, 2017).

Propiedades de los productos de cloro

Las variedades comerciales del cloro se obtienen por métodos diferentes y de ellos dependen la concentración de cloro activo, su presentación y estabilidad. Pérez, et al. (2018), cita a Christman, (1998), el cual define que el “Cloro activo” significa el porcentaje en peso de cloro molecular que aporta un determinado compuesto en cualquier estado; lo cual significa que, si una solución tiene 10 % de cloro activo, esto se debe a que se han burbujeado 10 gramos de cloro gas en 100 mL de agua y que el gas se ha absorbido totalmente y sin pérdida en ella. La solución tiene entonces 10 g de cloro en 100 g de agua y de allí el “10 %”.

Tabla 2

Principales propiedades de las variables comerciales del cloro

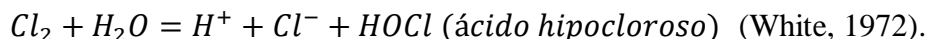
NOMBRE	NOMBRE COMERC.	CARACT.	CLORO ACTIVO (%)	ESTAB. TIEMPO	SEG.	ENVASE
Cloro gas Cl ₂	Cloro licuado, cloro gaseoso.	Gas licuado a presión	99.5%	Muy buena	Gas altamente tóxico	Cilindros de 40 - 70 kg. Recipientes de 1 a 5 toneladas.
Cal clorada CaO ₂ CaCl ₂ O 3H ₂ O	Cal clorada, polvo blanqueador, hipoclorito de cal, cloruro de cal.	Polvo blanco seco	15 – 35%	Media, se deteriora rápidamente cuando se expone a temperatura alta, humedad y/o luz solar; pérdida de 1% al mes.	Corrosivo	Latas de 1.5kg, bolsas plásticas o de papel de 25 – 40kg, etc.
Hipoclorito de sodio NaClO	Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido, lejía, agua lavandina, agua sanitaria	Solución líquida amarillenta	1 – 15% máx. Concentraciones mayores a 10% son inestables	Baja, pérdida de 2 – 4% por mes; mayor si la temperatura excede a los 30°C.	Corrosivo	Diversos tamaños de botellas de plástico y vidrio.
Hipoclorito de calcio CaClO ₂ 4H ₂ O	Hipoclorito de sodio por electrólisis in situ HTH, perclorón	Solución líquida amarillenta Polvo, gránulos y tabletas, sólido blanco	0.1 – 0.6% Polvo: 20 – 30%. Granulado y tabletas: 65-70%	Baja Buena. Pérdida de 2 a 2.5% por año.	Oxidante Corrosivo	Cualquier volumen Latas de 1.5kg, baldes de plástico.

FUENTE: Christman, K. 1998 – CEPIS

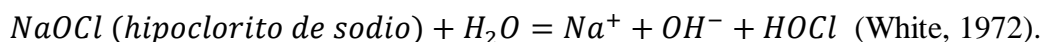
Mecanismos de la desinfección con cloro

La cloración del agua potable se lleva a cabo mediante el burbujeo del cloro gaseoso o mediante la disolución de los compuestos de cloro y su posterior dosificación. El cloro en cualquiera de sus formas, se hidroliza al entrar en contacto con el agua, y forma ácido hipocloroso (HOCl) de la siguiente forma:

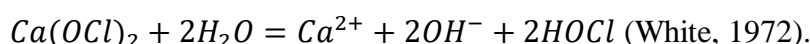
En el caso del cloro gaseoso, la reacción que tiene lugar es:



En el caso del hipoclorito de sodio, la reacción que tiene lugar es:



En el caso del hipoclorito de calcio y la porción activa de la cal clorada, la reacción es:



Durante el proceso químico de la desinfección se producen compuestos tales como cloraminas, dicloraminas y tricloraminas en presencia de amoníaco en el agua. Las cloraminas sirven igualmente como desinfectantes, aunque reaccionen de una manera sumamente lenta. Asimismo, se forman el ácido clorhídrico (HCl) y los hidróxidos de calcio y sodio, los cuales no participan en el proceso de desinfección (White, 1972).

La especie desinfectante es el ácido hipocloroso (HOCl), el cual se disocia en iones hidrógenos (H^+) e hipoclorito (OCl^-) y adquiere sus propiedades oxidantes:



Ambas fracciones de la especie son microbicidas y actúan inhibiendo la actividad enzimática de las bacterias y virus y produciendo su inactivación. Tanto el ácido hipocloroso (HOCl) como el ión hipoclorito (OCl^-) están presentes hasta cierto punto cuando el pH varía entre 6 y 9 (el rango usual para el agua natural y potable). Cuando el valor de pH del agua clorada es 7.5 el 50% de la concentración de cloro presente será ácido hipocloroso no disociado y el otro 50% será ión hipoclorito. (White, 1972).

La eficiencia de HOCl es por lo menos 80 veces mayor que la del OCl^- , por esta razón, cuando se monitorea el cloro del agua, es aconsejable vigilar el pH, ya que esto dará una idea del potencial real bactericida de los desinfectantes presentes. En tal sentido, es importante mencionar que la OMS recomienda para una desinfección sea adecuada el agua debe tener un $\text{pH} < 8$; la turbiedad es otro factor de peso en la desinfección, ya que una excesiva turbiedad reducirá la efectividad por absorción del cloro y, por otro

lado, protegería a las bacterias y virus de su efecto oxidante. Por tal, la OMS recomienda una turbiedad menor de 5 UNT, siendo lo ideal menos de 1 UNT (Góngora, 1983).

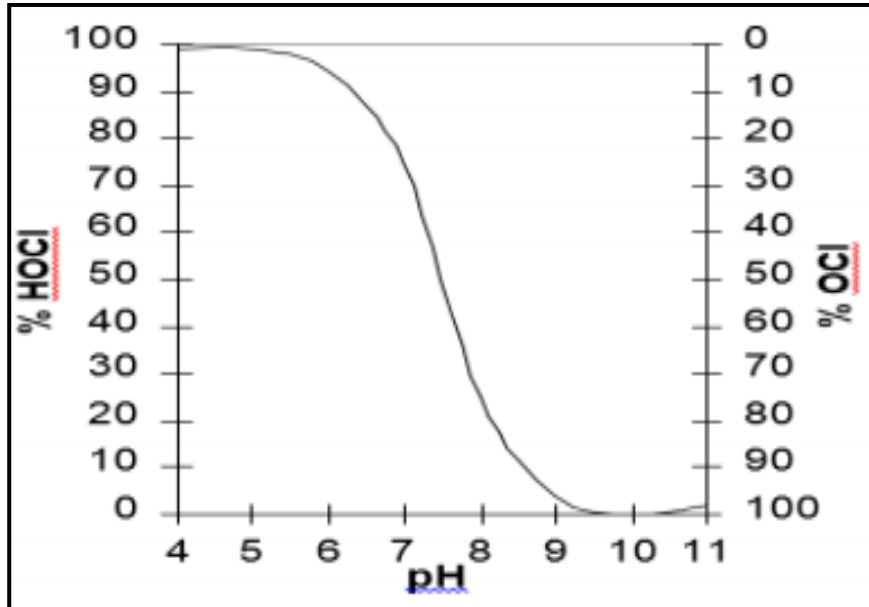


Figura 1. Comportamiento del ácido hipocloroso respecto al pH. Góngora – 1983

Tabla 3

Clasificación de equipos para desinfección más usados

CLASIFICACIÓN	EQUIPO DOSIFICADOR	PRODUCTO	RANGO DE SERVICIO (Habitantes)
Cloro gaseoso	A presión (directo)	Gas cloro	5 000 habitantes
	Al vacío (Venturi o eyector)		
Solución	Bajo presión atmosférica, de carga constante		
	Tanque con válvula de flotador.	Hipoclorito de sodio o calcio	< 20 000
	Tubo con orificio en flotador		
	Bajo presión positiva o negativa		
Sistema vaso/botella	Bomba de diafragma (positiva)	2 000 – 300 000	
	Dosificador por succión (negativa)		
Sólido	Generador de hipoclorito de sodio in situ		< 5 000 habitantes
	Dosificador de erosión	Hipoclorito calcio	[2 000 – 50 000] < 2 000

FUENTE: Rojas y Guevara, 1999

Tabla 4

Resistencia de materiales al cloro

FORMAS DEL CLORO	ACERO MACIZO	ACERO INOXIDABLE	COBRE	PVC	TEFLÓN (PTFE)
Cloro gaseoso seco	Buena hasta 120 ° C	Buena hasta 150 °C	Buena hasta 200 °C	Buena hasta 40 °C	Buena hasta 200 °C
Cloro gaseoso húmedo	Nula	Nula	Nula	Buena hasta 40 °C	Buena hasta 200 °C
Cloro líquido	Buena	Buena	Buena	Nula	Aceptable

FUENTE: Rojas y Guevara, 1999

Para tratar pequeños caudales (típicos de medianas y pequeñas comunidades) se utilizan equipos que funcionan por medio de la erosión de tabletas o que suministran directamente el hipoclorito de calcio sólido en forma de píldoras. A su vez menciona que la concentración de cloro activo en estas presentaciones es entre 65% y 70%, a comparación del hipoclorito de calcio en polvo que solo alcanza 33%, los que se pueden obtener en el mercado bajo diferentes marcas. (Pérez, et al. 2018).

Dosificador por erosión de tabletas y de píldoras trabajan bajo el sistema por erosión, lo cual significa que se utilizan tabletas de hipoclorito de calcio de alta concentración (HTH), las que se pueden obtener de distribuidores o pueden prepararse localmente comprimiendo mecánicamente polvo de hipoclorito de calcio. Este sistema ha encontrado un lugar importante en la desinfección de abastecimientos de agua para comunidades pequeñas y familiares. Los equipos son muy fáciles de manipular y mantener, además de ser baratos y duraderos. Las tabletas son más seguras que las soluciones de hipoclorito y el cloro gaseoso y son más fáciles de manejar y de almacenar (White, 1972).

Los dosificadores de erosión se disuelven gradualmente, en el caso de las tabletas de hipoclorito a una tasa predeterminada mientras fluye una corriente de agua alrededor de ellas. Este mecanismo proporciona la dosificación necesaria de cloro para desinfectar el agua. A medida que las tabletas se van diluyendo, se reemplazan con otras nuevas que caen por gravedad en la cámara, la solución de cloro concentrada alimenta un tanque o un reservorio, según sea el caso. (Pérez, et al. 2018).

Cloro residual

Es la concentración de cloro presente en el agua, tras la aplicación de la dosis considerada y transcurrido el tiempo de contacto necesario para realizar su acción oxidante, en el que se ha consumido parte del mismo. El cloro residual combinado es el cloro que se usa para la formación de las cloraminas, las cuales se producen cuando el amoníaco y el cloro reaccionan entre sí. Por ello se genera la cloración de ruptura, lo que significa que el cloro se encarga de la destrucción de las cloraminas. El cloro residual total es el resultado de la suma de cloro residual combinado y cloro libre residual. (DOSING PUMPS, 2012).

Tabla 5

Métodos de determinación de cloro

MÉTODOS PARA DETERMINAR EL CLORO RESIDUAL			
MÉTODO	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
YODOMÉTRICO	Usados para cuantificar cloro residual en concentraciones mayores de 1 mg/L, generalmente presenta interferencias en proporción de yoduro de potasio y iones hidrógeno agregados.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Facilidad de formular y manipular diversas reacciones (mediante pH, concentración y cálculo estequiométrico) que se ajusten más para una determinación volumétrica. ✓ Método fácil. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Requiere más pasos, reactivos y tiempo. ✓ Reacción lenta y se obtienen puntos finales prematuros. ✓ Preparación de solución valorada y calibración del material de vidrio.
AMPEROMÉTRICO	Mide el cambio en la corriente producida por las reacciones químicas que se toman en función a la concentración de un analito (cloro).	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mayor sensibilidad. ✓ Respuesta rápida. ✓ No necesita reactivos. ✓ No genera desechos. ✓ Permite cuantificar cloro libre, monocloraaminas, dicloroaminas, cloro libre y cloro total. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Interferencia debido al pH, presión, etc. ✓ Se necesita calibración.
TITULACIÓN CON DPD	El método colorimétrico DPD está basado en la reacción del dietil-p-fenileno-diamina (DPD) con halógenos activos, enfoque analítico estándar para analizar cloro residual, basándose en la formación de productos coloreados con DPD.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Exactitud. ✓ Fácil mantenimiento. ✓ Resultados independientes del cambio de pH, temperatura, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Genera desechos. ✓ Limpieza de la celda de muestra.
COLORIMÉTRICO	Se pueden adaptar con facilidad a equipos portátiles para hacer la determinación con comparación visual.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pueden ser manuales o automáticas. ✓ Riesgo de errores humanos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Las pruebas son más fiables.

FUENTE: OMEGA, PERÚ - 2019

La medición de cloro residual es un parámetro esencial de calidad de agua, el cual se puede medir haciendo uso del colorímetro de bolsillo DR300 y el reactivo DPD, para los sistemas de agua que usan cloro o monocloramina, nos indica que son la mejor forma de medir el cloro residual. Así mismo nos indica que el cloro es muy volátil, por lo que debe medirse en campo para evitar la contaminación de la muestra. A su vez, recalca que el colorímetro es una herramienta simple, portátil y sobre todo realiza mediciones precisas de cloro residual que cumplen con la EPA (Agencia de Protección Ambiental). (OMEGA PERÚ, 2019).

Nos indica que, para medir el cloro residual, solo se tienen que seguir 3 simples pasos mencionados a continuación:

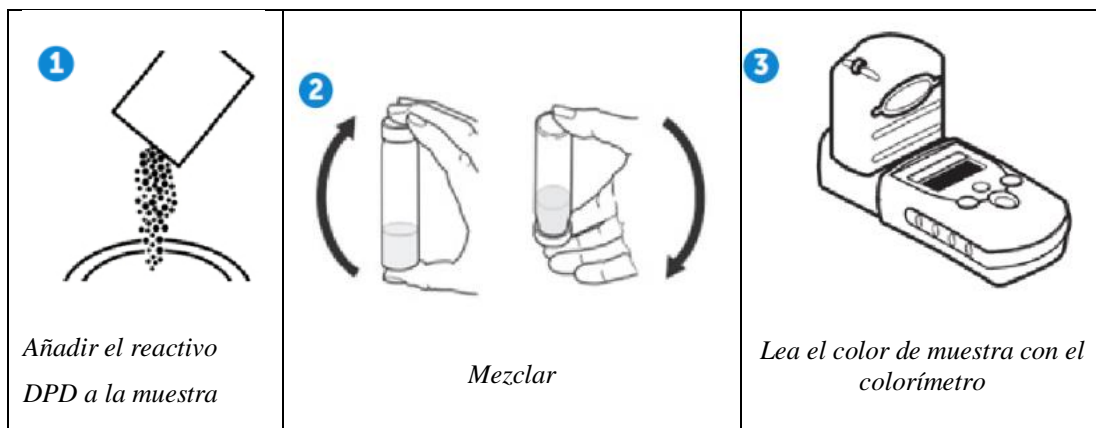


Figura 2. Pasos a seguir para la medición de cloro residual. OMEGA PERÚ, 2019.

Para garantizar resultados más exactos OMEGA PERÚ, (2019), nos dice que es necesario tener en cuenta, las siguientes recomendaciones en cada muestra:

- Elimine las pantallas, filtros, aireadores u otro adjunto de la toma de muestra, puesto que los organismos microbiológicos pueden acumularse en estos accesorios creando una demanda de cloro que no es representativa del sistema de distribución.
- Deje correr el agua fría durante al menos 5 minutos, ya que las fuentes de agua estancadas pueden no tener cloro residual, debido a la volatilización o se ha utilizado para desinfectar las colonias microbiológicas locales, por lo que el agua estancada no es representativa del sistema de distribución.
- Pre-trate la celda de muestra para eliminar cualquier demanda de dióxido de cloro, ya que la demanda de dióxido de cloro dará como resultado un resultado falso bajo.

- Muestree directamente en la celda de medición, ya que el muestreo directo en la celda de medición elimina errores, asegurando así datos más exactos y confiables.
- Enjuague la celda de muestra varias veces con la muestra que fluye, debido a que, al enjuagar la celda, se eliminan los residuos de muestras o estándares anteriores.
- Analice la muestra inmediatamente para evitar que el cloro se volatilice y asegurarse que los resultados sean representativos.
- Enjuague la celda con agua desionizada después de cada análisis, debido a que el enjuague de la célula elimina la muestra y los reactivos que puedan manchar la celda o interferir con futuras mediciones.
- Almacene los reactivos adecuadamente, ya que el reactivo DPD puede degradarse a altas temperaturas y humedad.

Cabe recalcar que la desinfección eficaz con cloro requiere un tiempo de contacto adecuado entre el cloro y los contaminantes microbianos. La concentración de cloro y el tiempo de contacto requerido para una desinfección adecuada están determinados por la temperatura y el pH del agua. El cloro es más efectivo a un pH más bajo, así como también a temperaturas más altas. El agua de bajo pH / alta temperatura se desinfectará más rápido con menos cloro que el agua de alto pH / baja temperatura. (Pérez, et al. 2018).

Los métodos más utilizados para medir el cloro residual, son:

- ✓ Clorómetros: Test rápido colorimétrico cuantitativo. Con patrones estables entre 0 y 1 ppm de cloro residual. (OMS, 2004).
- ✓ Método de la ortotolidina: Test rápido de cloro mediante juegos de reactivos con escala de colores. Contenidos de cloro entre 0.1 y 1.5 ppm. (OMS, 2004).
- ✓ Método yodométrico: Ayuda en la determinación del contenido de cloro activo en concentraciones elevadas, superiores a 1 mg/L. (OMS, 2004).
- ✓ Determinación volumétrica mediante el reactivo N, N-dietil-p-fenilendiamonio, DPD: Adecuado para concentraciones de "cloro activo libre" entre 0.1 y 4 mg/l o ppm. En presencia de cloro, la DPD produce, entre 6.2 y 6.5 una coloración roja susceptible de valoración volumétrica. (OMS, 2004).

El mejor método para poder realizar un análisis de cloro residual es el denominado DPD (dietil-p-fenilendiamina), ya que es un método eficaz y sencillo, puesto que se

obtiene una reacción de coloración roja proporcional a la concentración de CRL (cloro residual libre), usando un pH = 6.2 - 6.5 y que puede valorarse teniendo en cuenta la tonalidad de dicha reacción. (Fustamante, 2017).

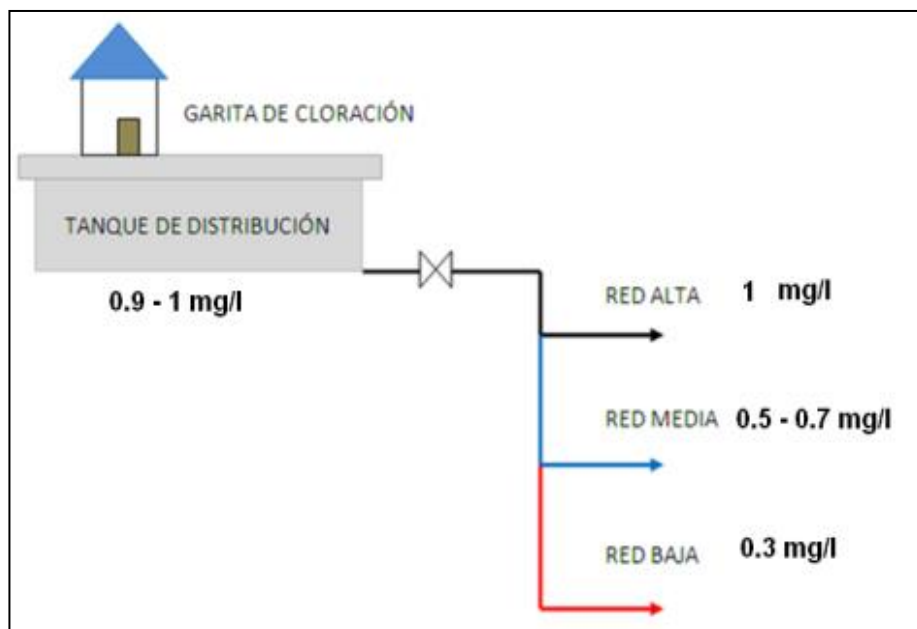


Figura 3. Valores de monitoreo de cloro residual óptimos en redes de distribución de agua potable. PRO AGUA, 2017.

Además de ello la OMS, indica que el cloro residual óptimo en un suministro pequeño y comunal de agua debe estar en el rango de 0.3 a 0.5 mg/L.

1.1.2.6. Definición de términos

Los considerados en esta investigación son:

- Manantial: Según la RAE un manantial es la corriente de agua que mana del suelo o de entre las rocas de forma natural.
- Multiparámetro: Es aquel que mide los parámetros más importantes en el análisis de la calidad del agua, midiendo simultáneamente el pH, conductividad, oxígeno disuelto, DBO y temperatura del agua. (Álvarez, 2014).
- Reservorio: Según la RAE, es un término que se utiliza para nombrar al depósito de agua potable o a la reserva de agua que se crea a través de una represa.

- Captación de agua: Un sistema de captación de agua es cualquier tipo de ingenio para la recolección y el almacenamiento de agua de lluvia, y cuya viabilidad técnica y económica depende de la pluviosidad de la zona de captación y del uso que se le dé al agua recogida. (Pérez, et al. 2018).
- Red de distribución: Una red de distribución de agua potable es el conjunto de instalaciones que la empresa de abastecimiento tiene para transportar desde el punto o puntos de captación y tratamiento hasta hacer llegar el suministro al cliente en unas condiciones que satisfagan sus necesidades. (Moliá, s.f).
- Precipitación: Es la caída de agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. La precipitación forma parte del ciclo del agua que mantiene el equilibrio y sustento de todos los ecosistemas. (RAE).
- Potencial de Hidrógeno (pH): Es la medida de la acidez del agua, y es expresada en una escala que va entre 1 y 14, donde el valor 1 indica condiciones de máxima acidez, y 14 indica condiciones de alcalinidad extrema. El intervalo de pH adecuado para tener una óptima calidad del recurso y así asegurar la proliferación y el desarrollo de la vida acuática es bastante estrecho dado que la mayoría de especies acuáticas prefieren un rango de pH en las aguas entre 6.5 y 8.0, fuera de este rango se reduce a la diversidad. (Fibras y Normas de Colombia, 2017).
- Reactivo N, N-dietil-p-fenilendiamonio (DPD): Es una mezcla sólida homogénea que se emplea para determinar la presencia de cloro libre o cloro total en aguas desinfectadas con insumos químicos clorados y se presenta en polvo, envasado en sachet de un material trilaminado que evita el contacto con la luz UV, la contaminación y la humedad. También se puede encontrar en forma de pastilla, su presentación es en blíster con empaque de aluminio y fácil adquisición. (Quijandría, 2011).
- Cloro (Cl_2): El cloro es un gas de color amarillo verdoso con un peso específico igual a 2.48 veces el peso específico del aire en condiciones normales de temperatura y presión. (Cooperación Alemana, 2017).
- Cloro libre: Es la cantidad de cloro disponible para la desinfección del agua. Queda como remanente después de reaccionar con los compuestos presentes en el agua y está disponible para eliminación de patógenos. (Cooperación Alemana, 2017).

- Cloro libre residual: El cloro libre residual es la concentración de cloro presente en el agua, tras la aplicación de la dosis considerada y transcurrido el tiempo de contacto necesario para realizar su acción oxidante, en el que se ha consumido parte del mismo. (Pérez, et al. 2018).
- Demanda de cloro: Se denomina así a la cantidad de cloro que al entrar en contacto con el agua se consume, reaccionando con las sustancias presentes en ella y en la eliminación e inactivación de los microorganismos. (Cooperación Alemana, 2017).
- Desinfección: Proceso físico o químico que mata o inactiva bacterias, virus y protozoos impidiendo el crecimiento de microorganismos patógenos que se encuentran en objetos inertes. (Cooperación Alemana, 2017).
- pH del agua: Es la medida de la concentración de los iones H^+ en el agua. Está relacionado al grado de acidez o basicidad que tiene el agua. (Cooperación Alemana, 2017).

1.1.2.7. Marco legal e institucional

En una publicación realizada por ECOFLUIDOS INGENIEROS nos dice que los lineamientos de políticas nacionales, regionales, locales y sectoriales relevantes para la determinación de calidad de aguas son: (ECOFLUIDOS, 2012)

- **Constitución Política del Perú (1993)**

La Constitución Política del Perú constituye, dentro del ordenamiento jurídico, la norma legal de mayor jerarquía e importancia dentro del Estado Peruano. En ella se resaltan los derechos fundamentales de la persona humana, como son el derecho de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida. (ECOFLUIDOS, 2012).

- **Ley General del Ambiente - Ley N° 28611**

Dentro de los artículos tenemos:

Artículo I: Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida; y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como

sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país. (Ley General del Ambiente, 2005).

Artículo V: Del principio de sostenibilidad: La gestión del ambiente y de sus componentes, así como el ejercicio y la protección de los derechos que establece la presente Ley, se sustentan en la integración equilibrada de los aspectos sociales, ambientales y económicos del desarrollo nacional, así como en la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones. (Ley General del Ambiente, 2005).

Artículo IX: Del principio de responsabilidad ambiental El causante de la degradación del ambiente y de sus componentes, sea una persona natural o jurídica, pública o privada, está obligado a adoptar inexcusablemente las medidas para su restauración, rehabilitación o reparación según corresponda o, cuando lo anterior no fuera posible, a compensar en términos ambientales los daños generados, sin perjuicio de otras responsabilidades administrativas, civiles o penales a que hubiera lugar. (Ley General del Ambiente, 2005).

- **Ley de Recursos Hídricos - Ley N° 29338**

Esta Ley establece que las aguas, sin excepción alguna, son de propiedad de la Nación, y su dominio es inalienable e imprescriptible. No hay propiedad privada de las aguas ni derechos adquiridos sobre ellas. El uso justificado y racional del agua, sólo puede ser otorgado en armonía con el interés social y el desarrollo del país. Según el Artículo 83, está prohibido verter sustancias contaminantes y residuos de cualquier tipo en el agua y en los bienes asociados a ésta, que representen riesgos significativos según los criterios de toxicidad, persistencia o bioacumulación. (ECOFLUIDOS, 2012).

- **Ministerio de Salud**

Todos los países que establecen este tipo de normas nacionales utilizan como parámetro principal de comparación las Guías de la OMS para la Calidad del Agua Potable.

La provincia de San Pablo se encuentra dentro de los quintiles de pobreza I y II, según lo indica el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). A su vez se manifiesta que en el distrito de San Bernardino hay niveles elevados de desnutrición crónica infantil (34.3%), anemia y parasitosis (65.7%), indicado en el estudio de preinversión del servicio de agua potable y alcantarillado, elaborado por la Municipalidad Distrital de San Bernardino. La causa principal de las enfermedades mencionadas anteriormente es el agua de consumo humano, la cual en algunos puntos de monitoreo como en la red de distribución de las viviendas no llegan con la concentración de cloro residual recomendado por la OMS y por el D.S. N° 031-2010-SA. y en consecuencia se ven afectadas alrededor de 125 habitantes (25 familias), poniendo en riesgo a la población más vulnerable como son los del grupo etario de niños menores de 5 años. Las características físicoquímicas del agua para consumo humano, depende de las características geoquímicas del suelo por donde recorre el agua subterránea, llegando algunos casos a generar problemas naturales de contaminación, las cuales cambian las características básicas del agua tales como: pH, conductividad, sólidos totales, y otros que pueden ser perjudiciales para la salud de la población, permitiendo no llevar cabo una adecuada desinfección del agua destinado para consumo humano, acarreado así la presencia de coliformes en este elemento vital, despertando cuadros epidemiológicos que pueden agravar la salud de la población a nivel físico y mental por algún contaminante que altere la calidad sanitaria del agua.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se desarrolló el presente trabajo de investigación para dar a conocer la realidad problemática del centro poblado La Palma, enfocándonos en los parámetros básicos de campo para posteriormente dar a conocer a las instituciones involucradas en el tema y así poder ayudar a mejorar la realidad del centro poblado La Palma, Distrito de San Bernardino.

1.2. Formulación del problema

¿Cumplirá con la concentración de cloro residual establecida en el D.S. N° 031-2010-SA el agua de consumo humano del centro poblado La Palma, distrito San Bernardino 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la concentración de cloro residual en agua para consumo humano en el centro poblado la Palma, distrito San Bernardino 2019.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar mediciones de parámetros de campo obligatorios (temperatura, pH, conductividad, sólidos totales disueltos y turbiedad), para verificar si el agua de consumo humano del centro poblado La Palma cumple con la calidad sanitaria para poder clorar de acuerdo a los límites máximos permisibles dictaminados por el D.S. N° 031-2010-SA.
- Medir la concentración de cloro residual en el punto de salida del reservorio del centro poblado La Palma que abastece agua para consumo humano.
- Medir la concentración de cloro residual presente en el agua para consumo humano en la red de distribución de las viviendas abastecidas por el reservorio de La Palma.
- Comparar los resultados de lecturas de cloro residual para verificar si cumple con lo recomendado en los límites máximos permisibles, establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La concentración de cloro residual en agua de consumo humano del centro poblado La Palma, distrito San Bernardino 2019 no sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Los parámetros de campo obligatorios (temperatura, pH, conductividad, sólidos totales disueltos y turbiedad), medidos en agua de consumo humano en el centro poblado La Palma están dentro de los LMP dictaminados por el D.S. N° 031-2010-SA.
- La concentración de cloro residual en el punto de salida del reservorio del centro poblado La Palma que abastece agua para consumo humano, no sobrepasa los LMP establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.
- La concentración de cloro residual, presente en el agua para consumo humano en la red de distribución de las viviendas abastecidas por el reservorio de La Palma cumple con los LMP establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.
- Las lecturas de cloro residual tomadas en los puntos muestreados evidencian que la concentración de cloro residual en agua de consumo en el centro poblado La Palma no cumplen con los LMP establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

El trabajo de investigación se llevará a cabo en el centro poblado La Palma, distrito de San Bernardino, provincia de San Pablo, departamento de Cajamarca. Está ubicado a 1288 m.s.n.m. y situado en coordenadas UTM Zona 17M a 741277 E y 9207532 N.

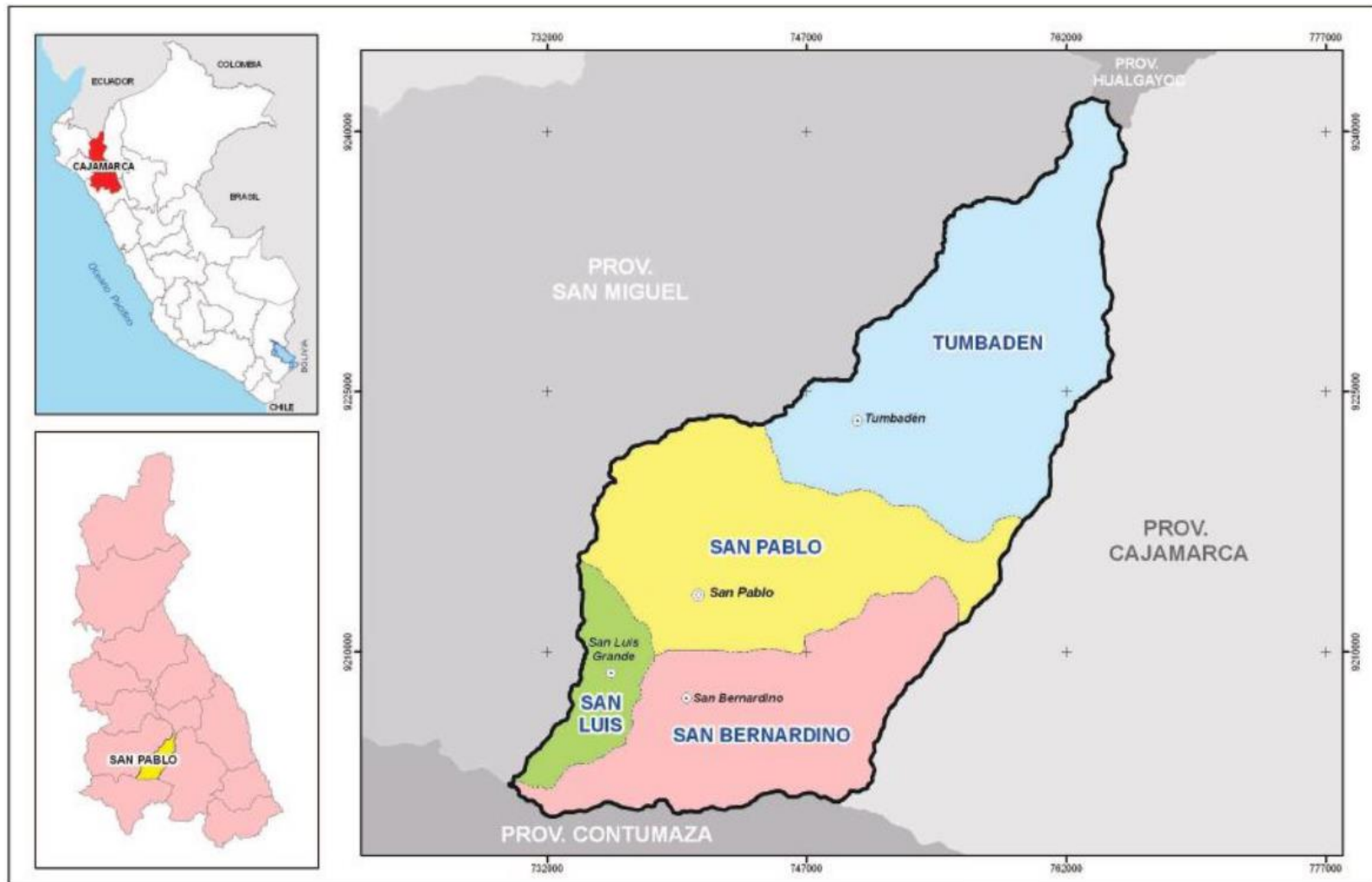


Figura 4. Delimitación de la provincia de San Pablo - San Bernardino. Zonificación San Pablo, 2010.



Figura 5. Mapa Político de San Bernardino – La Palma. Municipalidad distrital San Bernardino, 2016.

2.2. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo no experimental, puesto que se basa principalmente en la observación, toma de muestras y obtención de resultados sin manipular las variables. Así mismo se utilizará el diseño transversal correlacional/causal, puesto que se obtendrá datos en un tiempo único y el método inductivo, ya que se obtendrá una conclusión de manera general en base a los resultados conseguidos. (Frías, 2009). A su vez se realizará un análisis estadístico con una confiabilidad del 95% y un nivel de significancia del 5%, de tipo multivariado, debido a que se obtendrán resultados de diferentes parámetros como pH, cloro residual, turbiedad, salinidad, sólidos totales disueltos y temperatura; los cuales serán comparados con los LMP establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA. (Carrasco, 2006).

2.3. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

- Población: 25 conexiones domiciliarias equivalente a 25 familias beneficiarias de agua potable en el centro poblado La Palma distrito de San Bernardino en el 2019.
- Muestra: 3 viviendas de la red de distribución de agua potable en el centro poblado La Palma, distrito de San Bernardino en el 2019, se seleccionaron 3 redes de distribución según lo estipula la RD N° 160–2015/DIGESA/SA.

Para la investigación se realizó una muestra aleatoria simple, ya que este tipo de muestra es representativa y ayuda a obtener datos más fiables. Para determinar la población muestral se aplicará la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 NPQ}{(N-1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 PQ} \quad (\text{Hines, 2008}).$$

Dando como resultado 22.96, lo que significa que se deben tener 23 datos como mínimo durante la investigación.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Materiales:

- Libreta de notas.

- Lapicero.
- Agua destilada.
- Guantes de látex esterilizados.
- Equipo de protección personal.
- 4 frascos de plástico de 500mL esterilizados
- Pizeta.
- Cooler.
- Protocolo de monitoreo de agua R.D. N° 160–2015/DIGESA/SA.
- Cadena de custodia.

Instrumentos:

- Cámara fotográfica.
- Multiparámetro de bolsillo PC60.
- GPS Garmín– Etrex 20.
- Kit para análisis de cloro residual.
- Laptop.

Reactivos e insumos químicos

- Tabletas DPD1 6999A para una muestra de 5mL.
- Tabletas Rojo de Fenol para pH 6915A.

2.5. Procedimiento

Tabla 6

Técnica e instrumento de recolección de datos

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	Observación
TOMA DE MUESTRAS	Protocolo de monitoreo de agua de la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria (DIGESA).

Determinación de la concentración de cloro residual

La prueba más común es el indicador de DPD (dietil-para-fenil-diamina) mediante un kit de comparación. Esta prueba es el método más rápido y sencillo para evaluar el cloro residual. En esta prueba, se añade una tableta de reactivo a una muestra de agua, que la tiñe de rojo y da un valor de concentración de cloro residual presente en el agua. El valor de cloro residual aceptable en el reservorio tiene que ser mayor o igual a 1 mg/L y en el caso de las redes de distribución de 0.5 – 0.8 mg/L. (D.S. N° 031-2010-SA). Para la recolección de datos se ha tenido por conveniente realizar el siguiente instrumento:

Tabla 7

Instrumento de recolección de datos

N° MUESTR A	PUNTOS DE MUESTREO Y HORA	FECH A	PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS						
			pH	T °	Conductivida d (μ S/cm)	Sólidos Totales Disuelto s (mg/L)	Salinida d (g/L)	Turbieda d (UNT)	Cloro (mg/L)
1	RESERVORIO 06:00 am								
2	PRIMERA RED DISTRIBUCIÓN N 06:15 am								
3	INTERMEDIO 06:45 am								
4	ÚLTIMA RED DISTRIBUCIÓN N 07:10 am								
	PROMEDIO MEDIANA MODA VARIANZA DESVIACIÓN ESTÁNDAR COEFICIENTE DE VARIACIÓN								
	D.S. N° 031-2010 MINS		6.5	-	1500	1000	0.5	5	0.5
			-						
			8.5						

Para esta investigación se ha creído por conveniente realizar análisis en los meses de septiembre, octubre y noviembre, del 2019; con el propósito de medir las concentraciones

de cloro residual establecidas en el D.S. N° 031-2010-SA. Cabe mencionar que los resultados que se obtengan serán brindados a las autoridades del centro poblado La Palma y a su vez se presentarán algunas recomendaciones acerca del método de cloración que realizan. Actualmente en el centro poblado La Palma se utiliza el método de cloración por goteo, el cual es fácil de mantener y operar. La función del sistema consiste en el número de gotas que deben caer por minuto en el interior del reservorio, para lo cual se realizó el conteo llegando a registrar 345gotas/min. en un caudal constante de 0.476 L/s. La concentración, el caudal de goteo y el periodo de recarga del tanque dependen de la cantidad de agua que consume la comunidad, en el caso del centro poblado La Palma, el periodo de recarga del tanque se realiza en promedio cada 15 días. Además de ello contiene un flotador, constituido solamente de tubos y accesorios de PVC de $\Phi 3/4"$ que colocado dentro del tanque dosador en la superficie de la solución clorada, capta esta solución a través de un pequeño orificio (de $\Phi 1,5\text{mm}$ a $\Phi 2\text{mm}$) sumergido algunos centímetros debajo del nivel del agua en un tubo de PVC (principio de orificio de carga constante). Al penetrar en el orificio, la solución clorada fluye dentro de una manguera de plástico flexible que conduce la solución hasta la salida del tanque y en secuencia gotea en el reservorio de almacenamiento del agua potable. (Etienne, 2014).

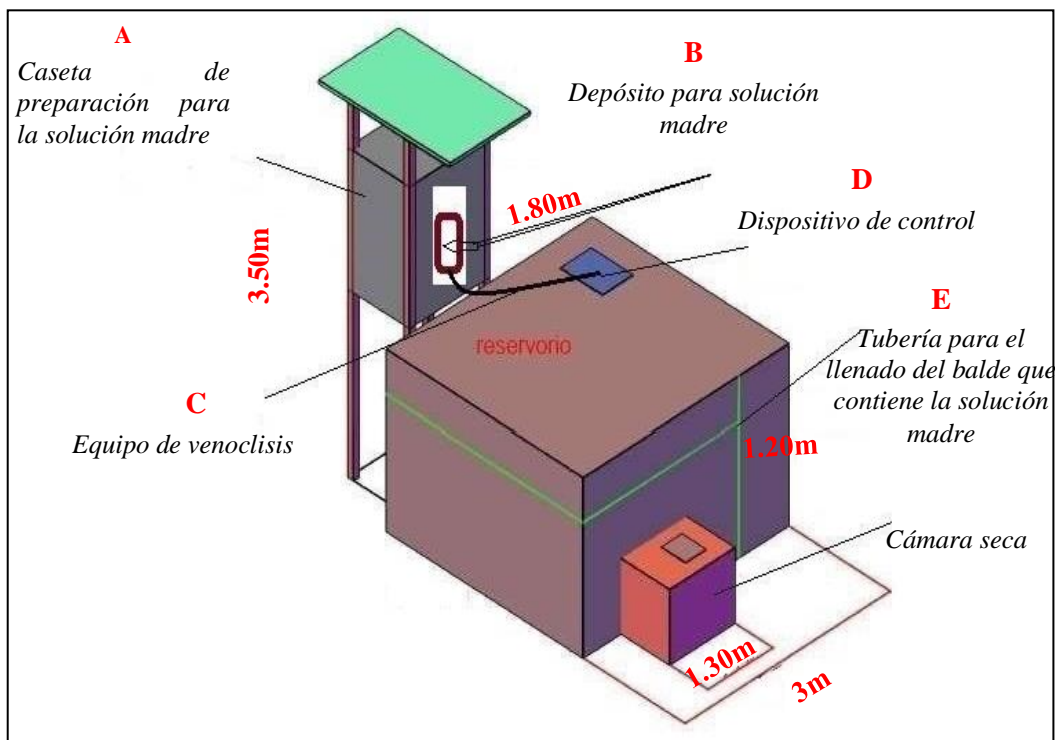


Figura 6. Sistema de cloración La Palma. Municipalidad distrital San Bernardino.

2.6. Análisis de datos

Para realizar el análisis de datos en este trabajo de investigación, se realizaron comparaciones de los resultados obtenidos, a su vez se infirió el porqué de los mismos. Para este tipo de estudios, correspondió hacer uso de la estadística descriptiva e inferencial, puesto que en la investigación se aplicó técnicas de recolección de datos y resumen de los mismos. Debido a ello en nuestra investigación se tuvo por conveniente realizar las medidas de tendencia central: medias, medianas y modas. A su vez se hizo uso del software de Microsoft Office Excel 2013 para determinar la confiabilidad de los resultados obtenidos durante nuestra investigación. (García y Matus, 2014).

Las fórmulas de tendencia central a utilizar son:

PROMEDIO

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} \quad (\text{Hines, 2008}).$$

MEDIANA

$$\bar{X} = \frac{\sum f_i X_i}{n} \quad (\text{Hines, 2008}).$$

DESVIACIÓN ESTÁNDAR

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2} \quad (\text{Hines, 2008}).$$

VARIANZA

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2 \quad (\text{Hines, 2008}).$$

2.7. Procedimiento

Para el desarrollo de la investigación se tuvo en cuenta la siguiente metodología:

Primero: Caracterización del lugar de estudio, para ello tuvimos que identificar la zona haciendo uso de Google Earth 7.3 - 2019 y ArcGis 10.5 – 2019, para su delimitación.

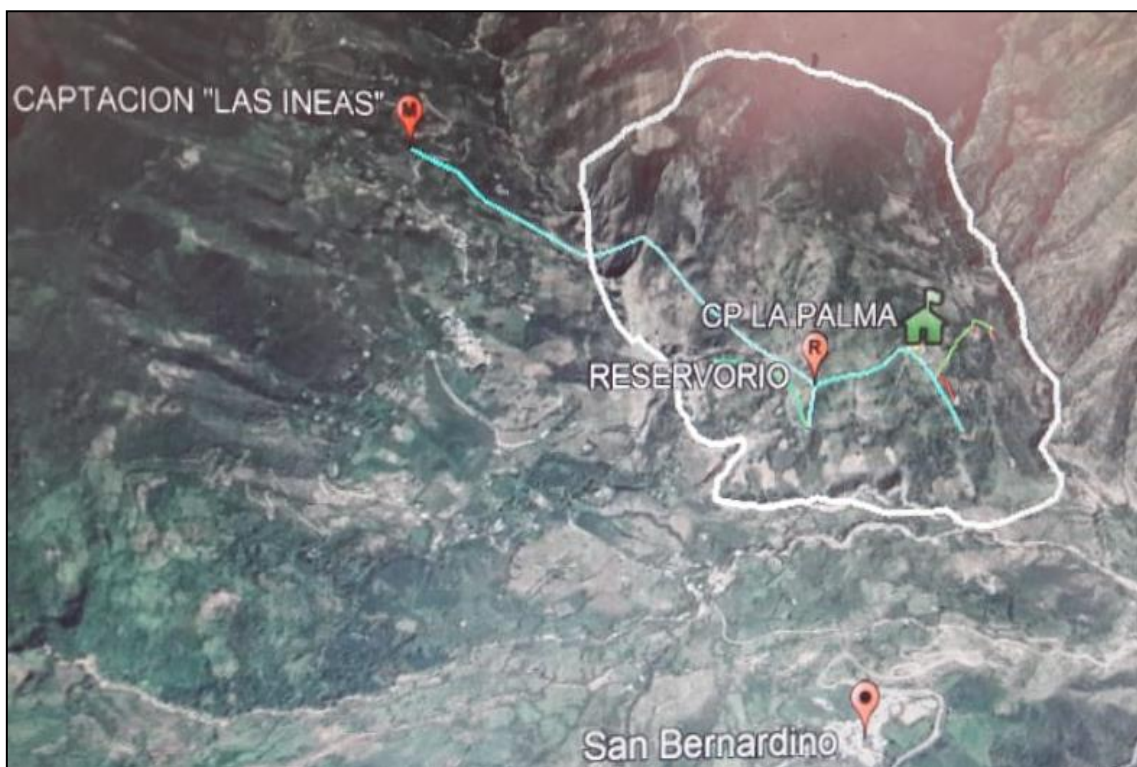


Figura 7. Georreferenciación de los puntos de muestreo del centro poblado La Palma – San Bernardino

Tabla 8

Ubicación del lugar de estudio

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	C.P
Cajamarca	San Pablo	San Bernardino	La Palma

Segundo: Caracterización del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano en el centro poblado La Palma – San Bernardino, el cual cuenta con 25 conexiones domiciliarias en el que se encuentran incluidos 2 centros educativos (inicial y primaria). El reservorio fue construido en el 2012 y tiene una capacidad de 12.6 m³.

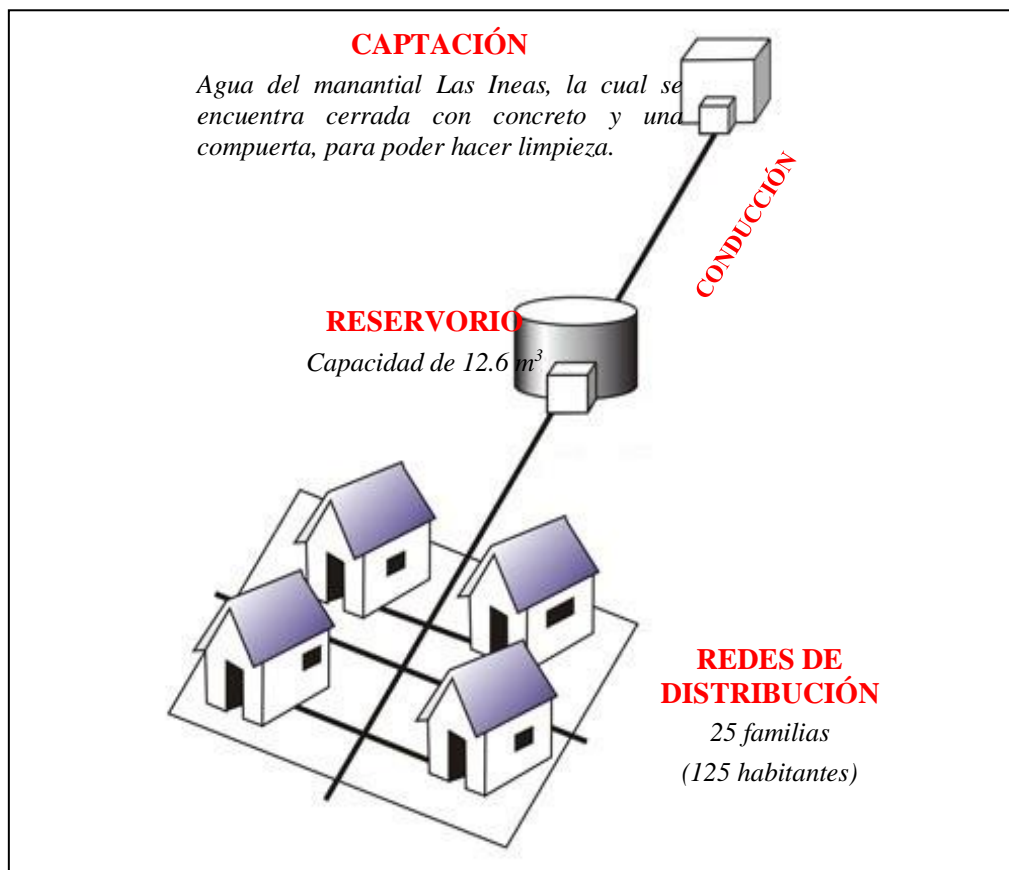


Figura 8. Sistema de agua potable del centro poblado La Palma – San Bernardino

Tercero: Identificación de puntos de muestreo, para ello se tomó como referencia al trabajo de investigación realizado por Anthony Landeo en el 2018, sobre la relación de los métodos por goteo y la eficiencia del cloro residual en la instalación de sistemas de cloración en zonas rurales; el cual nos menciona que para tener datos representativos el muestreo debe realizarse en el reservorio, primera, intermedia y última red de distribución respectivamente. (Landeo, 2018).

A su vez se realizó un muestreo simple, estipulado en la RD N° 160–2015/DIGESA/SA, es decir se tomaron las muestras de agua en los puntos establecidos anteriormente para luego ser analizados y finalmente ser comparados con los LMPs, establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.

Tabla 9

Toma de muestras

PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS	
P1. RESERVORIO	1°. Colocarse guantes de látex esterilizados.
P2. PRIMERA RED DE DISTRIBUCIÓN	2°. Para la toma de muestra de un grifo se limpia la boquilla del grifo, luego se deja correr el agua por 1 minuto, pasado ese tiempo se procede a la toma de muestra en un tubo de ensayo de 0.5mL, después se hace un análisis en campo, haciendo uso del multiparámetro PC60, para determinar el valor de pH, temperatura, conductividad, TDS y salinidad. (3 repeticiones).
P3. RED INTERMEDIA	3°. Para analizar la turbiedad, se procedió al recojo de agua del grifo en un frasco de plástico de 500mL en cada punto de muestreo (reservorio, red de distribución inicial, <ul style="list-style-type: none"> • pH. • Temperatura. • Conductividad. • Sólidos totales. • Salinidad. • Turbiedad intermedia y final) previo enjuague del depósito el que se realizó por tres veces para posteriormente realizar la toma de muestra, acto seguido se tapa el frasco (tapa y contratapa), se rotula y se procede a llenar los datos como: punto de muestreo, hora y fecha de muestreo, nombre de la persona que realizó la toma de muestras y tipo de análisis que se va a realizar y se deposita en el cooler, el cual debe contener hielo para preservar la muestra según lo menciona la R.D. N° 160–2015/DIGESA/SA.
P4. ÚLTIMA RED DE DISTRIBUCIÓN	4°. Se transportaron las muestras en un cooler al laboratorio de biología de la Universidad Privada del Norte, inmediatamente después de ser tomadas, para analizar la turbidez del agua. 5°. Para determinar la turbidez se utilizó el medidor portátil de turbidez TN400 calibrado, método nefelométrico, con una precisión de $\pm 1\%$.

Para la determinación del cloro residual presente en el agua de consumo humano del centro poblado de La Palma, distrito de San Bernardino, se tomaron en cuenta los siguientes pasos:

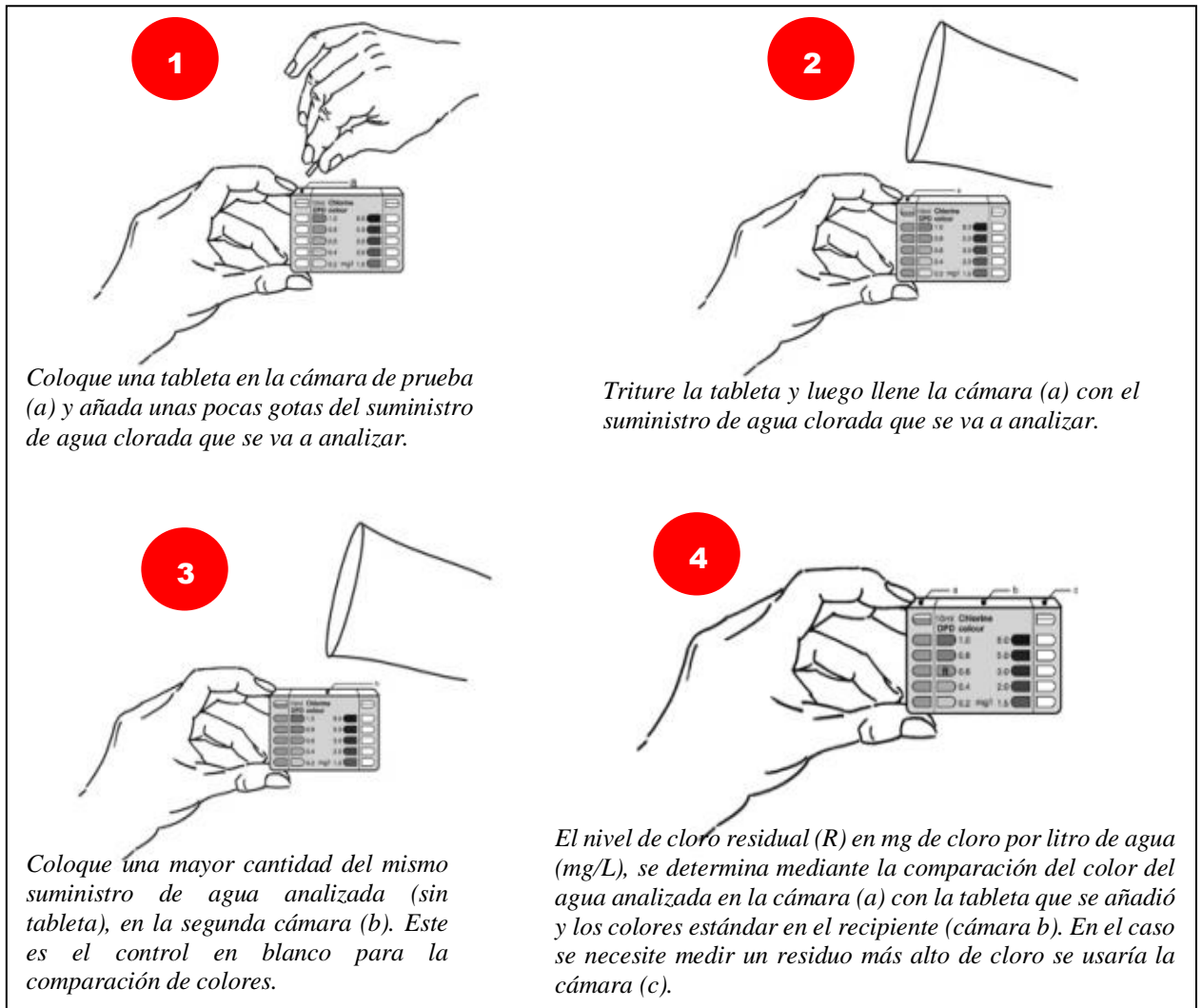


Figura 9. Caracterización de cloro residual en el agua. OMS, 2004.

Tabla 10

Distancia entre los puntos de muestreo

PUNTOS DE MUESTREO	DISTANCIA
P1 (Reservorio)	0m
P2 (Primera casa)	100m
P3 (Red intermedia)	400m
P4 (Última casa)	500m

Quinto: Comparación de los resultados obtenidos con los LMPs establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Tabla 11

Resultados de las muestras recolectadas en septiembre, octubre y noviembre del 2019

N° MUESTRA	PUNTOS DE MUESTREO Y HORA	FEC HA	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS						
			pH	T° (°C)	Conductividad (μS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Salinidad (g/L)	Turbiedad (UNT)	Cloro (mg/L)
1	RESERVORIO 06:00 am	01/09	7.39	29.7	88.4	64.2	0.05	3.4	1
		15/09	7.35	27	88.1	64	0.04	3	0.9
		01/10	7.38	28.3	88.3	64.5	0.04	3.5	1
		15/10	7.42	26	88.2	63	0.05	3	1
		01/11	7.31	29	88.4	64.5	0.04	3.5	1
		15/11	7.36	27.8	88.6	64.3	0.04	3.2	0.9
2	PRIMERA RED DISTRIBUCIÓN 06:15 am	01/09	7.35	29.5	85.8	64	0.04	3.2	1
		15/09	7.40	27.2	85	63.7	0.03	3	0.8
		01/10	7.34	28.5	85.6	64	0.05	3	0.9
		15/10	7.38	25.7	86.2	62.7	0.04	3.5	0.8
		01/11	7.33	28.6	86.4	64.2	0.04	3.2	0.9
3	INTERMEDIO 06:45 am	15/11	7.35	28.2	85.7	64	0.04	3	0.9
		01/09	8.2	28.4	83	58.3	0.04	2.6	0.5
		15/09	8.4	28.1	82.7	58.6	0.03	2.4	0.5
		01/10	7.9	28.7	83.4	58	0.04	2.8	0.5
		15/10	8.2	25	82.4	57.8	0.04	2.3	0.4
4	ÚLTIMA RED DISTRIBUCIÓN 07:10	01/11	8.4	28.4	83.2	58.2	0.05	3	0.5
		15/11	8.2	28.2	82.8	58.7	0.04	2.7	0.4
		01/09	8.5	26.2	81.7	55.3	0.03	1.7	0.2
		15/09	8.2	28.7	81.3	56.2	0.03	1.5	0.2
		01/10	7.9	29.6	79.8	55.5	0.04	1	0
		15/10	8.3	27.3	80	56.3	0.03	1.5	0.2
		01/11	7.8	28.9	82.2	55.7	0.03	0.5	0
		15/11	8.2	28.6	82.8	56.2	0.04	0.5	0
	PROMEDIO		7.773	27.983	84.583	60.496	0.04	2.542	0.604
	MEDIANA		7.61	28.35	84.2	60.7	0.04	3	0.65
	MODA		8.2	28.6	88.4	64	0.04	3	1
	VARIANZA		0.19834 4928	1.55014 4928	7.979710 145	13.2334 6014	0.00004 275	0.86166 6667	0.13085 1449
	DESVIACIÓN ESTÁNDAR		0.44535 9324	1.24504 8163	2.824838 074	3.63778 2311	0.00653 863	0.92826 0021	0.36173 3948
	COEFICIENTE DE VARIACIÓN		0.05729 568	0.04449 302	0.033397 23	0.06013 261	0.16694 363	0.36516 917	0.59889 727
	D.S. N° 031-2010 MINSA		6.5-8.5	-	1500	1000	0.5	5	0.5

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Análisis y discusión de resultados

Tabla 12

Datos obtenidos del pH

PARÁMETRO	FECHA	RESERV.	PRIMERA RED	INTERMEDIO	ÚLTIMA RED	LMP
pH	01/09/19	7.39	7.35	8.2	8.5	6.5 – 8.5
	15/09/19	7.35	7.40	8.4	8.2	
	01/10/19	7.38	7.34	7.9	7.9	
	15/10/19	7.42	7.38	8.2	8.3	
	01/11/19	7.31	7.33	8.4	7.8	
	15/11/19	7.36	7.35	8.2	8.2	

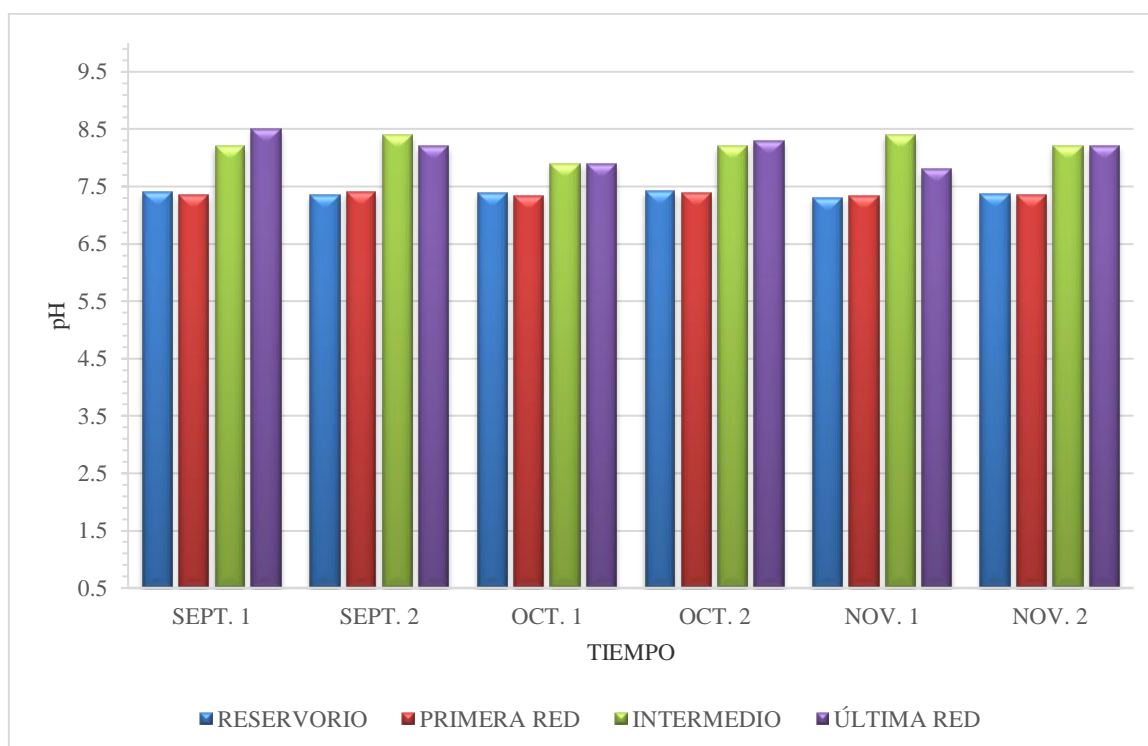


Figura 10. Resultados de pH en agua de consumo humano del centro poblado la Palma septiembre - noviembre, 2019.

Según el D.S. N° 031-2010-SA, nos indica que el pH en el agua de consumo humano debe estar en un rango mínimo de 6.5 y máximo 8.5. Como se aprecia en el gráfico durante la investigación se ha tenido un pH mínimo de 7.31 y el valor más elevado ha sido de 8.5, lo

cual indica que el pH se encuentra dentro de los LMP, por lo que se afirma que el agua del centro poblado La Palma puede ser potabilizada con desinfección simple para así ser apta para consumo humano.

Tabla 13

Datos obtenidos de conductividad

PARÁMETRO	FECHA	RESERV.	PRIMERA RED	INTERMEDIO	ÚLTIMA RED	LMP
Conductividad ($\mu S/cm$)	01/09/19	88.4	85.8	83	81.7	1500
	15/09/19	88.1	85	82.7	81.3	
	01/10/19	88.3	85.6	83.4	79.8	
	15/10/19	88.2	86.2	82.4	80	
	01/11/19	88.4	86.4	83.2	82.2	
	15/11/19	88.6	85.7	82.8	82.8	

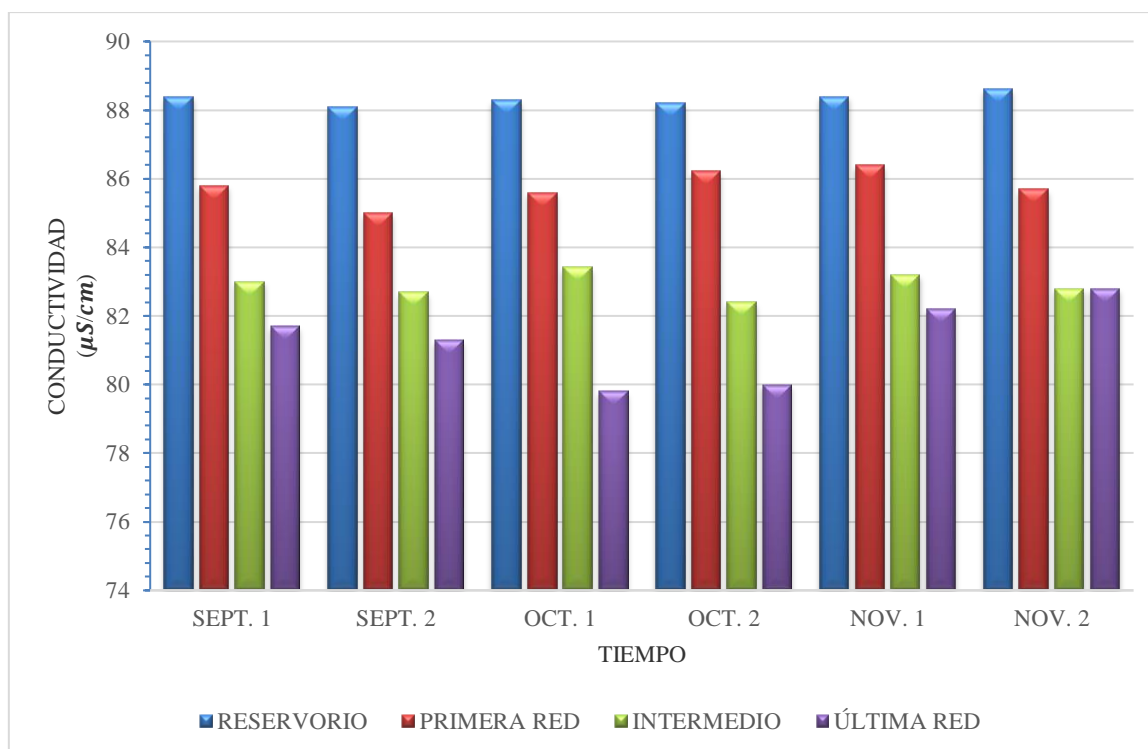


Figura 11. Resultados de conductividad en agua de consumo humano del centro poblado la Palma septiembre - noviembre, 2019.

Como se puede apreciar en el gráfico 2, el valor mínimo obtenido fue de 79.8 $\mu S/cm$ y un valor máximo de 88.6 $\mu S/cm$ respecto a la conductividad, lo cual significa que el recurso hídrico está dentro de los LMP establecidos por el MINSA, los cuales indican que para que el agua sea apta para consumo humano, esta no debe sobrepasar los 1500 $\mu S/cm$, tal como sucede en este caso. La conductividad está estrechamente relacionada con la presencia de sales en etapa de solución, con capacidad de transmitir o conducir calor. (Gallardo, 2009).

Tabla 14

Datos obtenidos de TDS

PARÁMETRO	FECHA	RESERV.	PRIMERA RED	INTERMEDIO	ÚLTIMA RED	LMP
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	01/09/19	64.2	64	58.3	55.3	1000
	15/09/19	64	63.7	58.6	56.2	
	01/10/19	64.5	64	58	55.5	
	15/10/19	63	62.7	57.8	56.3	
	01/11/19	64.5	64.2	58.2	55.7	
	15/11/19	64.3	64	58.7	56.2	

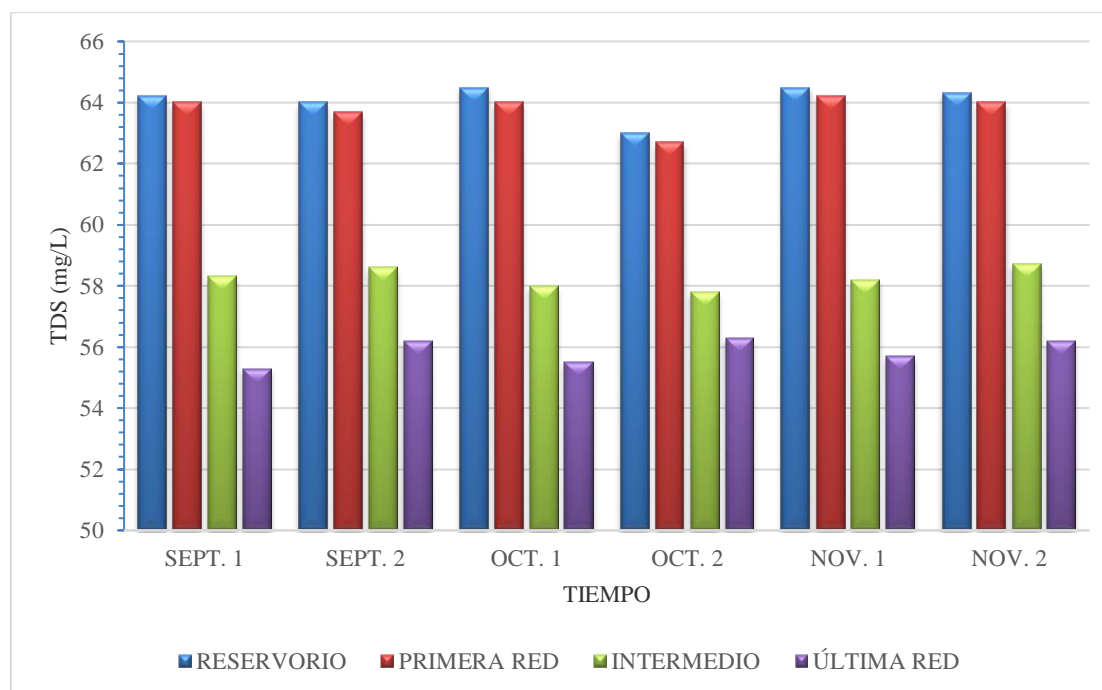


Figura 12: Resultados de TDS en agua de consumo humano del centro poblado la Palma septiembre - noviembre, 2019.

El MINSA en el D.S. N° 031 – 2010, indica que en el agua de consumo humano los TDS no deben sobrepasar los 1000 mg/L; y como se puede apreciar en el gráfico 3 los resultados obtenidos durante la investigación fueron el mínimo de 55.3 mg/L y el valor máximo obtenido fue de 64.5 mg/L, lo cual indica que los TDS están directamente relacionados con la conductividad, es decir si en el agua hay presencia de sólidos totales disueltos hay presencia de conductividad en el líquido elemento. (Gallardo, 2009). A su vez cabe indicar que los valores obtenidos de este parámetro se encuentran dentro de los LMP, por lo que se puede asegurar que este líquido elemento del centro poblado La Palma, es apta para consumo humano y no representa ningún riesgo para la población que la consume.

Tabla 15

Datos obtenidos de salinidad

PARÁMETRO	FECHA	RESERV.	PRIMERA RED	INTERMEDIO	ÚLTIMA RED	LMP
Salinidad ($\mu S/cm$)	01/09/19	0.05	0.04	0.04	0.03	0.5
	15/09/19	0.04	0.03	0.03	0.03	
	01/10/19	0.04	0.05	0.04	0.04	
	15/10/19	0.05	0.04	0.04	0.03	
	01/11/19	0.04	0.04	0.05	0.03	
	15/11/19	0.04	0.04	0.04	0.04	

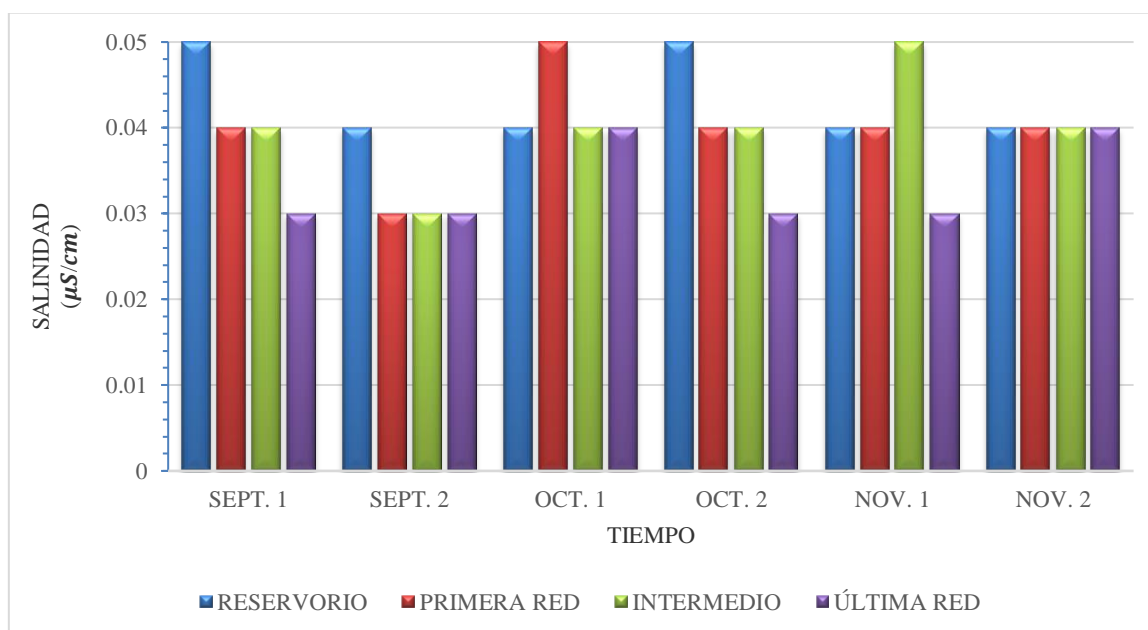


Figura 13: Resultados de salinidad en agua de consumo humano del centro poblado la Palma septiembre - noviembre, 2019.

Los datos obtenidos acerca de salinidad fueron de 0.03 – 0.05, lo cual significa que los valores medidos fueron mínimos respecto al LMP que es de 0.5 mg/L, establecido por la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria - DIGESA, lo cual significa que el agua es apta para consumo humano, a su vez hace que el sabor del agua sea aceptable por la población que la consume.

Tabla 16

Datos obtenidos de turbiedad

PARÁMETRO	FECHA	RESERV.	PRIMERA RED	INTERMEDIO	ÚLTIMA RED	LMP
Turbiedad ($\mu S/cm$)	01/09/19	3.4	3.2	2.6	1.7	5
	15/09/19	3	3	2.4	1.5	
	01/10/19	3.5	3	2.8	1	
	15/10/19	3	3.5	2.3	1.5	
	01/11/19	3.5	3.2	3	0.5	
	15/11/19	3.2	3	2.7	0.5	

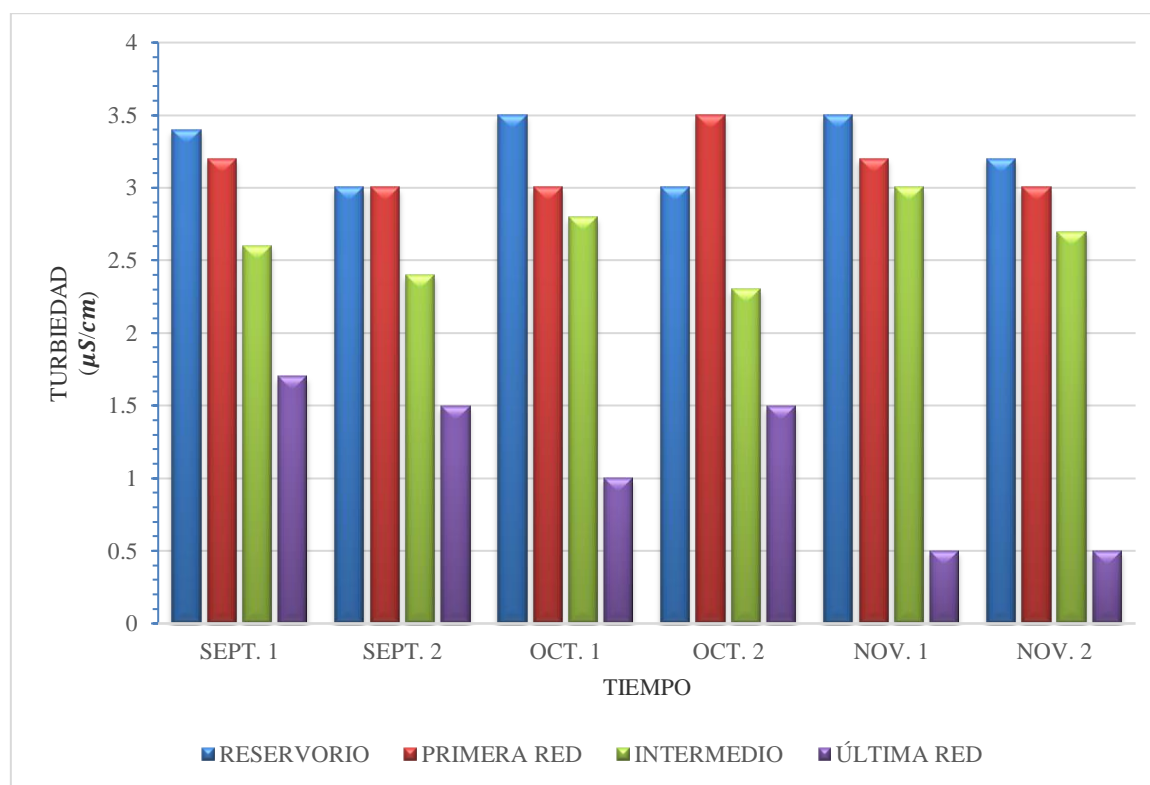


Figura 14: Resultados de turbiedad en agua de consumo humano del centro poblado la Palma septiembre - noviembre, 2019.

La turbiedad es uno de los parámetros que determinan la calidad del agua para consumo humano, por lo que se menciona que la turbiedad en el agua de consumo humano tiene que ser menor a 5 UNT (OMS, 2010). Según los resultados obtenidos en la investigación, podemos decir que el agua del centro poblado La Palma si es apta para consumo humano, ya que presenta una turbiedad máxima de 3.5 UNT, valor inferior a 5 UNT que es el LMP establecido en el D.S. N° 031-2010-SA.

Tabla 17

Datos obtenidos de cloro

PARÁMETRO	FECHA	RESERV.	PRIMERA RED	INTERMEDIO	ÚLTIMA RED	LMP
Cloro (mg/L)	01/09/19	1	1	0.5	0.2	
	15/09/19	0.9	0.8	0.5	0.2	
	01/10/19	1	0.9	0.5	0	0.5
	15/10/19	1	0.8	0.4	0.2	
	01/11/19	1	0.9	0.5	0	
	15/11/19	0.9	0.9	0.4	0	

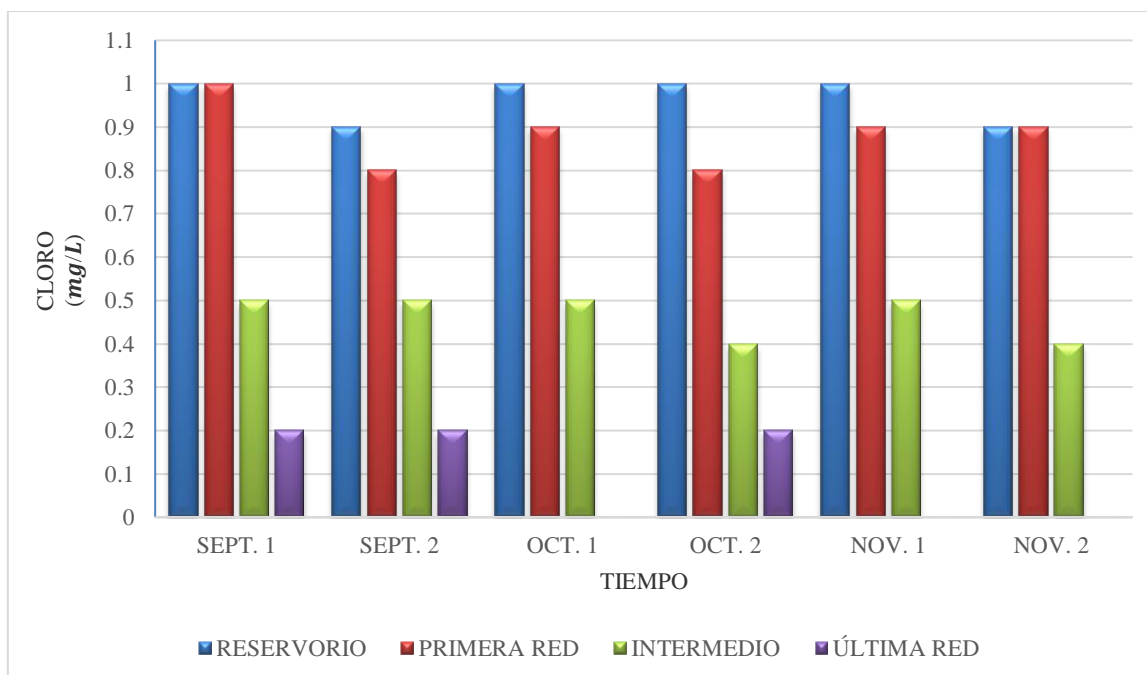


Figura 15: Resultados de cloro en agua de consumo humano del centro poblado la Palma septiembre - noviembre, 2019.

Como se puede apreciar en el gráfico los datos obtenidos durante la investigación muestran que en la última red de distribución los datos obtenidos fueron de 0 mg/L y 0.2 mg/L; valores que están por debajo de los LMP establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA, lo cual significa que el sistema de cloración por goteo no es eficiente al 100%; a su vez también podemos mencionar que el cloro residual es un buen indicador de calidad de agua durante la distribución, tal como lo indica Rodríguez, et al (1997), también menciona que si la cantidad de cloro encontrada en algún punto de muestreo es menor a 0.5 mg/L, significa que esta agua no es apta para consumo humano. A partir de los resultados obtenidos podemos concluir que hay deficiencia en el sistema de cloración por goteo del centro poblado La Palma, ya que como se aprecia en el gráfico en la red intermedia es mínima (0.4 mg/L – 0.5 mg/L), y en la última red de distribución es 0 mg/L y 0.2 mg/L.

Según el análisis realizado de los resultados obtenidos podemos decir que el agua de consumo humano del centro poblado La Palma cumple con los LMP de los parámetros de pH, conductividad, sólidos totales disueltos, salinidad y turbiedad, tal como se aprecia en la tabla 12; por lo cual se concluye que el agua es apta para consumo humano, sin embargo no sucede lo mismo con la concentración de cloro presente en las redes de distribución, tal como se aprecia en la misma tabla, en la cual verificamos que en el 66.7% de los puntos muestreados los resultados están dentro de los LMP, mientras que en el 33.3% de los resultados restantes indican que el cloro residual está por debajo de los 0.5 mg/L, valor del parámetro establecido por el MINSA en el D.S. N° 031-2010-SA.

4.2 Conclusiones

- Se determinó que la concentración de cloro residual presente en el agua de consumo humano en el centro poblado la Palma oscila entre 0.9 – 1 mg/L en el reservorio; 0.8 – 0.9 mg/L en la primera red de distribución, 0.4 – 0.5 mg/L en la red intermedia y 0 – 0.2 mg/L en la última red de distribución, por lo cual se concluye que el sistema de cloración por goteo en el centro poblado La Palma es deficiente y para erradicar este problema es necesario realizar un seguimiento y mantenimiento constante del sistema de cloración por goteo, para así lograr una concentración óptima de cloro residual en la red de distribución de agua de consumo humano, según lo estipula el D.S. N° 031-2010-SA.

- Se realizó mediciones de parámetros de campo (temperatura, pH, conductividad, sólidos totales disueltos y turbiedad), resultados mostrados en la tabla 12, en donde se aprecia que los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA, por lo cual podemos decir que el agua de consumo humano en el centro poblado La Palma cumple con los parámetros básicos exigido por el decreto supremo mencionado anteriormente.
- Las lecturas de cloro residual en el reservorio del centro poblado La Palma oscilan entre 0.1 – 1 mg/L, valores que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles estipulados en el D.S. N° 031-2010-SA.
- Se pudo determinar que en el 66.7% de los puntos muestreados correspondientes a la red de distribución del centro poblado La Palma, los niveles de cloro residual se encuentran dentro de los límites máximos permisibles recomendado en el D.S. N° 031-2010-SA; y en el 33.3% de muestras pertenecientes a la red de distribución intermedia del sistema de agua, las lecturas de la concentración de cloro residual estuvieron entre 0.0 y 0.4 mg/L, lo cual indica que, no existe cloro residual en la concentración mínima requerida en el D.S. N° 031-2010-SA., siendo una de las causas la baja concentración (1.0 mg/L) de cloro residual agregado al reservorio para la desinfección del agua.
- Las lecturas de concentración de cloro residual en el sistema de agua potable del centro poblado La Palma del Distrito de San Bernardino, Provincia de San Pablo indican que el recurso hídrico no cumple con las condiciones sanitarias indicadas en el D.S. N° 031-2010-S.A. para cloro residual siendo el mínimo de 0.5 mg/L.

REFERENCIAS

- Álvarez, R. (2014). Medición de muestras y uso de multiparámetro. Recuperado de: https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/INSTRUCTIVO_DE_USO_DEL_MULTIPARAM%20C3%88TRICO.pdf.
- Álvarez, X. *Influencia del crecimiento poblacional en el funcionamiento hidráulico de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Moyobamba*. San Martín - Perú, 2015.
- ANA (2009). *Ley de Recursos hídricos*. Recuperado de: <http://www.ana.gob.pe/publicaciones/ley-no-29338-ley-de-recursos-hidricos>.
- ANA (2016). Protocolo de monitoreo de calidad de agua. Recuperado de: <http://www.ana.gob.pe/media/361356/3%20protocolo%20nacional%20de%20monitoreo%20af.pdf>.
- Araujo, R. & Benito, H. (2017). *Nivel de contaminación microbiológica en agua de consumo humano en el sector Sequia Alta, Santa Bárbara, Huancavelica – 2017*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Huancavelica, Perú. [En línea]. Recuperado de: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1383>.
- Cáceres, O. (1990). *Desinfección del agua*. [En línea]. Recuperado de: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/321041/Desinfecci%C3%B3n_del_agua20190613-19707-1yucod8.pdf.
- Caicedo, M. (2014). *Propiedades físicoquímicas y microbiológicas del agua*. [En línea]. Recuperado de: <https://en.calameo.com/read/003173550a0059aaa5437>.
- Campoverde, J. (2015). Análisis del efecto toxicológico que provoca el consumo humano de agua no potable, mediante la determinación de cloro libre residual en aguas tratadas de las parroquias rurales del cantón Cuenca. (Tesis de Maestría). Universidad Estatal de Cuenca, Ecuador. [En línea]. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21794/1/TESIS.pdf>.

- Carbajal, A & Gonzáles, M (s.f). *Propiedades y funciones biológicas del agua*. [En línea]. Recuperado de: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>.
- Carrasco, S. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Editorial San Marcos, Lima; 2006.
- Castro, S. (2017). *Evaluación ambiental de la calidad de agua del sector a en el centro poblado Puyllucana, distrito Baños del Inca – Cajamarca*. (Tesis de Bachiller). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. [En línea]. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12575/Castro%20C%a1ce%20Stefany.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Cava, T. & Ramos, F. (2016). *Caracterización físico – química y microbiológica de agua para consumo humano de la localidad Las Juntas del distrito Pacora – Lambayeque, y propuesta de tratamiento*. (Tesis de titulación). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. [En línea]. Recuperado de: <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/850/BC-TEST-5266.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Constitución Política del Perú. Recuperado de: <http://www4.congreso.gob.pe/ntley/Imagenes/Constitu/Cons1993.pdf>.
- Cooperación Alemana. Implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (2017). *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural*. Miraflores, Perú.
- CRQ (2016). *Glosario de términos ambientales*. [En línea]. Recuperado de: <https://www.crq.gov.co/Documentos/GLOSARIO%20AMBIENTAL/GLOSARIO%20AMBIENTAL.pdf>.
- DIGESA (2010). *Reglamento de la calidad de agua para consumo humano*. [En línea]. Recuperado de: http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf.

DOSING PUMPS (2012). *Cloración de agua potable*. [En línea]. Recuperado de: https://www.itc.es/wp-content/uploads/article-Cloracion_agua_potable-ES.pdf.

ECOFLUIDOS INGENIEROS (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco*. Recuperado de: <http://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>.

Etienne, Y. (2014). *Sistema de cloración por goteo*. Recuperado de: http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos_Sica/Modulos/FTA/SECCION%20I%20V/4.14/457574979_Manual%20de%20instalaci%C3%B3n,%20operaci%C3%B3n%20y%20seguimiento.pdf.

Fernández, M.; Moreno, O.; Pérez, J. (2006). *Determinación de cloro residual. Método del DPD*. Recuperado de: <http://www.salud-publica.es/index.php?seccion=5&subseccion=5>.

Fibras y Normas de Colombia (2008). *Calidad del agua*. [En línea]. Recuperado de: <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/calidad-del-agua-definicion-factores-y-criterios/>.

Frías, D. (2009). *Técnica estadística y diseño de investigación*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/259923243_Tecnica_estadistica_y_diseno_de_investigacion_Valencia_Espana_Palmero_Ediciones_Technical_statistics_and_research_design.

Fustamante, N. Programa PROAGUA. (2017). *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural*. Fondo Perú-Alemania.

Galal, L. & Gorchev, H. (1996). *Guías de la OMS para la calidad del agua potable y evaluación de los riesgos para la salud vinculados con los desinfectantes y los SPD*. Trabajo presentado en la Publicación OPS/ILSI “La calidad del Agua potable en América Latina. Lima, Perú. [En línea]. Recuperado de: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3sp.pdf.

- García, F.F (2019). *Modelo de decaimiento de cloro libre en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Azogues, Ecuador*. (Tesis doctoral). Escuela de Post Grado, Programa de Doctorado. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. [En línea]. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3845>.
- García. H y Matus. J (2014). *Estadística descriptiva e inferencial*. Recuperado de: https://www.conevyt.org.mx/bachillerato/material_bachilleres/cb6/5sempdf/edin1/edin1_fl.pdf.
- Gaya, J. (2018). *Usos del agua*. [En línea]. Recuperado de: <https://www.iagua.es/blogs/joan-gaya-fuertes/usos-agua>.
- Góngora, J. (1983). *Sistemas de desinfección por medios hidráulicos para agua potable rural. Experiencia Colombiana*. Trabajo presentado en la Publicación CEPIS “Investigación sobre Desinfección de agua en abastecimientos rurales”. Colombia.
- González, P. (2018). *El agua*. [En línea]. Recuperado de: <https://www.iagua.es/blogs/pablo-gonzalez-cebrian/agua-ano-2020>.
- Hanna Instruments (2015). *La desinfección del agua mediante el uso de cloro*. Recuperado de: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/la-desinfeccion-del-agua-mediante-el-uso-de-cloro>.
- Hanna Instruments (2017). *Tipos de cloro*. Recuperado de: <https://www.hannainst.es/blog/1572/Sabias-que-existen-diferentes-tipos-de-cloro>.
- Hines, W. (2008). *Probabilidad y estadística para ingeniería*. Recuperado de: <http://sbiblio.uandina.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-authoritiesdetail.pl?authid=27554>.
- INEI (2018). *Mapa de pobreza monetaria provincial y distrital 2018*. Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1718/Libro.pdf.
- Landeo, A. (2018). *Relación de los métodos por goteo y la eficiencia del cloro residual en la instalación de sistemas de cloración en zonas rurales del distrito de Pucará*

departamento de Huancavelica. (Tesis de Titulación). Recuperado de: http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/3632/T033_72691555_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Lozada, N (2017). *Contaminación hídrica y pérdida de calidad del agua.* Recuperado de: https://geoinnova.org/blog-territorio/contaminacion-hidrica-y-perdida-de-calidad-delagua/?gclid=Cj0KCQjwtLT1BRD9ARIsAMH3BtXldaKigoIOgibtQ9tPJtkWWopDIa7agI8GR0fDm8eK-2Y5AecId84aAnAFEALw_wcB.

Maestu, J. (2015). *Agua y desarrollo sostenible.* Recuperado de: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/WM_IIIESP.pdf.

Marchand, E. O. (2002). *Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Lima Metropolitana.* (Tesis de Titulación). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. [En línea]. Recuperado de: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/Tesis/Basic/Marchand_P_E/tesis_completo.pdf.

MINAM (2005). *Ley General del Ambiente – Ley N° 28611.* Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>.

MINAM (2017). *Estándares de Calidad Ambiental para agua.* [En línea]. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>.

MINAM (2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.* Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>.

MINSA (2010). *Reglamento de calidad de agua para consumo humano.* Recuperado de: http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf.

Molía, R. (s.f). EOI. *Redes de distribución. Abastecimiento y saneamiento urbano*. Escuela de negocios. Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua. Recuperado de: <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/20098/redes-de-distribucion>.

Municipalidad Distrital San Bernardino (2016). *Creación del sistema de saneamiento básico en localidades rurales del distrito de San Bernardino*. San Pablo – Cajamarca.

Muñoz, R. (2019). *Eficiencia del sistema de cloración por goteo para el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano del caserío Cauchamayo – Celendín*. (Tesis de Titulación). [En línea]. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3564/tesis%20pata%20t%c3%adulo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Murillo, Y. (2015). *Control estadístico de la calidad del agua respecto al cloro residual y turbidez en la planta de tratamiento Seda, Juliaca 2015*. (Tesis de titulación). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. [En línea]. Recuperado de: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2378/Murillo_Cuevas_Yesica_Beatriz.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Normas APA (2016). *Diseño de investigación*. Recuperado de: <http://normasapa.net/elegir-diseno-de-investigacion/#comments>.

OMEGA PERU (2019). *Medir cloro residual en el campo – Parámetro esencial para la calidad del agua*. [En línea]. Recuperado de: <https://omegaperu.com.pe/como-medir-cloro-residual-en-el-campo-parametro-esencial-para-la-calidad-del-agua/>.

OMS (2004). *Medición del cloro residual en el agua*. [En línea]. Recuperado de: <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf>.

OMS (2006). *Guías para la calidad de agua potable*. [En línea]. Recuperado de: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf

ONU (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura de la gestión de los sistemas en situación de riesgo*. [En línea]. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i1688s.pdf>.

ONU (2015). *El agua fuente de vida*. Recuperado de: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>.

Organización Mundial de la Salud (2006). *Guías para la calidad de agua potable*. [En línea]. Recuperado de: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf.

Pérez, R. & Ramos, G. (2018). *Dosis de cloro y cloro residual libre en el sistema de agua potable del sector de Puyhúan Grande del distrito y provincia de Huancavelica – 2018*. (Tesis de Titulación). Universidad Nacional de Huancavelica, Perú. [En línea]. Recuperado de: http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2181/TESIS_2018_ING.AMB._PEREZ%20CHANCA%20Y%20RAMOS%20CASTELLANOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Petro, A. & Wess, T. (2014). *Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del Municipio de Turbaco – Bolívar, Caribe Colombiano*. (Tesis de Titulación). Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, Colombia. [En línea]. Recuperado de: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0067155.pdf>.

Programa PROAGUA. (2017). *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural. Perú*. [En línea]. Recuperado de: <https://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/Anexo%20T%C3%A9cnico%20del%20Programa%20PROAGUA%20Apartado%20APAUUR%202017.pdf>.

Quijandría, S. (2011). *Control de Calidad de Agua – Determinación de Cloro Residual con DPD*. R CHEMICAL S.A. (Lima – Perú). Recuperado de: <http://www.r-chemical.com/control-de-calidad-de-agua-determinacion-de-cloro-residual-con-dpd/>

RAE (2018). *Manantial*. Recuperado de: <http://dle.rae.es/?id=O7aXamT>

Reiff, F. (1998). *Guía para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe*. Documento OPS/OMS, Serie Técnica No. 30; 1995.

Resolución Ministerial (2016). *Resolución Ministerial 173-2016-VIVIENDA*. Recuperado de: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/22029/RM-173-2016-VIVIENDA.pdf>

Rodríguez, M. (2017). *Calidad del agua de los sistemas de abastecimiento de agua del área periurbano de la provincia de Leoncio Prado*. [En línea]. Recuperado de: https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/PPP-FINAL%20CD.pdf.

Rojas, R., Guevara, S. (1999). *Celdas electrolíticas para producción in situ de Hipoclorito de Sodio*. Publicación CEPIS/GTZ.

Saldaña, E. (2017). *Determinación de la calidad del agua para consumo humano en el distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc, región Cajamarca – 2017*. (Tesis de Titulación). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. [En línea]. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14209/Salda%20V%20a%20Edwin%20Jhon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Santacruz, S. & Terán, J. (2016). *Concentración microbiológica en el agua para consumo humano, de la comunidad campesina Yaminchad del distrito y provincia de San Pablo 2015*. (Tesis de titulación). Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo, Perú. [En línea]. Recuperado de: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/10894/santacruz_rs.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Solsona, F. & Méndez, J. (2002). *Desinfección del agua. OPS/CEPIS. Aspectos de planificación estratégica para poblaciones de bajo riesgo sanitario y ambiental, educación sanitaria y evaluación de proyectos*. Recuperado de: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SOLSONA%20y%20MÉNDEZ%202002.%20Desinfecci%C3%B3n%20del%20agua.pdf.

Vargas, C. (1996). *Control de la calidad del agua en la red de distribución*. CEPIS. Reunión Regional sobre Calidad del Agua Potable. Lima, Perú.

Vargas, L. y Barrenechea, A. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. OMS-OPSCEPIS. Lima, Perú. Recuperado de: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf.

Vásquez, W. (2018). *Parámetros de control obligatorio para determinar la calidad del agua de consumo humano en la ciudad de Iquitos, 2018*. (Tesis de Titulación). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú. [En línea]. Recuperado de: http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6153/Randy_Tesis_Titulo_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

White, C. (1972). *Handbook of chlorination*, Van Nostrand Reinhold, New York.

Zayas, J. (2018). *El tratamiento de agua por cloración*. Recuperado de: <https://wikiwater.fr/e18-el-tratamiento-del-agua-por>.

ANEXOS

Anexo N° 1: Categorías de agua establecidas por el MINAM - 2017

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	SUBCATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
CATEGORÍA 1 - A	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	A1	Agua que puede ser potabilizada con desinfección
		A2	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento convencional
		A3	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento avanzado
CATEGORÍA 1 - B	Aguas superficiales destinadas a recreación	B1	Contacto primario
		B2	Contacto secundario
CATEGORÍA 2: Actividades de extracción y cultivo marino costeras y continentales	Agua de mar	C1	Extracción y cultivo de moluscos bivalvos
		C2	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas
		C3	Otras actividades
		C4	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
CATEGORÍA 3: Riego de vegetales	Parámetros para riego de vegetales	D1	Riego de cultivos de tallo alto y bajo
	Parámetros para bebida de animales	D2	Bebida de animales
CATEGORÍA 4	Conservación del Ambiente Acuático	E1	Lagunas y lagos
		E2: Ríos	Ríos de Costa y Sierra Ríos de Selva
		E3: Ecosistemas marino costeras	Estuarios Marinos

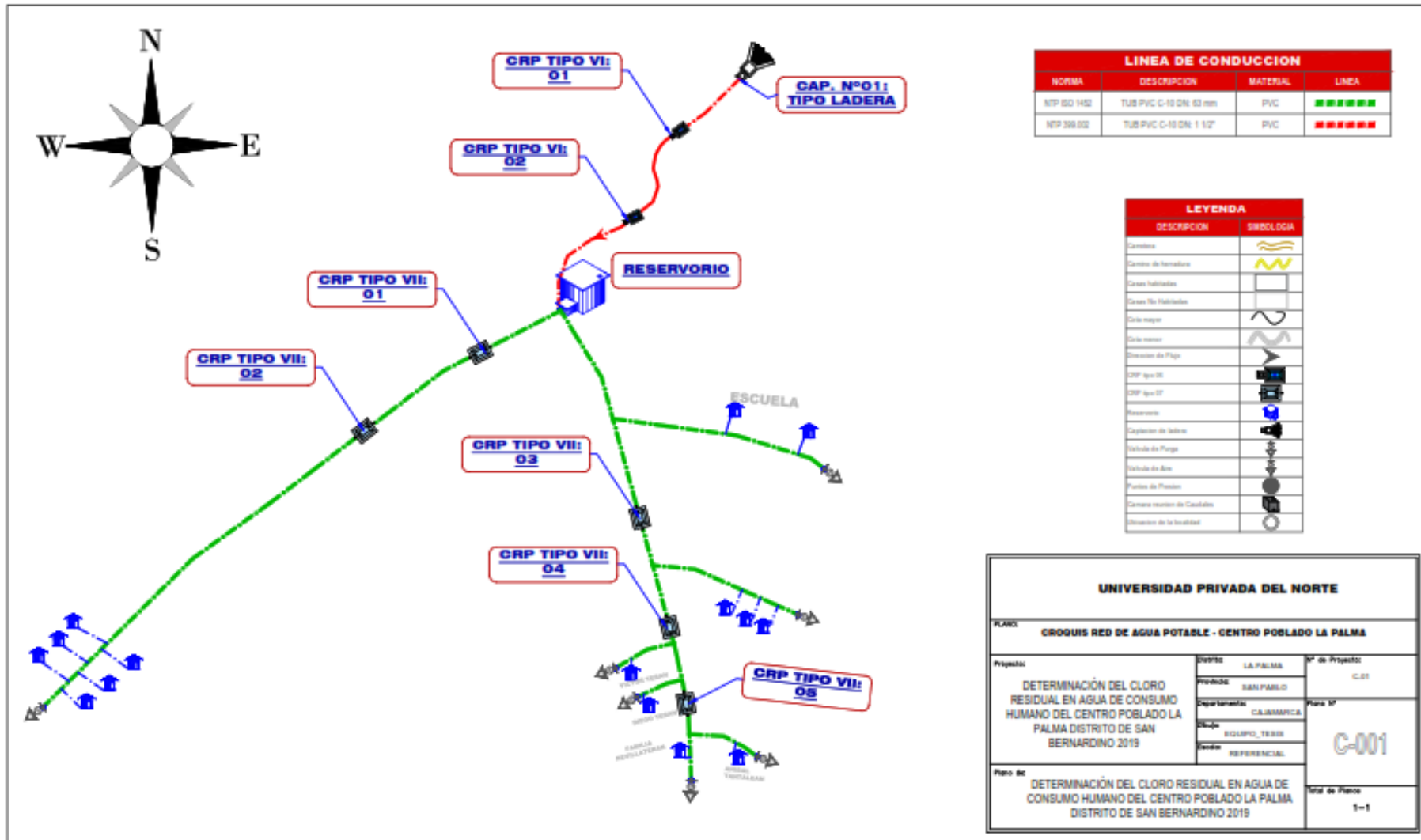
FUENTE: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM 2017

Anexo N° 2: Principales enfermedades transmitidas por el agua

ENFERMEDADES	CAUSA Y VÍA DE TRANSMISIÓN	EXTENSIÓN GEOGRÁFICA	NÚMERO DE CASOS	DEFUNCIONES POR AÑO
Disentería amebiana	Los protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	Todo el mundo	500 millones por año	*
Disentería bacilar	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra	Todo el mundo	*	*
Enfermedades diarreicas (inclusive la disentería amebiana y bacilar)	Diversas bacterias, virus y protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra	Todo el mundo	4.000 mil millones actualmente	3-4 millones
Cólera	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra	Sudamérica, África, Asia	384.000 por año	20
Hepatitis A	El virus pasa por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra	Todo el mundo	600.000 a 3 millones por año	2.400 a 12.000
Fiebre paratifoidea y tifoidea	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	80% en Asia, 20% en América Latina, África	16 millones actualmente	600
Poliomielitis	El virus pasa por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra	66% en la India, 34% en el Cercano Oriente, Asia, África	82.000 actualmente	9

FUENTE: Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua

Anexo N° 3: Plano de redes de distribución de agua de consumo humano del centro poblado La Palma, San Bernardino



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 4: Reservorio - La Palma



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 5: Preparación para la cloración



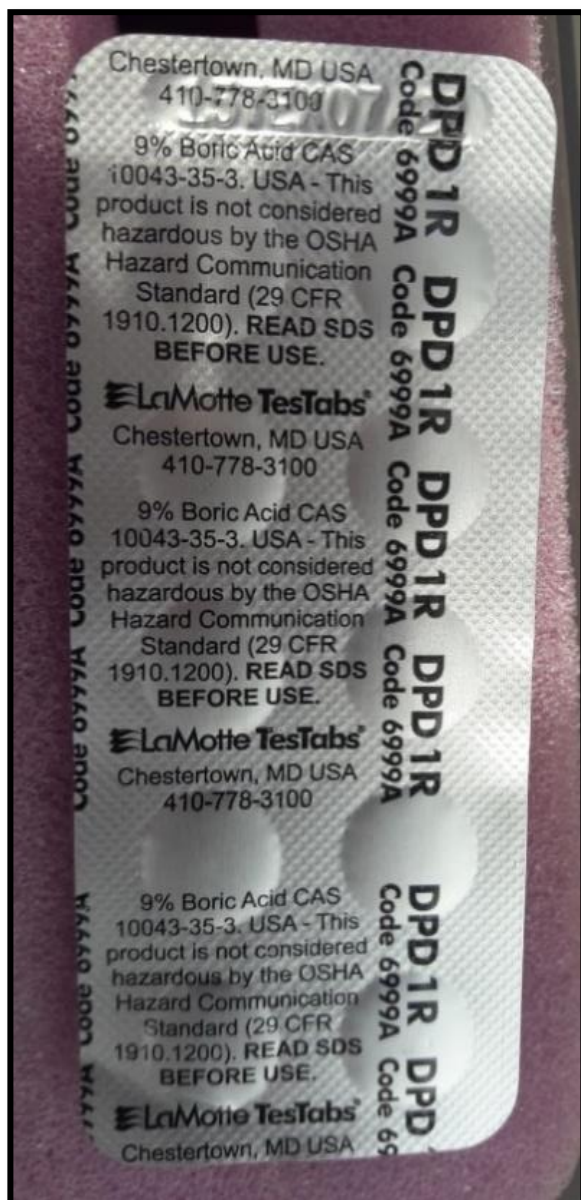
FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 6: Cloración



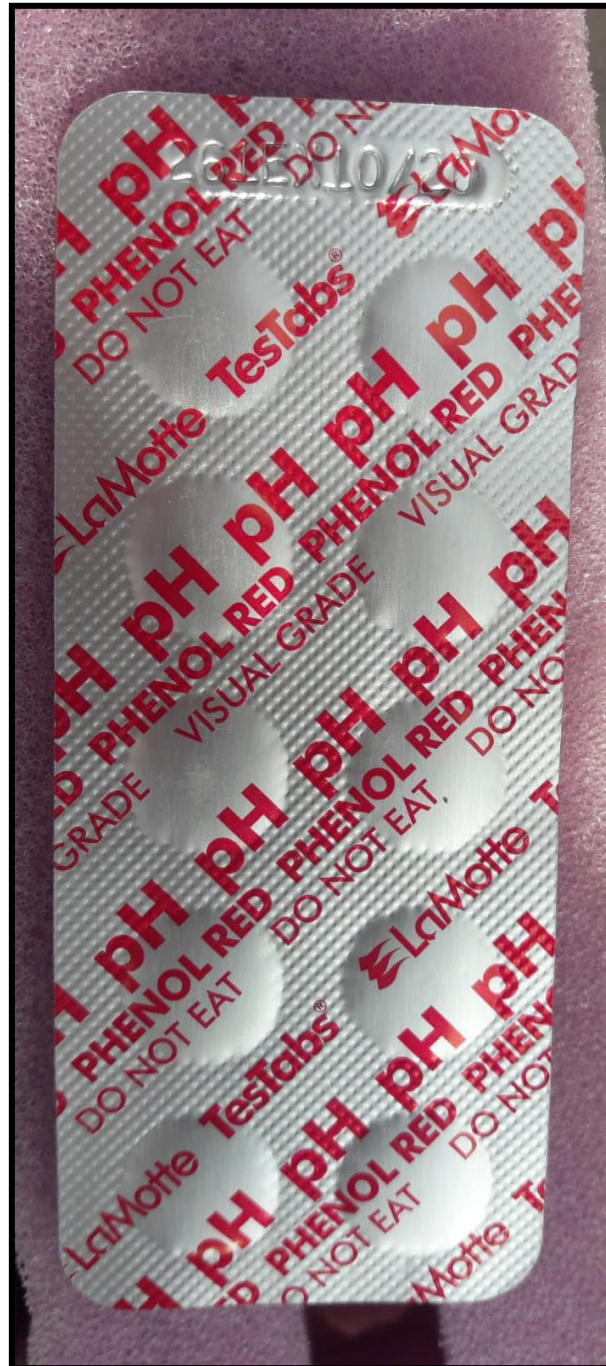
FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 7: Pastillas de DPD



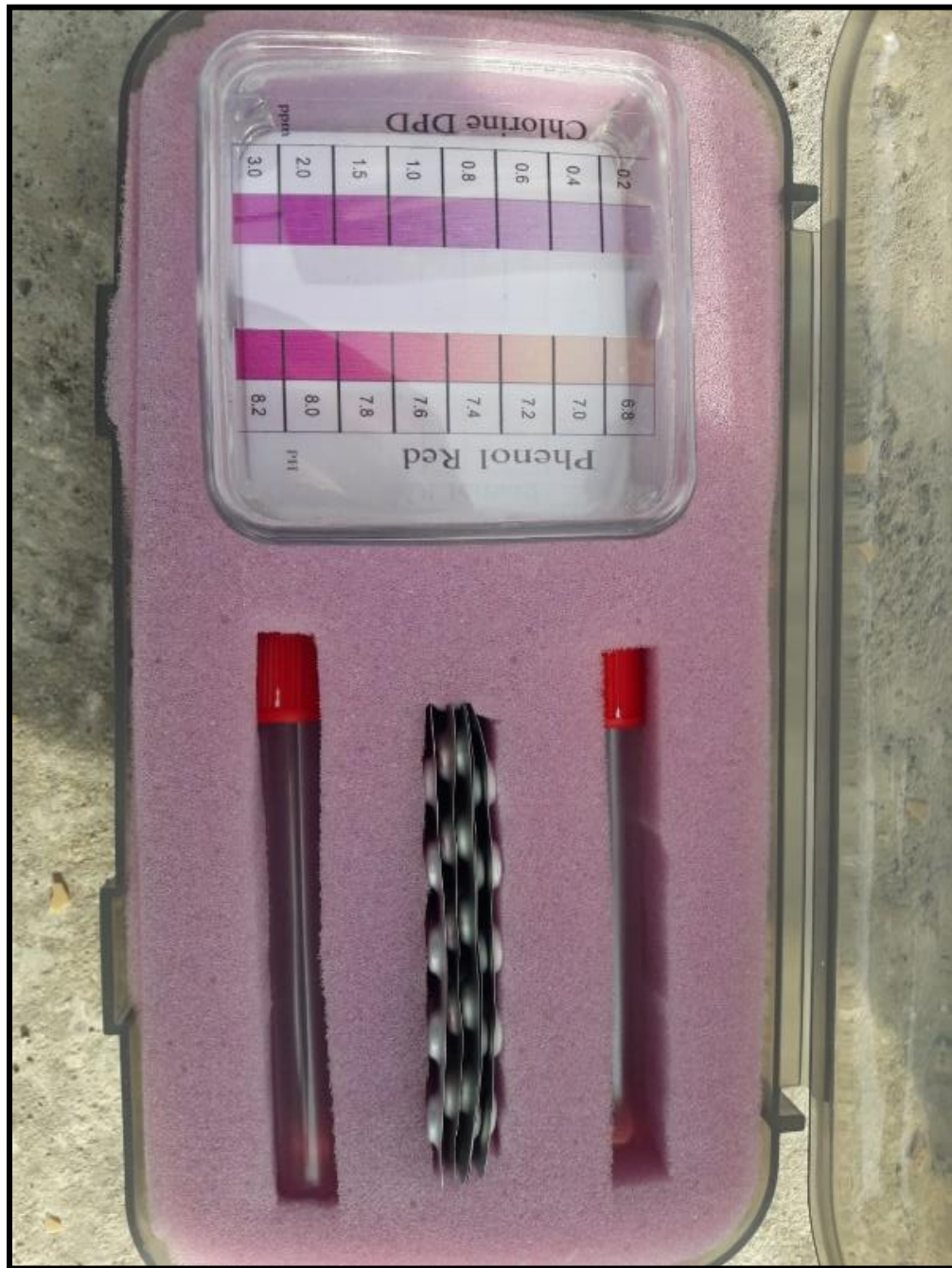
FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 8: Pastillas de medición de pH



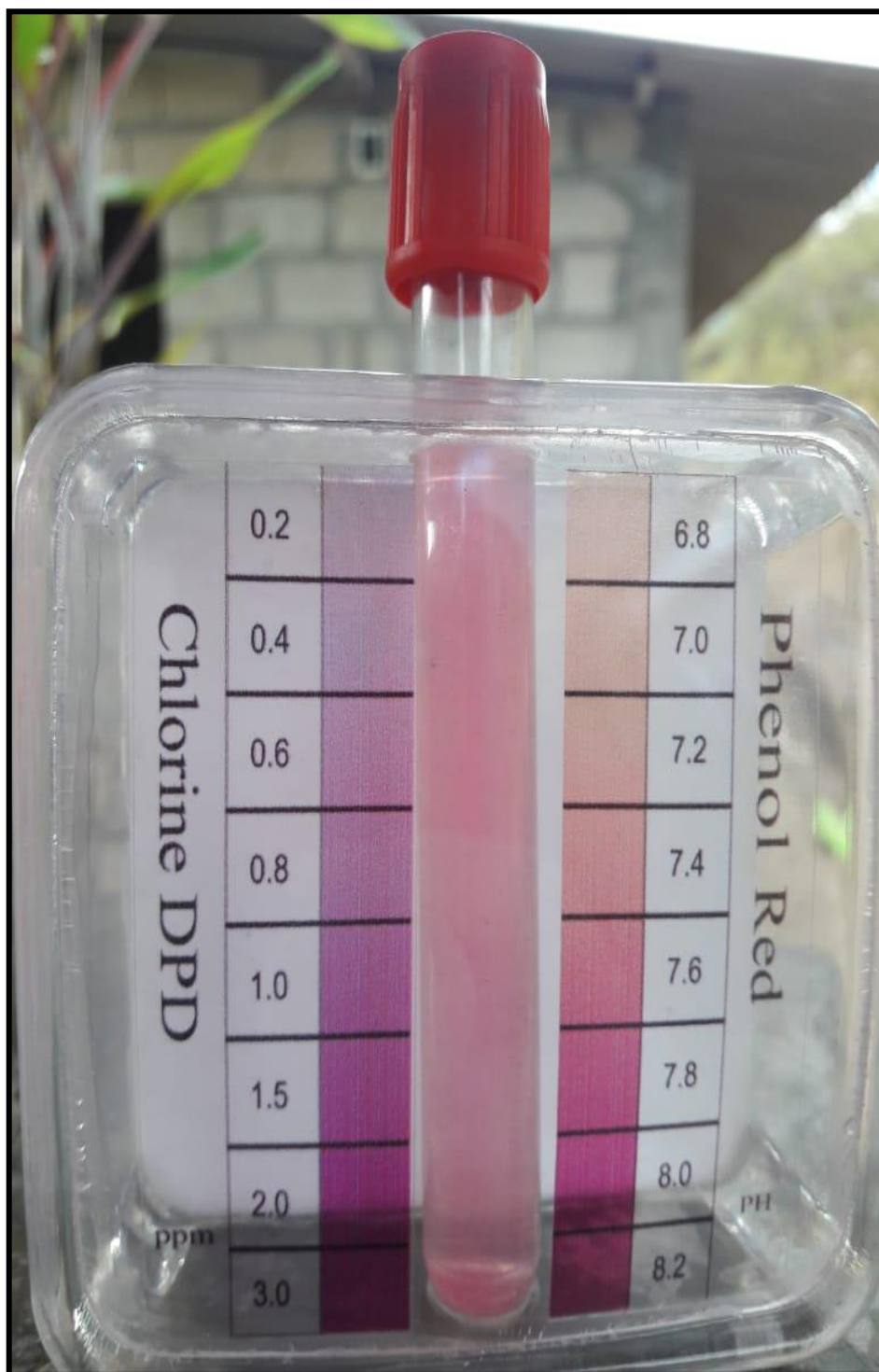
FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 9: Kit de medición de cloro residual y pH



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 10: Medición de cloro residual



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 11: Resultado de cloro



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 12: Lectura de medición de cloro



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 13: Medición de cloro en el reservorio



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 14: Equipo de trabajo



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 15: Multiparámetro



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 16: Medición de pH



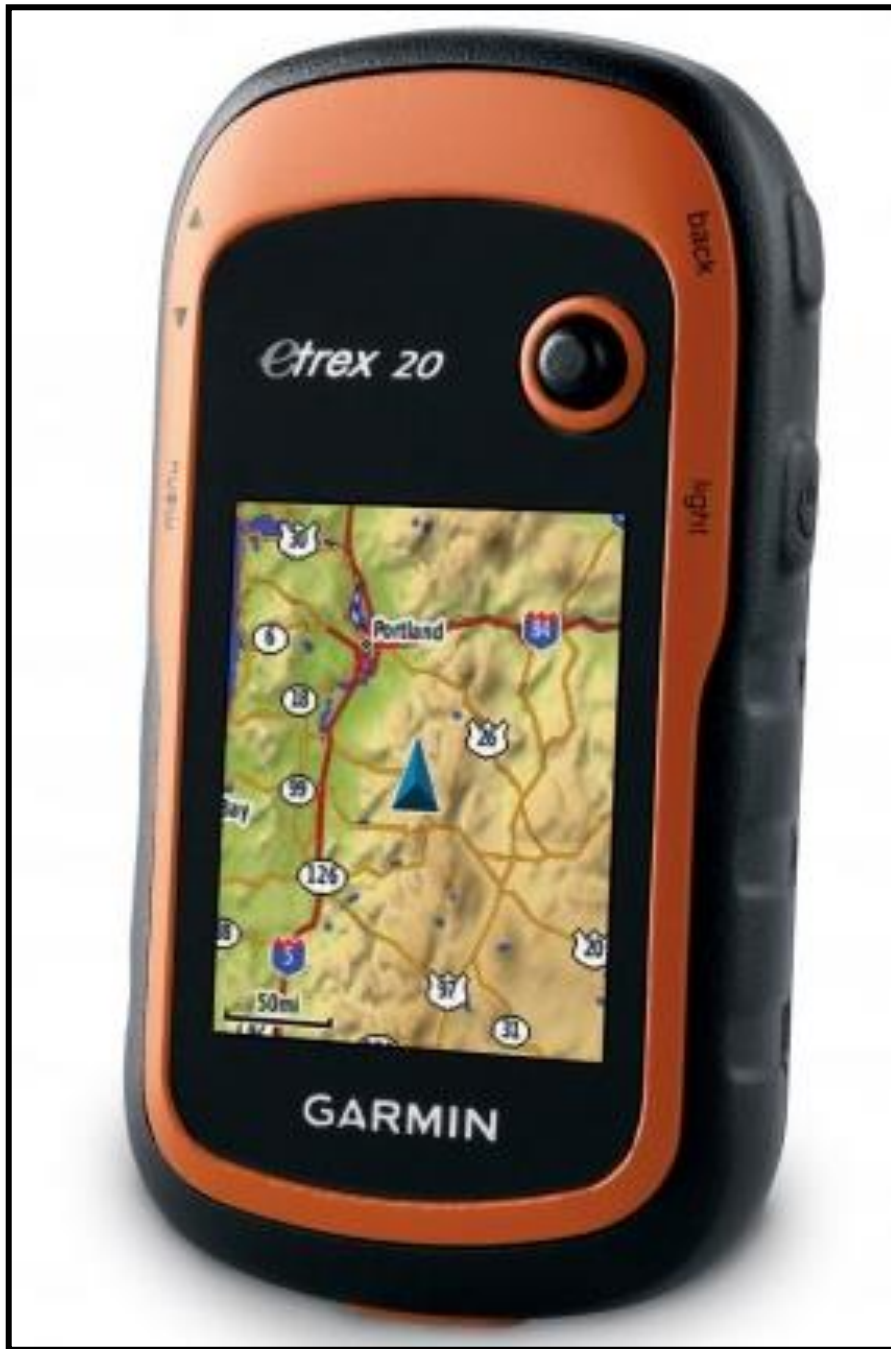
FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 17: Medición de turbiedad



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 18: GPS



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 19: Cámara



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 20: Guantes de látex



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 21: Libreta de notas



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 22: Pizeta



FUENTE: Equipo de trabajo

Anexo N° 23: Cooler



FUENTE: Equipo de trabajo