

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



## DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEJO EN LA DESINFECCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO DE LA COMUNIDAD DE CAPILLAPATA - LOS MOROCHUCOS - CANGALLO, AYACUCHO - 2016

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
Ingeniera Química

PRESENTADO POR : Bach. NOEMÍ JUSTINA TOMAYLLA BERROCAL

ASESOR : Mg. Ing. Cipriano MENDOZA ROJAS

AYACUCHO – PERÚ

2017

## **DEDICATORIA**

Con aprecio a mis adorados y amados padres, Gregorio y Felícitas; a mis hermanos Paúl y Lizet.

A mi complemento y apoyo, Jaime Joseph.

A mis recordados abuelos: Valentín, Justina, María Concepción y Faustino. Y a mis familiares y amigos.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por impartir conocimientos, a la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia y a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, por haberme forjado como profesional al servicio de la sociedad.

Al taller Electromecánico Holger K. Hansen de la Facultad de Ingeniería Química, por cobijarme en sus ambientes durante el proceso de diseño.

Al Mg. Ing. Cipriano Mendoza Rojas, asesor, por su sabia orientación y a la Mg. Ing. Gloria Inés Barboza Palomino, por su apoyo en la caracterización físico química de la muestra de agua.

A la Dirección Regional de Salud Ayacucho (DIRESA) y los responsables del Laboratorio Ambiental de la Dirección de Salud Ambiental, al Ing. Edgar Llamocca y Blgo. Hugo Infanzón Escobar, por brindarme las facilidades para el análisis de muestras de agua clorada.

A los miembros de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS) y familias de la comunidad campesina de Capillapata, por su hospitalidad durante mi permanencia, al realizar el monitoreo diario.

Mi eterno agradecimiento al Lic. Gregorio Tomaylla Núñez y a la Lic. Felicitas Berrocal Gutiérrez; por su apoyo logístico, sin el cual no hubiera sido posible la materialización y conclusión de este trabajo de investigación.

## RESUMEN

En las comunidades rurales del departamento de Ayacucho se evidencia el problema de dotación de mala calidad de agua para consumo, originando una alta tasa de mortalidad y desnutrición en los niños por el tratamiento inadecuado del agua a través del sistema de cloración por difusión, originando la variabilidad del cloro residual en las viviendas a lo largo del año. La presente investigación se desarrolló en la comunidad de Capillapata del distrito de Los Morochucos, provincia Cangallo del departamento de Ayacucho. El objetivo del presente trabajo fue diseñar, construir y evaluar las condiciones de operación de una nueva alternativa tecnológica de dosificación de cloro por goteo. En este sistema se estudiaron las diferentes condiciones de operación y se cuantificaron las diferentes variables como: altura de carga de agua, caudal experimental de goteo de los diferentes tipos de goteros comerciales empleando el método volumétrico, concentración de la solución del desinfectante, cloro residual (mg/L), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH y coliformes termotolerantes. Los resultados de la evaluación indican que a condiciones de la comunidad de Capillapata es aplicable el sistema de cloración por goteo con el gotero Jain Emitter con un caudal constante de goteo de  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s a lo largo del año a una altura de carga de agua de 73 cm, obteniendo la concentración promedio anual de solución de hipoclorito de calcio de 3124,529 mg/L a dosificar, que requiere un peso promedio de 3,348 kg de hipoclorito de calcio al 70 % sólido comercial, esto obtenido del balance de masa, alcanzando un cloro residual mínimo en la última vivienda  $\geq 0,51$  mg/L, un pH promedio de 7,12, una temperatura promedio de 11,06  $^{\circ}\text{C}$  y ausencia de coliformes termotolerantes (0 UFC/100 mL). Cumpliendo la normatividad (LMP) y garantizando la calidad del agua, mejorando la calidad de vida de los pobladores.

Palabra clave: Cloro residual, cloración de agua por goteo.

## ABSTRACT

In the rural communities of the department of Ayacucho, there is evidence of poor quality drinking water, causing a high mortality rate and malnutrition in children due to the inadequate treatment of water through the diffusion chlorination system. variability of residual chlorine in homes throughout the year. The present investigation was developed in the community of Capillapata of Los Morochucos district, Cangallo province of the department of Ayacucho. The objective of the present work was to design, build and evaluate the operating conditions of a new technological alternative for the dosing of chlorine by dripping. In this system the different operating conditions were studied and the different variables were quantified as: water load height, experimental drip flow rate of the different types of commercial drippers using the volumetric method, concentration of the disinfectant solution, residual chlorine (mg/L), temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH and thermotolerant coliforms. The results of the evaluation indicate that the conditions of the Capillapta community are applicable to the drip chlorination system with the Jain Emitter dripper with a constant drip rate of  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s throughout the year. a water load height of 73 cm, obtaining the average annual concentration of calcium hypochlorite solution of 3124,529 mg/L to be dosed, which requires an average weight of 3,348 kg of 70% commercial solid calcium hypochlorite, this obtained from the mass balance, reaching a minimum residual chlorine in the last dwelling  $\geq 0,51$  mg/L, an average pH of 7,12, an average temperature of 11,06  $^{\circ}\text{C}$  and absence of thermotolerant coliforms (0 CFU/100 mL). Complying with the regulations (LMP) and guaranteeing water quality, improving the quality of life of the inhabitants.

Keyword: Residual chlorine, water chlorination by dripping.

## INTRODUCCIÓN

La desinfección de los abastecimientos comunitarios de agua es una medida esencial de salud pública que data de principios de siglo XX, y su importancia se ha demostrado tanto en la teoría como en la práctica. Antes de que se descubrieran los antibióticos y las vacunas, con un tratamiento adecuado y una desinfección fiable del agua se reducía considerablemente la incidencia de enfermedades como la tifoidea y el cólera.

La cloración por goteo, por tabletas y la desinfección solar del agua se ha implementado en países como Honduras, Argentina, Ecuador entre otros; porque son tecnologías accesibles de bajo costo y fácil instalación en las comunidades campesinas. Sin embargo, en nuestro país y en especial en nuestro departamento, en las comunidades rurales se evidencia un desinterés en cuanto a la cloración y a la capacitación del operador de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS). Lo que ocasiona un déficit de producción de cloro residual en la última vivienda, no cumpliendo los Límites Máximos Permisibles (LMP) de cloro residual  $> 0,5 \text{ mg/L}$ ; generando diferentes enfermedades como: diarreas, infecciones intestinales, cólera entre otros. Así mismo, los sistemas de cloración recientemente instalados por: el Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social (FONCODES), la Dirección Regional de Vivienda, Construcción y Saneamiento Ayacucho (DRVCS) y la Dirección Regional de Salud Ayacucho (DIRESA), presentan deficiencias en el funcionamiento y no brindan un adecuado servicio.

Frente a estos problemas en el presente trabajo de investigación; diseño, construcción y evaluación de un sistema de cloración por goteo en la desinfección de agua para consumo de la comunidad de Capillapata del distrito de Los Morochucos, provincia Cangallo, departamento de Ayacucho; se aplica una nueva alternativa tecnológica simple que se ajusta a la realidad de la comunidad, desarrollada en base a ensayos experimentales siendo apropiado y confiable para ser aceptado por los usuarios con un costo reducido de operación y mantenimiento. Esta experiencia, se puede aplicar en otras pequeñas comunidades de nuestro departamento de Ayacucho, con el propósito de resguardar la calidad de agua (Límites Máximos Permisibles del reglamento de la calidad del agua para consumo humano, aprobado con el D.S. N° 031 - 2010 - SA) y contribuir en la lucha contra la extrema pobreza desde la perspectiva del agua potable.

# ÍNDICE

Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Introducción	v

## CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1	Antecedentes.....	4
1.2	Situación del problema actual.....	6
1.3	Justificaciones.....	8
1.4	Objetivos.....	9

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1	EL AGUA.....	10
2.1.1	Características físico químicas y microbiológicas del agua.....	10
2.1.2	Fuentes de agua.....	18
2.1.3	Contaminación del agua.....	19
2.2	TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN CONVENCIONAL .....	22
2.3	LA DESINFECCIÓN DEL AGUA.....	25
2.3.1	Enfermedades de origen hídrico.....	26
2.3.2	Medios para desinfectar el agua.....	26
2.3.3	Teoría de la desinfección .....	27
2.3.4	Desinfectantes más comunes de agua .....	27
2.3.5	La cloración .....	32
2.3.6	Química de la cloración .....	33
2.4	TIPOS DE SISTEMAS DOSIFICADORES .....	37
2.4.1	Bajo presión atmosférica.....	37
2.4.2	Bajo presión positiva o negativa .....	41
2.4.3	Erosión .....	42
2.5	SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA PARA EL SECTOR RURAL .....	42
2.6	DISEÑO DEL SISTEMA DE CLORACIÓN .....	45
2.6.1	Parámetros técnicos que influyen en el diseño . .....	46
2.6.2	Bases de diseño .....	47
2.6.3	Tanque de almacenamiento.....	50
2.6.4	Tanque regulador .....	52
2.6.5	Dispositivo de control de goteo y su comportamiento hidráulico.....	53

2.7	MARCO LEGAL .....	55
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>		
3.1	ASPECTOS PRELIMINARES .....	57
3.1.1	Ubicación geográfica del área de estudio .....	58
3.1.2	Diseño de la investigación.....	60
3.1.3	Caracterización físico-química del manantial. ....	61
3.1.4	Selección del sistema dosificador.....	62
3.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO.....	63
3.2.1	Alternativa tecnológica planteada .....	63
3.2.2	Bases del diseño experimental.....	68
3.3	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DISEÑADO.....	75
3.3.1	El tanque de almacenamiento de la solución concentrada de hipoclorito .....	75
3.3.2	Tanque regulador.....	79
3.3.3	Dispositivo de control (gotero).....	82
3.4	MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA .....	82
3.5	CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE HIPOCLORITO .....	84
3.6	EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN POR GOTEO .....	88
3.6.1	Medición del caudal de los goteros a diferentes alturas de carga de agua.....	89
3.6.2	Medición de cloro residual, temperatura, pH y coliformes termotolerantes .....	91
3.6.3	Calidad del agua clorada .....	97
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>		
4.1	DISEÑO DEL SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO.....	102
4.1.1	Bases de diseño.....	102
4.2	CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE HIPOCLORITO DE CALCIO. .	103
4.3	EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN POR GOTEO .....	108
4.3.1	Medición del caudal de los goteros a diferentes alturas de carga de agua.....	108
4.3.2	Medición de cloro residual, temperatura, pH y coliformes termotolerantes .....	120
4.4	PROPUESTA DEFINITIVA DEL SISTEMA DE CLORACIÓN .....	127
4.5	COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO .....	134
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>135</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>137</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>		<b>138</b>

## **ANEXOS:**

- Anexo 1 : Padrón comunal de usuarios de la comunidad de Capillapata 2016.
- Anexo 2: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Límite Máximo Permisible(LMP). D.S. N° 031-2010-SA.
- Anexo 3: Plano 02- Levantamiento topográfico de la red de distribución con los puntos de muestreo para la investigación.
- Anexo 4: Resultados de la caracterización del manantial de captación (ojo de agua) de la comunidad de Capillapata. En el laboratorio de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Química.
- Anexo 5: Caudal aforado promedio del manantial de captación (ojo de agua) del mes de enero al mes de diciembre 2016, en la comunidad de Capillapata.
- Anexo 6: Plano 03- Diseño del tanque Regulador.
- Anexo 7: Plano 04- Diseño del dispositivo de control (gotero)
- Anexo 8: Plano 05- Diseño del sistema de cloración por goteo.
- Anexo 9: Acta de entrega del sistema de cloración por goteo en la comunidad de Capillapata- Los Morochucos 2016.
- Anexo 10: Resultados del análisis físico químico del agua clorada de la comunidad de Capillapata, realizado en el laboratorio de la DIRESA.
- Anexo 11: Resultados del análisis microbiológico del agua clorada en la última vivienda de la comunidad de Capillapata, realizado en el laboratorio de la DIRESA.
- Anexo 12: Manual de operación y mantenimiento.
- Anexo 13: Registro fotográfico del diseño, construcción y evaluación de un sistema de cloración por goteo en la desinfección de agua, materiales y equipos empleados en la investigación.
- Anexo 14: Análisis estadístico-Análisis de varianza y prueba de tukey.

# **CAPITULO I**

## **ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 Antecedentes**

La comunidad campesina de Capillapata se encuentra ubicada dentro del distrito de Los Morochucos, provincia Cangallo, departamento de Ayacucho a una altitud de 3606 m.s.n.m., los habitantes tienen como ocupación principal la agricultura, la ganadería y la comercialización de productos agrícolas en su mayoría, pero además existe un número pequeño de población de varones que trabajan como jornaleros de construcción.

El servicio de agua potable en la comunidad de Capillapata, se ejecutó el año 2002, y en el 2004, en representación del estado la Autoridad Nacional del Agua (ANA), con resolución Administrativa N° 144 - 2004, otorga la licencia al usuario Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS) Capillapata por el uso de agua superficial con fines poblacionales, para usar un volumen anual hasta 15 768,00 m<sup>3</sup>, dicho documento se encuentra en la oficina de la Autoridad Local del Agua (ALA) Bajo Apurímac-Pampas, fijando el pago anual del recibo N° 2013005069 como retribución económica por el uso de agua superficial con fines no agrarios, cuyo importe es de S/.50,00 nuevos soles en concordancia al artículo 91 de la Ley N°

29338, Ley de Recursos Hídricos que establece que la retribución económica del agua, es el pago que en forma obligatoria deben abonar al estado todos los usuarios de agua como contraprestación por el uso del recurso, sea cual fuere su origen. Se fija por metro cúbico de agua utilizada cualquiera sea la forma del derecho de uso otorgado y es establecida por esta autoridad.

Actualmente la comunidad se abastece del agua captada del “ojo de agua” (manantial) de Huaynayacu ubicada a 3856 msnm, pero debido al incremento de la población y la actividad agrícola en los últimos años surgió la necesidad de buscar solución ante este inconveniente de falta de suministro de agua; es así, que en el año 2010 realizan la ampliación con otra captación de “ojo de agua” de Huaynayacu para abastecer a la totalidad de las familias usuarias. Con lo que se alcanza un caudal promedio anual de 0,8678 L/s.

El agua de manantial procedente del “ojo de agua” por lo general es limpia, pero contiene microorganismos (Coliformes termotolerantes) que afectan a la salud de la población, por lo que fue necesaria la cloración vía dosificación de flujo – difusión, sin embargo, los usuarios beneficiarios sintieron el deficiente control que existe en la dosificación de cloro sea por déficit o por el exceso de la solución de hipoclorito de calcio al momento de desinfectar el agua; por esta razón fue necesario investigar una nueva alternativa del sistema de diseño mucho más práctico para la dosificación de cloro, garantizando la calidad del agua para mejorar las condiciones de vida de los pobladores de la comunidad.

## **1.2 Situación del problema actual**

En la comunidad de Capillapata se ha podido evidenciar el problema de la variabilidad del cloro residual en las viviendas a lo largo del año, debido a factores externos y climáticos como: la época de lluvia (meses de enero, febrero y marzo principalmente) produce un incremento del caudal de agua que ingresa al reservorio o tanque de distribución sumado a la erosión origina cambios en la cantidad de microorganismos; época de estiaje (de julio y agosto principalmente) disminuye el caudal de ingreso de agua al reservorio o tanque de distribución. Estos inconvenientes de incremento o disminución del caudal de agua y la variación de flujo de dosificación del cloro tienen como consecuencia un exceso de cloro residual en los primeros días de carga y un déficit de cloro al cabo de siete días, tanto en el reservorio o tanque de distribución y en la red de distribución (última vivienda).

En la cloración que realizan actualmente no han tomado en cuenta la variabilidad del cloro residual al transcurrir los días, pues el manejo se realizaba empíricamente por gravedad. El dosificador de flujo-difusión ha quedado en desuso (dispositivo de cloración hasta hace poco utilizado para la desinfección del agua para consumo humano), porque el hipoclorito de calcio al 30% sólido comercial que utilizaban no se comercializa actualmente y en su reemplazo se dispone de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial, un insumo que requiere otra tecnología para dosificar adecuadamente el cloro al sistema de potabilización de agua, sin embargo este sistema no ofrece un tratamiento adecuado, por la variabilidad de flujo de dosificación. Por tanto, los pobladores siguen consumiendo agua con déficit de cloro, lo que se refleja en los indicadores del centro de salud de Pampa Cangallo, enfermedades infecciosas y parasitarias que tienen mayor incidencia, dando origen a la alta prevalencia de las enfermedades infecciosas y parasitarias. En la actualidad la

comunidad de Capillapata tiene una población de 230 personas (55 familias) aproximadamente, tal como figura en el padrón comunal (**Ver Anexo 1**), de acuerdo a estos datos estadísticos el centro de salud de Pampa Cangallo el 2015 registró las enfermedades más frecuentes a nivel de la comunidad de Capillapata, dichos datos demuestran que un 45% de la población, presenta casos de enfermedades respiratorias, seguido por enfermedades infecciosas y parasitarias con 35% y un 20% con enfermedades del sistema digestivo. Entre las razones principales de estas enfermedades se encuentra la inadecuada cloración del agua. Así mismo se observa un deficiente conocimiento de educación sanitaria en la población.

La infraestructura de toda la red de agua entubada desde su fuente de captación hasta el reservorio o tanque de distribución se encuentran en buenas condiciones. Existe un reservorio o tanque de distribución de 10 m<sup>3</sup> que abastece a toda la población, en la obra de ampliación del 2010 se realizó el mantenimiento respectivo, lo que hace indispensable implementar el nuevo diseño de cloración por goteo en el reservorio o tanque de distribución de 10 m<sup>3</sup>.

## **1.3 Justificaciones**

### **A. Justificación técnica**

Desde el punto de vista técnico, el diseño del sistema de cloración no necesitará una tecnología especializada ni sofisticada; existe tecnología intermedia para su funcionamiento, que puede adecuarse a la realidad de la comunidad. Los materiales y otros dispositivos propuestos para este diseño experimental se encuentran en el mercado nacional, así mismo, con esta investigación se pretende mejorar a los sistemas de cloración existentes en muchas comunidades rurales del departamento de Ayacucho, reduciendo costos y contribuyendo a que los dosificadores de cloro sean operados de manera sencilla, adecuada y con flujo constante que es lo más importante para un buen tratamiento de agua libre de microorganismos.

### **B. Justificación económica**

La implementación de este sistema permitirá reducir las enfermedades infecciosas (cólera, sarna) e intestinales; con lo cual se mejora la calidad de vida de los pobladores de la comunidad de Capillapata del distrito de Los Morochucos, y como personas sanas serán más productivas en sus tareas domésticas y trabajos en el campo, así mismo se genera un ahorro económico por gastos en medicamentos debido a enfermedades estomacales por consumo de agua contaminada con patógenos por la inadecuada cloración.

### **C. Justificación social**

Mediante el desarrollo de esta investigación se pretende mejorar la calidad de vida de los pobladores que consumen agua tratada, para que no se enfermen, y de esta manera se resuelve el problema de desnutrición de los niños haciendo que consuman agua de calidad y a su vez generar en la población una cultura de educación ambiental sobre el cuidado y protección del agua.

## 1.4 Objetivos

### **Objetivos generales:**

- Diseñar, construir y evaluar un sistema de cloración por goteo para desinfectar el agua para consumo de la comunidad de Capillapata del distrito de Los Morochucos – Cangallo, departamento de Ayacucho en el año 2016.

### **Objetivos específicos:**

- Determinar las bases de diseño (caudal de goteo y altura de carga de agua) del sistema dosificador de cloro.
- Calcular la concentración de la solución desinfectante a dosificar (empleando hipoclorito de calcio al 70 % sólido comercial).
- Poner en marcha y operación el sistema dosificador de cloro.
- Evaluar la calidad del agua clorada (cloro residual, pH, temperatura y coliformes termotolerantes).

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 EL AGUA**

El agua, proveniente del latín *aqua*, es una sustancia esencial para la vida en el planeta tierra, y para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida (UNESCO, 2016).

Desde el punto de vista químico, el agua es un compuesto formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, cuya fórmula es H<sub>2</sub>O, unidos por enlace covalente (Bonilla, 1985).

Desde el punto de vista de la salud humana, el agua ayuda a eliminar las sustancias resultantes de los procesos bioquímicos que se desarrollan en el organismo, a través de los órganos excretores, en especial la orina y el sudor. Sin embargo, por esta misma propiedad, puede transportar una serie de tóxicos al organismo que pueden afectar a diferentes órganos, de manera reversible o irreversible (Cánepa, 2004).

#### **2.1.1 Características físico químicas y microbiológicas del agua de manantial**

##### **2.1.1.1 Características físicas**

Llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, entre otros), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

### **a. Turbiedad**

La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ), se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua (Cánepa, 2004). Debe ser menor que 1 UNT (Unidades Nefelométricas) para que la desinfección sea eficaz (OMS, 2011). El límite máximo permisible en el agua potable actualmente debe ser menor a 5 UNT.

Su determinación y eliminación es fundamental porque permite identificar el método de tratamiento si es por desinfección o se debe aplicar un tratamiento con más procesos, como coagulación, floculación, sedimentación y filtración. En la figura 2.1 se muestra la comparación de agua turbia y agua destilada.



Figura 2.1 Comparación de agua turbia y agua destilada (SUNASS, 1997) SUNASS<sup>1</sup>.

### **b. Sólidos disueltos totales (TDS)**

Los sólidos disueltos en aguas naturales, representados por la sigla internacional TDS. El agua potable con un nivel de sólidos disueltos totales (TDS) de menos de aproximadamente 600 mg/L se considera generalmente buena; y se vuelve cada vez más desagradable a niveles de TDS mayores de aproximadamente 1000 mg/L (OMS, 2011).

---

<sup>1</sup> SUNASS: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.

### **c. Conductividad eléctrica**

Es la expresión numérica de la capacidad del agua de transportar corriente eléctrica, esta capacidad depende de la presencia de iones en el agua, de su concentración total, de su movilidad, de su carga o valencia y de las concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición (Roldán & Ramírez, 2000).

### **d. Salinidad**

Según (Cole, 1983), (Wetzel, 1981) y (Roldán,1992), se refiere a la suma de cationes y aniones que se hallan disueltos en el agua, normalmente la salinidad de las aguas continentales está determinada por cuatro cationes, calcio, magnesio, sodio y potasio; y por los aniones carbonato, sulfato y cloruros.

### **e. Color**

El color en el agua puede estar asociado a sustancias en solución o en suspensión. Algunas sustancias de origen natural, que confiere el color al agua, son el material vegetal en descomposición, los limos, las arcillas en suspensión y algunos minerales disueltos, de hierro y manganeso, principalmente (SUNASS, 1997).

### **f. Olor y sabor**

Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de desechos industriales (Cánepa, 2004).

### **g. Temperatura**

Es un parámetro físico importante en el agua, por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno y la desinfección.

La temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión (OMS, 2011).

### **2.1.1.2 Características químicas**

Son parámetros químicos que pueden estar presentes en las fuentes de captación (ojo de agua), los cuales deberán ser tratadas. A continuación, en forma breve se describe los parámetros más importantes:

#### **1. pH**

Es el potencial de la concentración de iones hidrógeno (pH), mide la concentración molar del ion hidrógeno en un medio acuoso, como logaritmo negativo de la concentración del ión hidrógeno (Chang, 2012), esto es:

$$\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^+] \quad (2.1)$$

El pH influye en el proceso de la desinfección (Bonilla, 1985).

Para que la desinfección con cloro sea eficaz, es preferible que el pH sea menor que 8 (OMS, 2011).

#### **2. Alcalinidad.**

Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos (iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ )). La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua y la temperatura. La determinación de la alcalinidad nos permite fijar los parámetros del tratamiento químico del agua (Cánepa, 2004).

#### **3. Dureza**

La dureza es una propiedad que refleja la presencia de metales alcalinotérreos en el agua, donde el calcio y el magnesio constituyen los principales alcalinotérreos en aguas continentales.

Según (Rodríguez, 2010), la dureza del agua se puede expresar como:

- Dureza temporal: Conocida también como “dureza de carbonato”, producida por carbonatos y bicarbonatos de Ca y Mg.

- Dureza permanente: Está determinado por todas las sales de Ca y Mg excepto carbonatos y bicarbonatos (sulfato, nitratos y cloruros). También se le conoce como “dureza de no carbonato”.

$$\text{Dureza Total} = \text{Dureza Temporal} + \text{Dureza Permanente} \quad (2.2)$$

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011), las normas de calidad no establecen un límite específico para la dureza en el agua para consumo humano y propone la siguiente tabla 2.1, donde se muestra la clasificación de la dureza del agua en mg CaCO<sub>3</sub>/L.

Tabla 2.1 Clases de dureza del agua.

Dureza (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Tipos de agua
0 – 60	Blanda
61- 120	Moderadamente dura
121-180	Dura
>180	Muy dura

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011).

En algunos casos, los consumidores toleran una dureza del agua de 500 mg/L (OMS, 2011).

#### 4. Cloruros

Están presentes en todas las aguas (naturales y residuales). Los contenidos de cloruros son usualmente más altas en aguas cerca de las regiones costeras, en los manantiales y en los ríos de montaña presentan contenidos bajos. Por lo general se encuentra bajo la forma de cloruro de sodio, éstos expresan en gran parte la salinidad del agua. Tomando en cuenta el límite de percepción del sabor de los cloruros en el agua se ha establecido un límite máximo permisible de 250 mg/L en aguas de consumo (OMS, 2011).

## **5. Sulfatos**

Los sulfatos se encuentran en las aguas naturales en un amplio intervalo de concentraciones como  $\text{SO}_4^-$  (ión sulfato). En aguas naturales presenta valores que van desde 2 a 10 mg/L, incrementándose en aguas que se hallan en zonas volcánicas o con fuentes de contaminación orgánica (Roldán & Ramírez, 2000). En aguas destinadas al consumo humano, el límite permisible no exceda 250mg/L (OMS, 2011).

## **6. Aluminio**

Es un componente natural del agua, debido principalmente a que forma parte de la estructura de las arcillas. Puede estar presente en sus formas solubles o en sistemas coloidales, responsables de la turbiedad del agua. Es factible una concentración de 0,2 mg/L o menos de aluminio en el agua tratada (OMS, 2011).

## **7. Hierro**

La remoción del hierro de las aguas crudas superficiales es relativamente fácil con los procesos comunes de remoción de la turbiedad, mediante los cuales su concentración puede bajar de 10 mg/L a 0,3 mg/L, que es la concentración recomendada por las guías de calidad de la Organización Mundial de la Salud para el agua de consumo. Sin embargo, es posible que haya problemas si el hierro está presente en complejos orgánicos inestables (OMS, 2011).

## **8. Manganeso**

El manganeso es un elemento esencial para la vida animal; funciona como un activador enzimático. Sin embargo, grandes dosis de manganeso en el organismo pueden causar daños en el sistema nervioso central (Cánepa, 2004). Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la Organización Mundial de la Salud, 2011, establecen como valor provisional 0,5 mg/L, pero el reglamento de la

calidad del Agua para consumo humano en el Perú D.S N<sup>o</sup> 031-2010-SA, tiene como límite máximo permisible 0,4 mg/L (DIGESA, 2011).

### **2.1.1.3 Características microbiológicas**

#### **a) Bacterias patógenas**

Las bacterias son microorganismos unicelulares. Miden desde menos de un micrómetro hasta diez micrómetros de longitud y de 0,2 a un micrómetro de ancho (OMS, 2011). Las bacterias patógenas que tienen un alto significado para la salud son el *Vibrio cholerae*, la *Escherichia coli* enteropatógena, la *Salmonella typhi*, la *Shigella*, el *Campylobacter jejune* y la *Yersinia enterocolitica*, entre otras. La mayoría tiene un tiempo de persistencia en el agua que va de corto a moderado, baja resistencia al cloro y una dosis infectiva alta (Carvajal, 2005).

#### **b) Las enterobacterias o coliformes**

La familia enterobacteriaceae está constituido por un grupo heterogéneo de bastoncillos, aeróbicos y anaerobios facultativos, no formadores de esporas, que fermentan lactosa (excepto salmonella y shigella), con formación de gas en 48 horas a 35 °C, cuyo hábitat natural es el tubo intestinal del hombre y los animales. La familia incluye muchos géneros como: *Escherichia*, *Shigella*, *Citrobacter*, *Salmonella*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia* y *Proteus*, entre otros. Las salmonelas y shigelas, son patógenos de manera regular para el hombre (Aurazo, 2004).

#### **c) Coliformes termotolerantes**

Las bacterias del grupo de los coliformes totales que son capaces de fermentar lactosa a 44 - 45 °C se conocen como coliformes termotolerantes. En la mayoría de las aguas, el género predominante es *Escherichia coli*, pero algunos tipos de

bacterias de los géneros Citrobacter, Klebsiella, shigella y Enterobacter también son termotolerantes.

A continuación, en la figura 2.2, se muestra la imagen del Escherichia coli y sus partes.

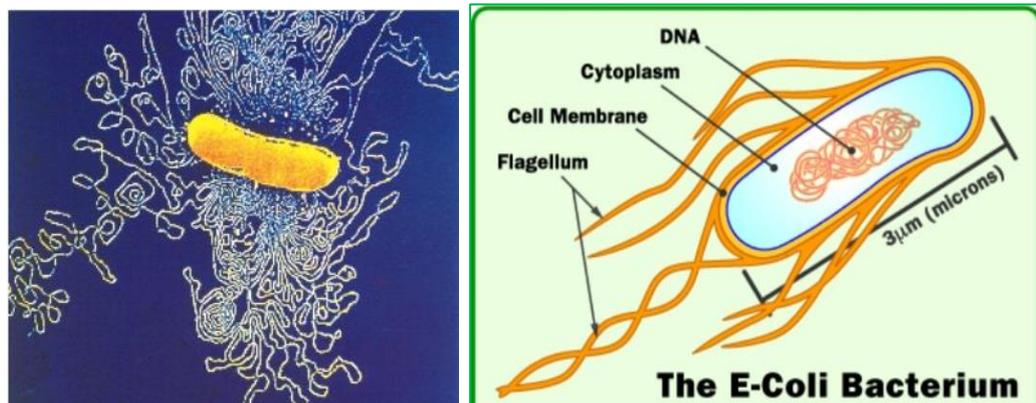


Figura 2.2 Escherichia coli y sus partes (Carbajal, 2005).

En las zonas rurales la contaminación fecal se origina por la defecación a campo abierto y por la presencia de animales domésticos y silvestres que actúan como reservorios de agentes patógenos. Las guías establecen que el agua de bebida no debe contener agentes patógenos que puedan ser transmitidos a los seres humanos mediante la ingestión del agua y propone que los coliformes termotolerantes no deben estar presentes en 100 mL de muestra en el agua tratada, tanto la entubada como la almacenada en reservorios de agua potable (OMS, 2011).

Los coliformes termotolerantes, son los microorganismos de elección para los monitoreos, la verificación y vigilancia de la calidad del agua de consumo. Estos microorganismos también se utilizan como indicadores de desinfección, pero los análisis son mucho más lentos que la medición directa de la concentración residual de desinfectante (Aurazo, 2004).

## 2.1.2 Fuentes de agua

Las fuentes de agua constituyen un elemento esencial en el diseño de cualquier sistema de abastecimiento y tratamiento de agua, la ubicación, el tipo, la cantidad y calidad definen el tipo de tratamiento a emplear.

Las fuentes de agua se originan por un conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (superficial, sub superficial, subterránea) (Ordoñez, 2011), como se muestra a continuación en la figura 2.3.

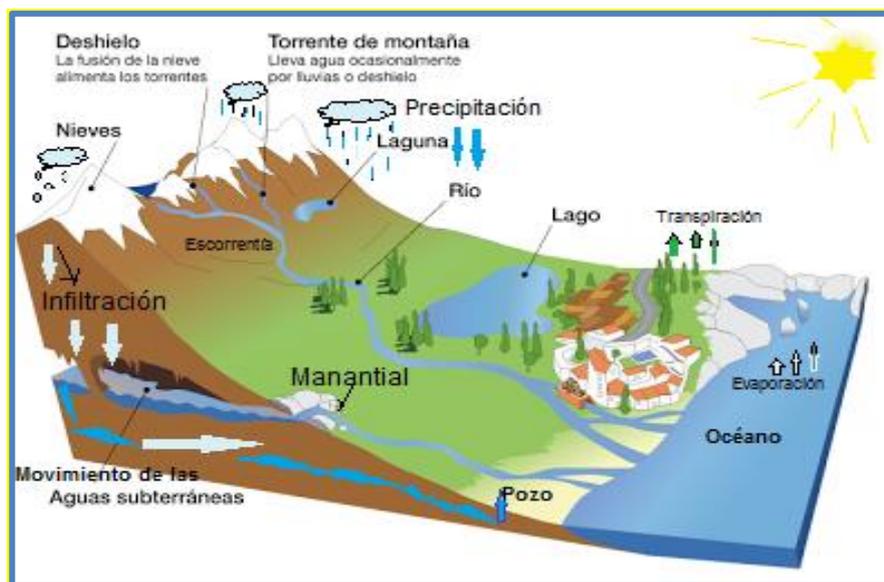


Figura 2.3 Origen de las fuentes de agua (Ordoñez, 2011).

### 2.1.2.1 Agua meteórica o de lluvia

Se originan en forma inmediata de la atmósfera; al pasar a través del aire o por los diferentes estratos de la tierra se almacenan las impurezas. Puede encontrarse algunos gases disueltos como oxígeno, CO<sub>2</sub> y hasta vapores ácidos; la vida industrial moderna produce gases ácidos como el ácido sulfhídrico y el ácido nítrico (originado durante las tormentas debido a la oxidación eléctrica del nitrógeno atmosférico) (International Organization for standardization, 2008).

### **2.1.2.2 Aguas superficiales**

Discurren naturalmente en la superficie terrestre y están constituidos por los arroyos, corrientes (ríos), lagunas, lagos, mares, embalses naturales y artificiales; pueden ser dulces o salados (Aguero, 1997). Se diferencian de lo anterior por el mayor contenido de impurezas. Casi siempre en estas aguas hay bicarbonatos de calcio, de magnesio, de sodio y de potasio, así como sulfatos y cloruros desde cantidades pequeñas hasta la saturación completa (Orellana, 2005).

### **2.1.2.3 Aguas subterráneas**

Son aquellas que se encuentran en el subsuelo, se caracterizan por la diversidad de sales disueltas. La capacidad filtrante de los suelos y rocas asegura alta claridad de estas aguas y ausencia de impurezas de origen orgánico (Ordoñez, 2011).

La captación de aguas subterráneas se puede realizar a través de: manantiales (ladera o de fondo), galerías filtrantes y pozos (excavados y tubulares).

Las galerías filtrantes y pozos (excavados y tubulares) tiene ventajas sobre las aguas de lluvia y superficiales, por tener una temperatura constante, se usa en las industrias para el enfriamiento, en la agricultura y para el consumo humano. Son aguas limpias con alta dureza.

## **2.1.3 Contaminación del agua**

La contaminación de la fuente de agua puede ser de forma natural o antropogénica, esta última como resultado de la actividad humana como las aguas residuales domiciliarias públicas e industriales, agropecuarias y minerales. Así mismo los desastres naturales, como son las inundaciones, huaycos, los tsunamis, la sequía agudizan el hambre y la desnutrición generando un alto grado de contaminación del agua.

En la actualidad existen herramientas de diagnóstico rápido y representativo del grado de contaminación, como los índices de la calidad del agua (ICA) (Torres, Cruz, & Patiño, 2010).

Esta herramienta es utilizada para medir los cambios en la calidad de agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, con estimaciones numéricas generalmente entre 0 y 1, ó 0 y 100. Con ello se pretenden reconocer, de una forma ágil y fácil, problemas de contaminación, sin tener que recurrir a la observación de cada una de los numerosos parámetros fisicoquímicos como la turbidez, pH, temperatura, el oxígeno disuelto, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), fosfatos, nitratos, oxígeno disuelto, coliformes entre otros.

Para determinar el ICA se puede emplear cualquiera de las ecuación de cálculo que existe para cada país, por ejemplo el ICA NSF (EU) (Ramirez & Restrepo, 1997):

$$ICA_m = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} \quad (2.3)$$

Donde:

Promedio geométrico ponderado  $ICA_m$

$W_i$  : Peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro.

$i$  : Subíndice de i-ésimo parámetro.

En la tabla 2.2 se presenta algunas alteraciones del agua y la contaminación que indica.

Tabla 2.2 Alteraciones físicas, químicas, microbiológicas del agua y la contaminación que indica.

<b>Alteraciones físicas</b>	<b>Contaminación que indica</b>
Color	Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores de acuerdo al tipo de contaminación.
Temperatura	El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno). Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción.
Olor y sabor	Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua.
<b>Alteraciones químicas</b>	<b>Contaminación que indica</b>
pH	Indican aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales que pueden tener pH muy ácido.
Sodio	Indica salinidad
Calcio y magnesio	Están relacionados con la dureza del agua
Amonio	Contaminación con fertilizantes y heces
Metales pesados	Efectos muy nocivos
Sulfuros	Indican contaminación de origen industrial
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Indica la cantidad de materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas contaminadas.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Indica la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua contaminada empleando un oxidante químico.
<b>Alteraciones biológicas</b>	<b>Contaminación que indica</b>
Microorganismos patógenos.	Desechos fecales
Animales, plantas, microorganismos Diversos	Eutrofización

Fuente: (Echarri, 2007) y (OMS, 2011)

## **2.2 TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN CONVENCIONAL**

Actualmente existen dos formas de tratamiento, tratamiento convencional para aguas superficiales y no convencional para aguas subterráneas “ojo de agua”. Una turbidez menor a 5 UNT<sup>2</sup>, indica aparentemente que el agua es completamente clara y limpia, pero en realidad está contaminada con microorganismos, por tanto, se aplica cloración directamente, por lo que la norma exige que se debe diseñar un prefiltro. En aguas superficiales con una turbidez mayor a 5 UNT, se emplea el tratamiento convencional, es decir coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS/CEPIS, 2002), de acuerdo a las fuentes de procedencia el agua para consumo puede ser no tratada o tratada conforme a los métodos convencionales tales como: Sistema por gravedad con y sin tratamiento, sistema por bombeo con y sin tratamiento (agua de pozo, en la costa por lo general).

### **2.2.1 Sistemas por gravedad sin tratamiento**

En estos sistemas de abastecimiento, por ser el agua filtrada en los estratos porosos del subsuelo, la desinfección puede ser no muy exigente. La particularidad de este tipo de sistema de abastecimiento radica en la captación, que para casos de manantiales puede ser de ladera o de fondo, y para galerías filtrantes por drenes sub superficiales, como se muestra en la figura 2.4, es un sistema de abastecimiento de agua por gravedad sin tratamiento (Beltrán y Hernández, 2012).

---

<sup>2</sup> UNT ó NTU= Unidad Nefelométrica de Turbiedad

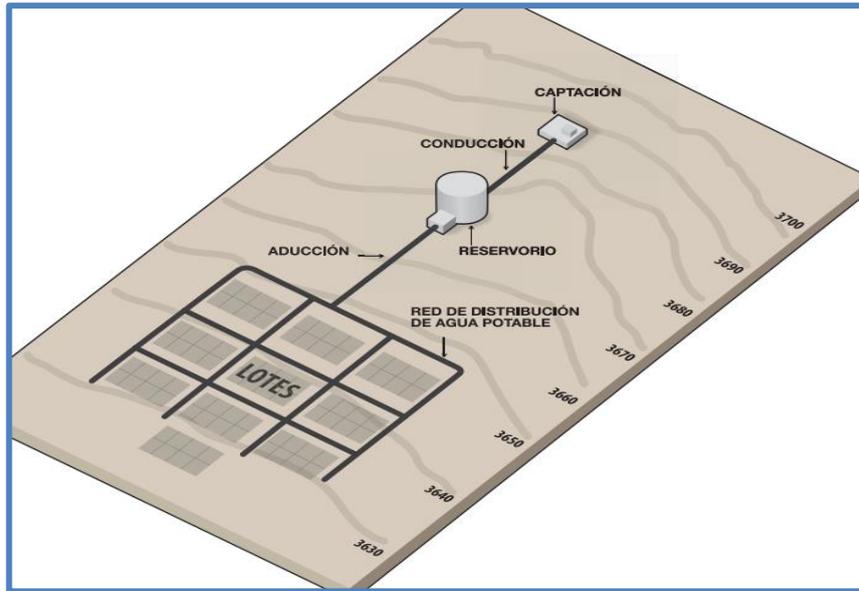


Figura 2.4 Sistema de abastecimiento por gravedad sin tratamiento (Beltrán & Hernández, 2012).

### 2.2.2 Sistemas por gravedad con tratamiento

Las fuentes de agua de estos sistemas son aguas superficiales que discurren por canales, acequias, ríos, etc.; requieren ser clarificadas y desinfectadas. Estos tipos de sistemas están equipados con plantas de tratamiento diseñadas en función de la calidad física, química y bacteriológica del agua cruda, tal como se muestra en la figura 2.5.

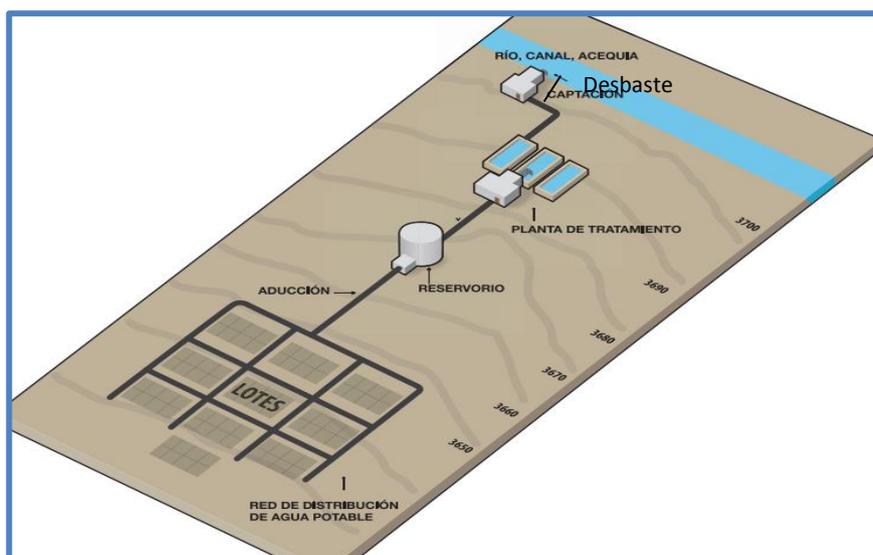


Figura 2.5 Sistemas de abastecimiento por gravedad con tratamiento (Beltrán & Hernández, 2012).

De la figura 2.5 se detallan los componentes básicos de una planta de tratamiento, y es como sigue:

**Embalse.-** Consiste en acumular el agua en mayor cantidad posible y a la vez sirve como una unidad de pretratamiento para remover elementos extraños como hojas ramas, arena entre otros. El agua cruda, pasa a los siguientes procesos de coagulación, floculación y su posterior sedimentación y filtración.

**La Coagulación.-** En esta etapa se realiza la adición de coagulantes, deben ser uniformes y rápidos, con tiempos de residencia menores a 1 minuto, prácticamente 5 a 10 segundos con el objeto de desestabilizar las cargas de coloides que tienen carga negativa.

**La Floculación.-** Es un proceso de agitación suave y continua que permita reunir las partículas desestabilizadas para formar flocs de mayor tamaño y peso apropiada para su separación por gravedad.

**La Sedimentación.-** La sedimentación es la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

**La Filtración.-** La filtración es la operación final de clarificación, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad. Y consiste en la remoción de partículas muy finas removidas durante la sedimentación.

**La Cloración.-** Adición de cloro gas al agua, para eliminar los microorganismos patógenos.

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) el agua para consumo humano con tratamiento convencional se emplea en localidades mayores

de 2000 habitantes. Y la norma OS.020 fija los requisitos mínimos a los que deben sujetarse los diseños (Vasquez, 2014).

### **2.2.3 Sistemas por bombeo sin tratamiento**

Son sistemas cuyas fuentes de aguas subterráneas o subálveas, afloran o se encuentran por debajo de la cota mínima de abastecimiento de la localidad a ser servida y que demandan de algún tipo de equipo electromecánico (bomba) para impulsar el agua hasta el nivel donde pueda atender a la comunidad.

### **2.2.4 Sistemas por bombeo con tratamiento**

Son sistemas cuyas fuentes de agua son superficiales y están ubicadas por debajo del nivel de las localidades a ser atendidas, y que requieren de estaciones de bombeo para impulsar el agua hasta el nivel donde pueda atender a la Comunidad, y de plantas de clarificación, para el acondicionamiento de las aguas crudas para consumo humano.

## **2.3 LA DESINFECCIÓN DEL AGUA**

La desinfección del agua es una medida esencial de salud pública que data de principios de siglo XX, y su importancia se ha demostrado tanto en la teoría como en la práctica (USEPA, 1983).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011), considera que la desinfección del agua (superficiales y subterráneas) para consumo humano, no es otra cosa que la destrucción de microorganismos patógenos que causan enfermedades, la misma que se puede hacer mediante diversos medios físicos o químicos.

### 2.3.1 Enfermedades de origen hídrico

Desde hace 90 años la desinfección fiable del agua ha sido responsable del 50% de aumento de la expectativa de vida, porque ha permitido reducir considerablemente la incidencia de la tifoidea y el cólera en muchos países, antes de que se descubrieran los antibióticos y las vacunas. En todos los lugares donde se ha realizado adecuadamente la desinfección del agua, se han obtenido beneficios en la salud de los usuarios (OPS/ OMS, 2007).

En la actualidad son frecuentes las enfermedades transmitidas producto de ingerir agua contaminada, como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Principales enfermedades de origen hídrico y agentes responsables.

<b>Enfermedades de origen bacteriano</b>	<b>Agentes</b>
Fiebres tifoideas y paratifoideas	Salmonella typhi
Disentería bacilar	Salmonella paratyphi A y B
Cólera	Shigellasp.
Gastroenteritis agudas y diarreas	Vibrio cholerea Escherichiacolienterotoxinógena
<b>Enfermedades de origen vírico</b>	<b>Agentes</b>
Hepatitis A y E	Virus hepatitis A y E, Virus de la polio
Poliomelitis	Virus de Norwck Rotavirus,
Gastroenteritis agudas y diarreas	Enterovirus Adenovirus
<b>Enfermedades de origen parasitario</b>	<b>Agentes</b>
Disentiría amebiana	Entamoebahistolytica
Gastroenteritis	Giardialamblia Cryptosporidium

Fuente: Guía para la selección de sistema de desinfección (OPS/ OMS, 2007).

### 2.3.2 Medios para desinfectar el agua

La desinfección debe aplicarse cuando no se puede garantizar la potabilidad natural de forma permanente, se utiliza tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas expuestas a la contaminación fecal.

La desinfección del agua se puede conseguir por diversos medios físicos o químicos (Solsona & Méndez, 2002), como se describe a continuación:

**2.3.2.1 Ebullición.** Consiste en hervir el agua para desinfectarla.

**2.3.2.2 Rayos ultravioletas.** Esta técnica se utiliza en casos particulares, la eficiencia de la desinfección está estrechamente ligada a la calidad del agua que va a ser tratada. Además, debe considerarse que este tratamiento no tiene efecto residual<sup>3</sup> y no genera ningún subproducto.

**2.3.2.3 Procesos químicos.** Los reactivos más comunes son el cloro y sus derivados y el ozono junto con el dióxido de cloro. De todos ellos el cloro en forma de cloro gaseoso, de hipoclorito de sodio (lejía) o de hipoclorito de calcio (sólido), es el biocida<sup>4</sup> más empleado y el más antiguo (Sanz, 2015).

En general como los medios físicos requieren más inversión y aparataje, la desinfección a través de compuestos químicos son las más utilizadas.

### **2.3.3 Teoría de la desinfección**

En 1908, los investigadores Chick y Watson desarrollaron, la ley de Chick, determinaron que al aumentar el tiempo de contacto del desinfectante en el agua, disminuye el número de microbios en esta; comprobándose que el desinfectante es importante en la destrucción de microbios potencialmente nocivos (Arboleda, 1992).

### **2.3.4 Desinfectantes más comunes de agua**

Las opciones de desinfección se han estudiado a lo largo de la historia del tratamiento del agua, durante el cual se propusieron diversos métodos y tipos de

---

<sup>3</sup> Residual: Persistencia en el tiempo de ciertas características (Poder biocida en el presente caso).

<sup>4</sup> Biocida: Que tiene la facultad de matar microorganismos.

desinfectantes o sistemas para desinfectar el agua de consumo, pero ninguno es perfecto puesto que todos presentan ventajas e inconvenientes; por ejemplo, no eliminan todos los tipos de microorganismos y el elevado costo de implementación, hace que no sean viables.

A continuación, se describe brevemente las características de los medios químicos de desinfección y se explica porque se considera la desinfección con cloro gas y soluciones hipoclorito de calcio ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ) las más adecuadas teniendo en cuenta los contextos de emergencia y desarrollo en los que se va a implementar.

**2.3.4.1 El cloro:** En 1880 gracias a los trabajos de científicos como Pasteur y Escherich, se descubrió el origen microbiológico de las enfermedades hídricas y se explicó la acción bactericida del cloro (Pérez, 2016). La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011), plantea que es uno de los elementos más comunes para la desinfección del agua, oxidante poderoso, se puede aplicar como bactericida de amplio espectro ya que posee una acción desinfectante para muchos tipos de bacterias, hongos, algas, virus y microorganismos, además es relativamente barato, de fácil dosificación, efectivo y persistente en general. Además, brinda los siguientes beneficios:

- Es el único desinfectante que presenta propiedades residuales que perduran a lo largo del tiempo.
- Es un germicida potente con una actuación muy eficaz frente a microorganismos patógenos que provocan enfermedades.
- Posee una buena actuación frente a los sabores y olores contaminantes del agua.

Los productos de la familia del cloro disponibles en el mercado para realizar la desinfección del agua son:

- Cloro gaseoso ( $\text{Cl}_2$ ).
- El hipoclorito de sodio o lejía ( $\text{NaClO}$ ).
- El hipoclorito de calcio al 60 al 70% sólido comercial ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ )
- La preparación de cloro mediante electrólisis de una solución de cloruro de sodio (electro cloración)

La elección de uno u otro de estos productos será en función de: Cantidad necesaria de reactivo, posibilidad de abastecimiento, facilidad de operación, costo y seguridad (riesgos relativos al almacenamiento y a las manipulaciones). En la tabla 2.4 se presenta las características de las diferentes formas comerciales del cloro.

Tabla 2.4 Formas comerciales que se presenta el cloro.

	<b>Forma que se presenta el producto</b>	<b>Contenido de cloro</b>	<b>Estabilidad en el tiempo</b>	<b>Seguridad</b>
<b>Cloro gaseoso</b>	Gas licuado a presión	99 %	Muy buena, tener mucho cuidado con las fugas.	Gas muy tóxico.
<b>Hipoclorito de sodio</b>	Solución líquida amarilla	Máximo 15 %	Pérdida mensual del 2 al 4 %. Pérdida aún mayor si la temperatura supera los 30 °C.	Líquido corrosivo, contiene sosa.
<b>Hipoclorito de calcio</b>	Sólido blanco	Del 60 al 70 %	Pérdida anual del 2 al 2,5 %	Corrosivo. Posible inflamación en caso de contacto con ciertos materiales.

Fuente: Desinfección del agua (OPS/ OMS, 1999)

**2.3.4.2 El hipoclorito de calcio.** En 1881, el bacteriólogo alemán Robert Koch demostró bajo condiciones controladas de laboratorio que los cultivos puros de bacterias podían ser destruidos por hipoclorito. El desinfectante antiguo más usado en los pequeños abastecimientos es la solución de hipoclorito de calcio (Grondin, 2005). El hipoclorito de calcio, también conocido como HTH<sup>5</sup> es un sólido blanco en forma granular, de pelets o pastillas, cuya fórmula química es  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ , potente agente oxidante, libera cloro activo ( $\text{HOCl}$ ). En solución contiene concentraciones altas de cloro disponible, en estado sólido se mantiene estable por un año. Es recomendable determinar el cloro activo antes de preparar la solución de hipoclorito de calcio para el proceso de desinfección. El hipoclorito tiene un grado de estabilidad con la temperatura, lo que lo hace económicamente atractivo (Cánepa, 2004).

Entre sus desventajas se señalan: es ligeramente corrosivo en soluciones concentradas, forma trihalometanos con algunas sustancias orgánicas, de los cuales el cloroformo es de máximo interés por sospecharse que es un agente cancerígeno, cuando no existe una adecuada dosificación.

Las presentaciones del hipoclorito de calcio son: hipoclorito de calcio sólido comercial de 30%, 65% y 70% y se usa frecuentemente en la esterilización de agua potable (Sanz, 2015).

**2.3.4.3 El Yodo.** Ha sido reconocido como un desinfectante del agua potable desde principios del siglo pasado y se ha utilizado ampliamente para volúmenes pequeños de agua (González, 2004). Se recomienda como desinfectante de emergencia para agua en dosis de 2,5 mg/L a 7 mg/L (OMS, 2011).

---

<sup>5</sup> HTH = High Test Hypochlorite

**2.3.4.4 La Radiación ultravioleta.** La desinfección del agua con luz ultravioleta puede lograrse con longitudes de onda de luz entre 204 y 280 nm y se obtiene la máxima eficiencia germicida a los 260 nm. Así mismo, el poder de desinfección depende de la intensidad de la radiación, del tiempo de exposición y de la transmisión de la luz ultra violeta en el agua. Además, no tiene efecto residual, sólo se emplea en pequeños caudales, los quistes, virus son menos sensibles a los rayos ultra violeta (Solsona & Méndez, 2002).

**2.3.4.5 El Ozono.** Según la United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1983), se utiliza para la desinfección puntual de la aguas. Al utilizar el O<sub>3</sub> como desinfectante se debe tener en cuenta y controlar la concentración, por sus efectos sobre el riñón, el oído y el intestino, siendo el límite permisible de 0,01 mg/L.

El ozono tiene como desventajas (Pérez, 2016):

- No deja residual en el agua.
- Se debe producir in situ mediante generadores de ozono de alto consumo eléctrico.
- Elevado costo de primera instalación y tecnología complicada, lo cual limita su uso.

**2.3.4.6 Dióxido de cloro.** El Dióxido de cloro, ClO<sub>2</sub>, tiene un poder oxidante puntual que es importante para otros usos y no para el tratamiento de agua en línea. Posee un gran potencial en la desinfección del agua así como también en la remoción de olores y sabores (White, 2010). Una de sus propiedades más interesantes es su eficacia biocida en un amplio rango de pH (de 3 a 10) (Pérez, 2016).

Las principales desventajas, según (Solsona y Méndez, 2002), son:

- La formación de subproductos inorgánicos como el ión clorito,  $\text{ClO}_2^-$ , y el clorato  $\text{ClO}_3^-$ .
- La producción, el manejo implican cierta complejidad y riesgo (peligro de explosión) y es más caro que el cloro.

### 2.3.5 La cloración

Se entiende por cloración la operación que consiste en añadir cloro en bajas concentraciones al agua con el propósito de desinfectarla y se puede realizar mediante la aplicación de cloro gas, soluciones de hipoclorito de calcio o sodio (Solsona, 1990), como se muestra en la figura 2.6.

El hipoclorito de calcio, es, sin duda alguna, el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, incluyendo su fácil dosificación y costo conveniente. La popularidad del hipoclorito de calcio como desinfectante en zonas rurales se debe a las razones indicadas anteriormente y además por las siguientes:

- Existe disponible como líquido o en forma sólida.
- Es de fácil aplicación, manejo sencillo y bajo costo.
- La determinación de su concentración en el agua es sencilla.
- Deja un residual en la solución, el cual provee protección sanitaria en el sistema de distribución.
- Tiene una alta característica de toxicidad para los microorganismos causantes de enfermedades hídricas. Destruye los organismos patógenos del agua en condiciones ambientales y en un tiempo corto.
- En lugares donde no se pueden transportar cilindros de cloro gaseoso o en situaciones de emergencia es la única alternativa posible.

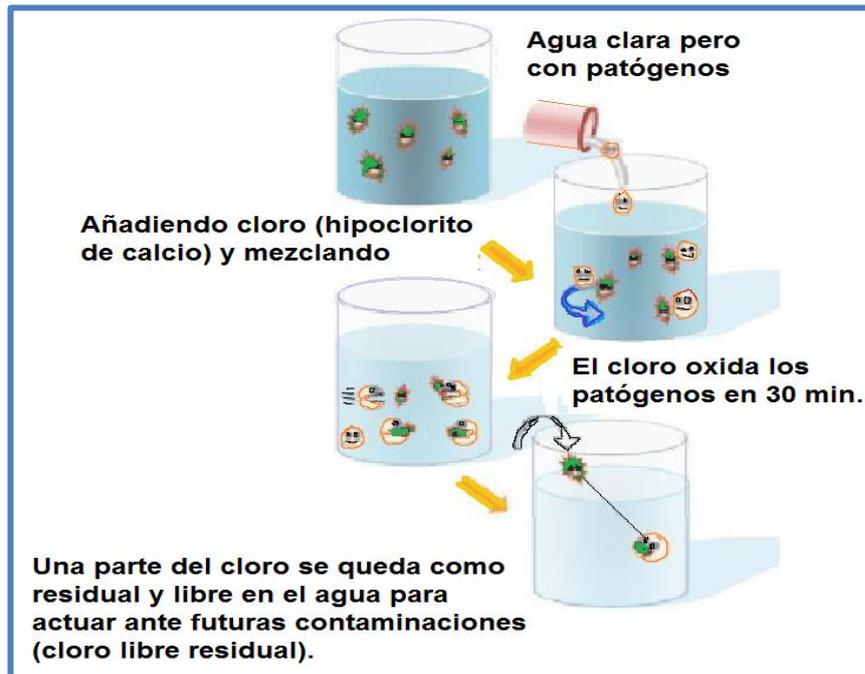


Figura 2.6 La cloración, efecto remanente del cloro en el agua (Sanz, 2015).

De la figura 2.6 la reacción del cloro libre y el reactivo DPD (N,N-dietil-p-phenyl-diamine) produce instantáneamente un color rosa cuya intensidad es directamente proporcional a la cantidad de cloro residual existente (HACH, 2000).

### 2.3.6 Química de la cloración

Según George Clifford (White, 2010), la cloración del agua potable se lleva a cabo con el cloro elemental gaseoso ( $\text{Cl}_2$ ) o mediante la disolución de los compuestos de cloro y su posterior dosificación. El cloro en cualquiera de sus formas, reaccionan con el agua, y forma ácido hipocloroso ( $\text{HOCl}$ ) de la siguiente forma:



Cuando se utiliza el hipoclorito de calcio, HTH, la reacción es:



Durante el proceso químico de la desinfección se producen compuestos tales como las cloraminas, que sirven como desinfectante, aunque reaccionen de manera lenta. Asimismo, se forman los hidróxidos de calcio, los cuales no participan en el proceso de desinfección.

La especie desinfectante es el ácido hipocloroso (HOCl), el cual se disocia en iones hidrógeno ( $H^+$ ) e hipoclorito ( $OCl^-$ ), estos iones forman el denominado cloro libre residual (Cánepa, 2004).



A pH mayores de 4, las especies predominantes son el HOCl (ácido hipocloroso) y  $OCl^-$  (ión hipoclorito). Más aún, el porcentaje de cloro presente como HOCl depende fuertemente del pH, ya que este es un ácido débil. La desinfección más letal con cloro ocurre a pH bajo, o sea en medio ácido. Es por eso que se considera que el HOCl es 80 a 100 veces más efectivo que el  $OCl^-$  en la destrucción de los organismos en general. La disociación del ácido hipocloroso depende de la concentración de ión hidrógeno, o sea del pH; es decir:

- A pH igual a seis o menor el residual es predominante HOCl;
- A pH igual a 7,7 los residuos del HOCl y  $OCl^-$  son aproximadamente similares.
- A pH igual o mayor que nueve casi todo el residual es  $OCl^-$ .

Dependiendo de la dosis de cloro, del pH, de la cantidad de amoníaco, del tiempo de contacto y de la temperatura, el cloro eventualmente oxida el amoníaco en nitrógeno gaseoso, nitrato y otros compuestos de nitrógeno; es decir si existe amoníaco, el ácido hipocloroso reaccionará con él para producir:

- Monocloramina ( $NH_2Cl$ ): a temperatura ambiente y pH mayor de 8,5



- Dicloramina ( $\text{NHCl}_2$ ): con pH alrededor de 4,5



- Tricloramina ( $\text{NCl}_3$ ): con pH menor de 4,4



Vale mencionar que entre pH 4,5 y 8,5 se forman mono y dicloraminas. Todo cloro presente en el agua en forma de cloramina es lo que se conoce como cloro combinado disponible o cloro combinado residual. Los residuales de cloro combinado son más estables que los libres residuales, pero menos efectivos como desinfectantes, tal como se muestra en la figura 2.7 (OPS/ OMS, 1999).

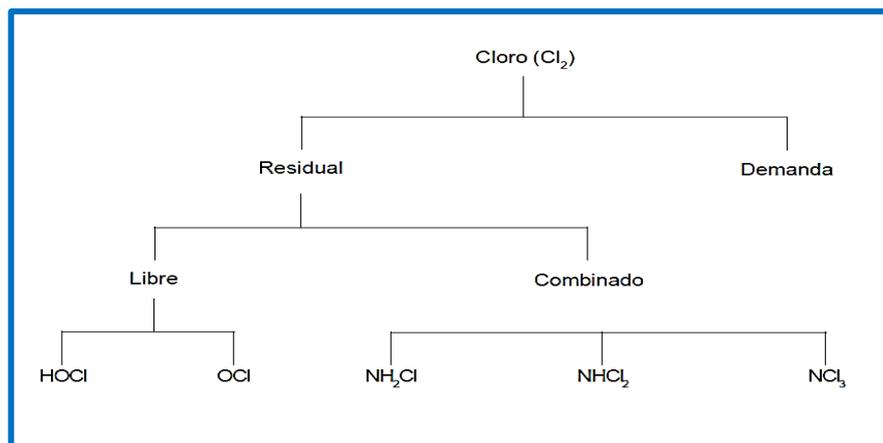


Figura 2.7 Formas importantes de cloro en la cloración del agua (Cánepa, 2004).

Al añadir cloro al agua se producen diversas reacciones, en cuatro etapas, que también pueden ser explicadas con la curva de demanda de cloro (o curva break-point).

*Etapas 1.* Las primeras cantidades de cloro reaccionan con la materia orgánica del agua. El cloro medido en esta etapa es cero, porque se gasta todo en esa reacción.

*Etapas 2.* El cloro empieza a reaccionar con los compuestos nitrogenados: amoníaco y compuestos aminonitrogenados que pueda haber. Si hay presencia de

amonio, el cloro reacciona formando cloraminas: monocloramina, dicloramina y tricloramina.

*Etapa 3.* Si se añade más cloro, el cloro medido disminuye. En esta etapa, el nuevo cloro introducido destruye los compuestos formados durante la etapa anterior, hasta el llamado punto de ruptura o break point, que marca el final de la demanda de cloro del agua.

*Etapa 4.* En esta etapa final, el cloro que se añade sí se puede medir ya como cloro libre residual o cloro residual libre, y es en este momento cuando se puede garantizar una desinfección eficaz del agua y un efecto residual adecuado. En la figura 2.8 se muestra la curva de demanda de cloro y la evolución de la cantidad de cloro residual,

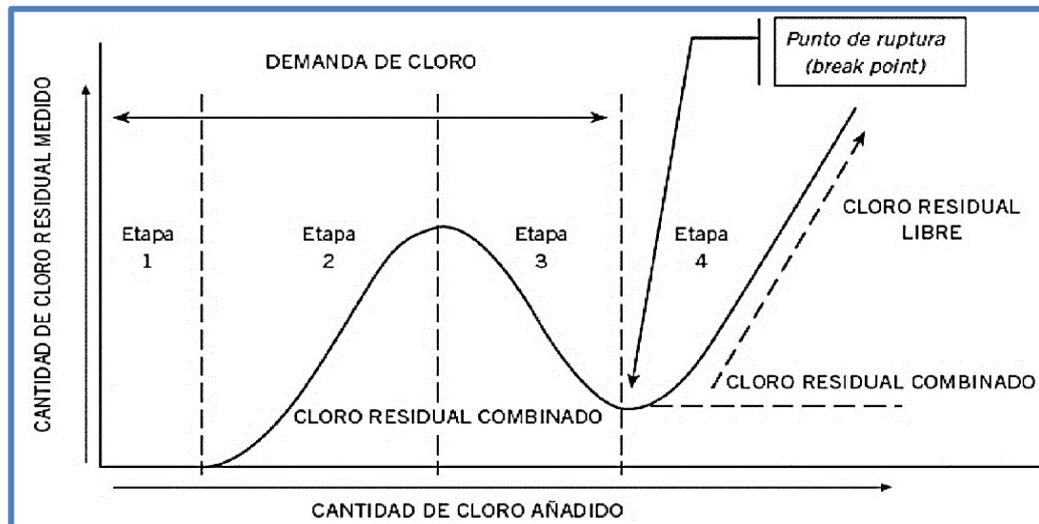


Figura 2.8 Evolución de la cantidad de cloro residual. ([http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/curso/uni\\_06/u6c4s3.htm](http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/curso/uni_06/u6c4s3.htm))

En conclusión, los primeros miligramos de cloro introducidos no garantizan la desinfección. De hecho; antes de que éste pueda garantizar realmente una acción eficaz, se deberá agregar una cantidad variable de desinfectante para que se produzca todas las reacciones químicas secundarias. Esta cantidad se denomina demanda de cloro.

## 2.4 TIPOS DE SISTEMAS DOSIFICADORES

A inicio de la década de los setenta, en varios países latinoamericanos en vías de desarrollo se empezaron a adoptar tecnologías de tratamiento de agua potable para comunidades rurales. Existen diferentes tipos de dosificadores que se pueden utilizar dependiendo de las condiciones de trabajo existentes (Sanz, 2015).

Existen factores externos en la tipificación de dosificadores de hipoclorito de calcio. Así, hay los que trabajan bajo presión atmosférica y otros trabajan bajo presión positiva o negativa (Solsona, 2002), tal como a continuación se describe:

### 2.4.1 Bajo presión atmosférica

**2.4.1.1 Tanque con válvula flotador.** El sistema cuenta con una válvula de flotador, un tanque que contiene la solución de hipoclorito a ser alimentada. El rango de servicio es menor a 20000 habitantes, como se muestra en la figura 2.9.

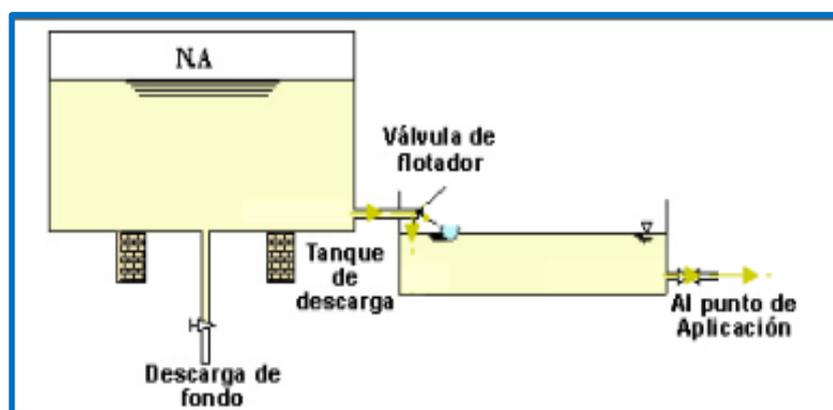


Figura 2.9 Tanque con válvula de flotador (Solsona, 1990).

Las deficiencias de este equipo son los siguientes:

- Los dispositivos no son muy seguros, por lo que, los riesgos por salpicaduras y derrames son latentes.

- No se puede controlar el caudal de dosificación, por lo que exige control constante.

**2.4.1.2 Tubo con orificio en flotador.** El elemento básico es un tubo de PVC con uno o más orificios. El tubo se fija a un dispositivo flotante y el orificio debe colocarse algunos centímetros debajo del nivel de la solución, tal como se detalla en la figura 2.10.

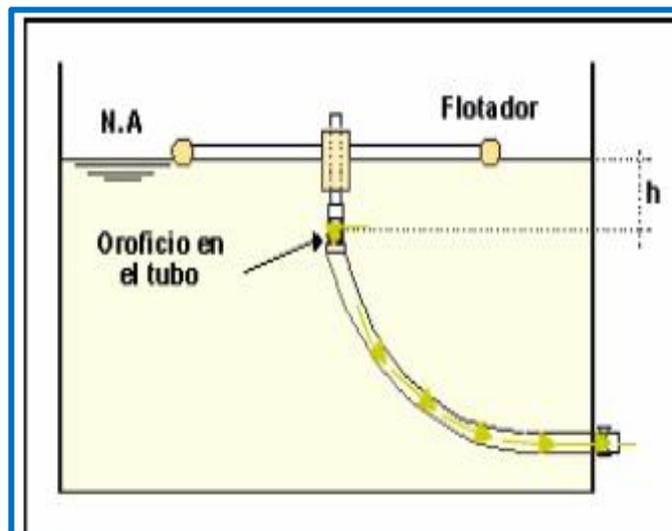


Figura 2.10 Dosificador de tubo con orificio en flotador (Solsona, 1990).

Este equipo presenta muchas falencias tales como:

- Requiere vigilancia diaria para cerciorarse que el orificio del flotador se mantenga limpio.
- El caudal de dosificación debe ser constante y la solución del tanque no debe agotarse.
- Necesita un filtro para retener el material particulado.

**2.4.1.3 Hipoclorador de flujo difusión.** Este equipo fue desarrollado por (CEPIS/OPS, 2007), construida con tubería de PVC de agua, tiene una capacidad máxima para tratar caudales de 0,35 L/s, una altura máxima de 60 cm, como se muestra en la figura 2.11.

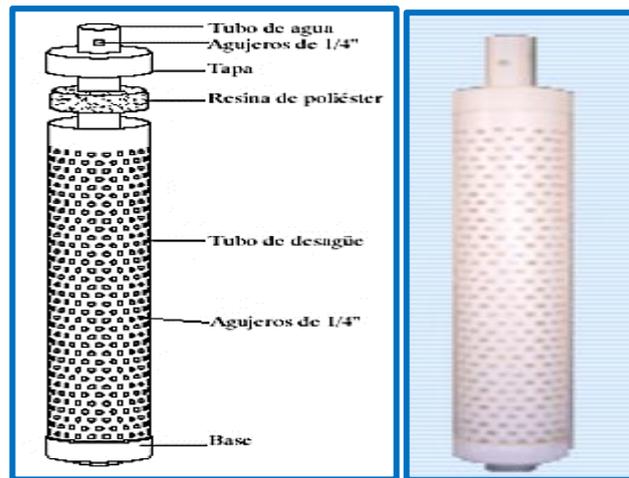


Figura 2.11 Dosificador flujo difusión y elementos (Solsona, 1983).

Este dosificador tipo lecho con hipoclorito de calcio sólido se caracteriza por ser ineficiente porque requieren mezclar bien el hipoclorito sólido, compactar hasta eliminar los espacios vacíos. Necesita una cuerda que le sujete en el reservorio, la duración del hipoclorito es por periodos cortos. Presenta exceso de cloro al inicio de la cloración y un déficit al pasar los días (Warden, 1982).

**2.4.1.4 Dosificador vaso/botella.** Este sistema fue desarrollado en Argentina en la década de 1970, para la desinfección del agua en zonas rurales y es aplicable para pequeñas comunidades de hasta 20000 habitantes. El rango de dosificación es de 2 a 10 L/h y consta de un elemento de dosificación, conexiones y una válvula de regulación, como se detalla en la figura 2.12.

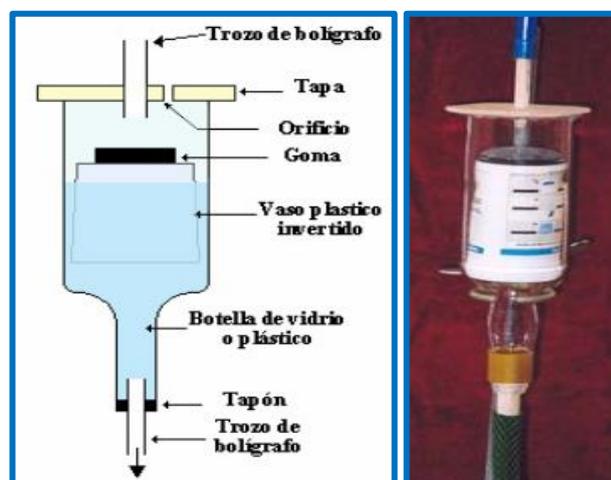


Figura 2.12. Dosificador vaso/botella y sus partes (Solsona & Méndez, 2002).

El inconveniente con este dosificador, es el peligro de que los accesorios se desacomoden o caigan cuando se termine la solución de hipoclorito y al ser llenado nuevamente puede volver a ocurrir un nuevo desacomodamiento. Otra de las deficiencias es la obstrucción con material particulado insoluble, debido a que los conductos son relativamente pequeños y estrechos.

**2.4.1.5 Dosificadores solares.** Este tipo de dosificador emplea energía solar. Se acondicionan paneles solares con celdas fotovoltaicas (Warden, 1982).

Este tipo de dosificador presenta los siguientes inconvenientes:

- Es indispensable la presencia permanente de los rayos del sol.
- La operación y mantenimiento del equipo es bastante complejo, por lo que requiere de un personal capacitado.
- Los costos de algunos componentes del equipo son poco accesibles y difíciles de encontrar en el mercado regional.

**2.4.1.6 Dosificador por goteo.** Este dosificador cuenta con un tanque de almacenamiento, un pequeño recipiente regulador conectado a una llave de paso (goteo de suero de los hospitales), está construida con tubería de PVC para agua, desmontable, su operación es sencilla y es resistente a la corrosión. El equipo y sus accesorios se encuentran en el mercado regional y local, sin tener que acudir a tiendas especializadas. Este dosificador por goteo permite dosificar hasta un caudal de 125 mL/s para una concentración de cloro de 0,5% (5000 mg/L), tiene una capacidad de tratar caudales hasta de 8 L/s con un rango de servicio menor 2000 habitantes (Warden, 1982). La figura 2.13 ilustra este tipo de dosificador.

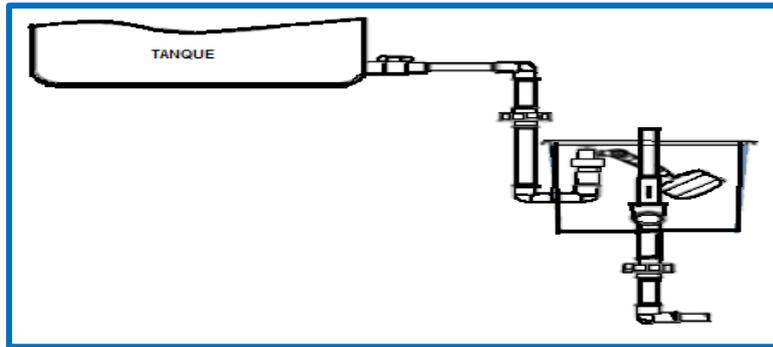


Figura 2.13 Dosificador por goteo de carga constante (Warden, 1982).

Son muy económicas, no necesita energía eléctrica, puede usarse en cualquier situación. El mantenimiento de los dispositivos que lo conforman resulta fácil de realizar.

## 2.4.2 Bajo presión positiva o negativa

**2.4.2.1 Bomba diafragma (positiva).** Estas bombas están equipadas con una cámara que tiene dos válvulas unidireccionales, una a la entrada y otra a la salida, como se muestra a continuación en la figura 2.14.

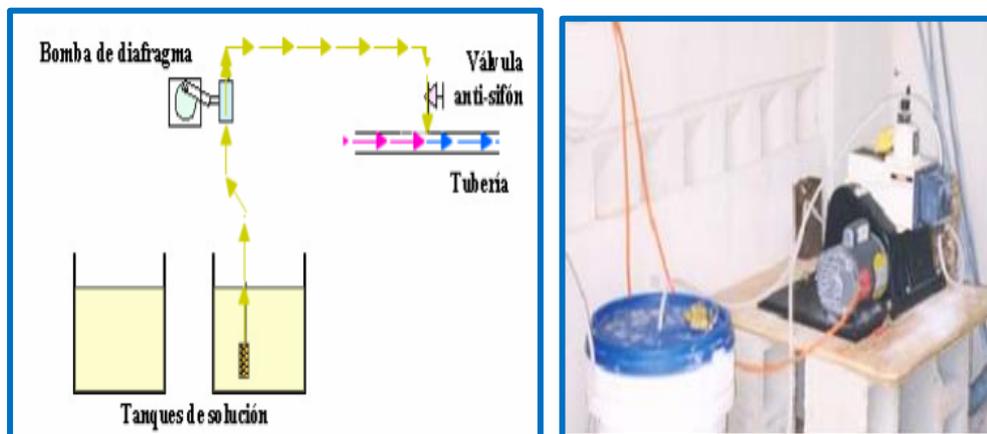


Figura 2.14 Dosificador de diafragma de desplazamiento positivo alimentando una tubería a presión (Solsona & Méndez, 2002).

No se puede emplear este equipo cuando el agua es dura o tiene altos contenidos de sólidos disueltos, o cuando se emplea cal clorada disuelta. Requiere de personal capacitado en el manejo correcto (operación y mantenimiento) del equipo, necesita energía eléctrica, costo elevado.

**2.4.2.2 Dosificador por succión (negativa).** El dosificador de presión negativa succiona la solución de cloro generando un vacío, debe ser instalada directamente a la tubería de distribución (Sanz, 2015).

### 2.4.3 Erosión

Los dosificadores que trabajan bajo el sistema por erosión utilizan tabletas de hipoclorito de calcio de alta concentración, las que se pueden obtener de distribuidores o pueden prepararse localmente comprimiendo mecánicamente polvo de hipoclorito de calcio como se muestra en la figura 2.15.



Figura 2.15 Clorador en línea (Sanz, 2015).

Este sistema presenta como principal inconveniente la dependencia de un operador quien debe monitorear continuamente el porcentaje de cloro residual existente en la red de distribución de agua y además los parámetros de ingreso que influyen en la variabilidad de este control, además de detectar que no haya obstrucciones. El equipo es muy costoso.

## 2.5 SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA PARA EL SECTOR RURAL

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011), son frecuentes en todo el mundo, tanto en países desarrollados como en desarrollo, que los sistemas de suministro de agua de consumo son poco gestionados en el sector rural.

El Instituto Nacional de Estadística e informática (INEI, 2010), define como área rural el territorio de un distrito integrado por los centros poblados rurales, que tienen menos de 100 viviendas agrupadas contiguamente o están dispersos.

La calificación como área rural a las localidades con menos de 2000 habitantes, genera un vacío en el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (RNE) (Pronasar, 2004).

No obstante, las instituciones como la Dirección Regional de Salud (DIRESA), Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS), Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social (FONCODES), prestan apoyo en la formulación de proyectos y construcción de sistemas de agua potable con sistemas de disposición de excretas en coordinación con las agencias de desarrollo, la Organización No Gubernamental (ONG), los gobiernos regionales y las municipalidades. Donde las Juntas Administradoras de los Servicios de Saneamiento (JASS), son el ente fiscalizador en las comunidades del ámbito rural.

Actualmente en las comunidades del sector rural se consume agua entubada, cuenta con un tratamiento de potabilización menos exigente, tal como se visualiza en la siguiente figura 2.16.

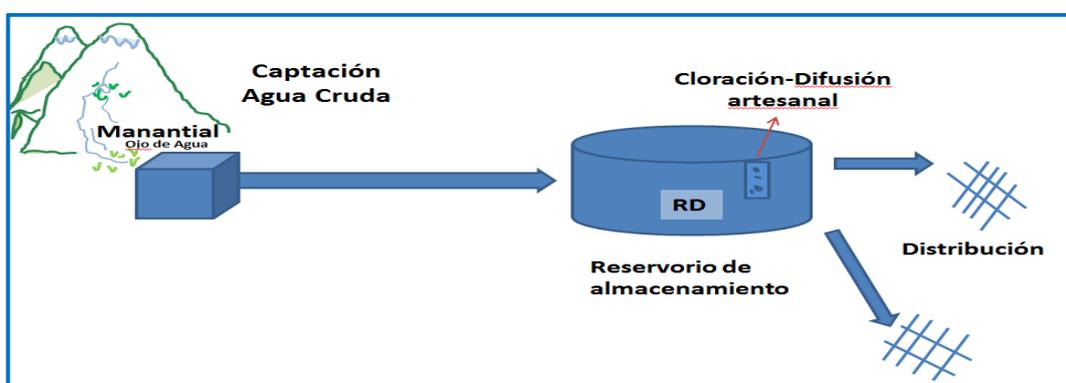


Figura 2.16 Sistema de suministro actual de agua en el sector rural.

De la figura 2.16, el tipo de cloración es artesanal por flujo difusión, no garantiza que el agua clorada este dentro del rango admisible cloro residual  $> 0,5$  mg/L, como se

muestra en la figura 2.17. Otro inconveniente es la inexistencia en el mercado local del hipoclorito de calcio al 30% sólido comercial.

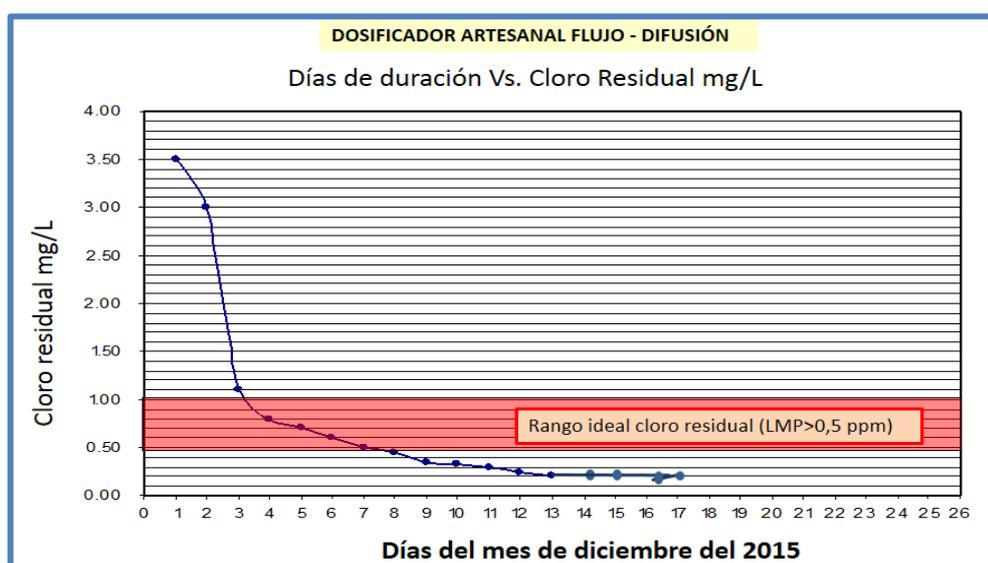


Figura 2.17 Gráfico de los días de duración y el cloro residual del dosificador de cloro artesanal flujo – difusión en la comunidad de Capillapata el 2015.

En la figura 2.17, el hipoclorito de calcio únicamente dura 17 días, el cloro residual tiene concentraciones muy elevadas los primeros días, el rango ideal de cloro únicamente es de 6 días. Desde el día 8 no hay presencia de cloro residual.

Según reportes preliminares del 2016 del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) del Perú a través del Programa Nacional de Saneamiento Rural (PNSR), estima que menos del 3% de los sistemas de abastecimiento de agua rural suministran agua clorada en nuestro departamento de Ayacucho, con el consecuente riesgo para la salud de los usuarios que se abastecen de estos sistemas.

En la actualidad en los equipos de cloración más utilizados en las pequeñas comunidades de nuestro departamento, vienen utilizando sistemas facilitados por la Dirección Regional de Salud Ayacucho (DIRESA), el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS), como se muestra en las figuras 2.18, 2.19 y 2.20.



Figura 2.18 Cloradores artesanales (DIRESA, 2015).



Figura 2.19 Modelo de cloración por goteo de la Dirección Regional de Salud Ayacucho (DIRESA).



Figura 2.20 Modelo de cloración por goteo del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS).

## 2.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE CLORACIÓN

Cuando se diseñan sistemas nuevos, debe tenerse en cuenta todos los factores de la calidad del agua en la selección de tecnologías para el tratamiento del recurso hídrico. Considerar también la variabilidad de la turbidez (menores a 1 UNT) y otros parámetros del agua de manantial “ojo de agua” sin tratar. Estos fenómenos pueden reducir tanto la calidad como la disponibilidad del agua de consumo y hacer peligrar la salud pública.

### **2.6.1 Parámetros técnicos que influyen en el diseño de un sistema cloración por goteo.**

Según (Sanz César, 2015), para determinar los parámetros que influyen en el diseño y en consecuencia en la eficiencia de la desinfección, debe realizarse la verificación de la calidad del agua y la posibilidad de cloración, además de cumplir con las siguientes condiciones:

- Temperatura del agua.
- La turbidez menor o igual a 1 NTU.
- El pH debe estar entre 6,5 a 8,0.
- El agua a tratar no debe estar contaminada químicamente (en cuyo caso la desinfección con cloro no sería válida).
- El tiempo de retención o de contacto en el sistema de cloración debe ser mayor a 30 minutos (tiempo transcurrido entre la dosificación del cloro y el consumo del agua).
- El cloro libre residual en la última vivienda debe ser mayor a 0,5 mg/L.

Si al momento de diseñar los parámetros adecuados no son tomados en cuenta o no se pueden aplicar, o se aplican de forma errónea en un momento dado, una sobredosis de cloro permitirá obtener una desinfección correcta del agua, pero como consecuencia de ello aparecerán subproductos de desinfección cancerígenos (Trihalometanos) (Olmedo Sánchez, 2008).

Se ha demostrado que cierta concentración de cloro puede destruir hasta el 99% de los microorganismos presentes en el agua, pero esta queda reducida aproximadamente a un 50%, por cada 10 grados centígrados que aumente la temperatura (White, 2010).

El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS), recomienda que el caudal de ingreso al reservorio sea mayor a 0,25 L/s hasta 20 L/s, para implementar el sistema por goteo. Para caudales mayores a 20 L/s se inyecta cloro gas (MVCS, 2017).

## **2.6.2 Bases de diseño**

En el caso del diseño del sistema de dosificación por goteo, incluye la demanda de agua, la oferta de agua y la calidad de agua. También se toma en consideración las normas de diseño nacional. Las bases de diseño se componen de los siguientes parámetros:

### **2.6.2.1 Demanda de agua**

Para el cálculo de la demanda de agua se requiere analizar cuatro variables, que son:

- a. Periodo de diseño.** Tiempo en el cual el sistema será 100% eficiente, ya sea por la capacidad en la conducción del gasto deseado o por la existencia física de las instalaciones (vida útil del sistema) (Aguero, 1997). Las normas generales recomiendan para sistemas de cloración que utilicen materiales PVC, con abastecimiento por gravedad de agua potable en el medio rural, tengan un periodo de diseño de 10 años (Pronasar, 2004).
- b. Población actual y futura o de diseño.** El ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, establece para las comunidades rurales el cálculo en base a la población actual mediante un censo o un conteo de viviendas (Equipo de estudios de Inversión del Ministerio de Vivienda, 2016). La población futura, se obtendrá con la fórmula siguiente:

$$P_f = P_a \times \left(1 + \frac{r \times t}{1000}\right) \quad (2.10)$$

Dónde:

$P_f$  = Población futura

$P_a$  = Población actual

$r$  = Tasa de crecimiento anual por 1000 habitantes

$t$  = Tiempo en años

Cuando no existe información consistente, se considera el valor ( $r$ ) en base a los coeficientes de crecimiento lineal por departamento que se presentan en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Coeficiente de crecimiento lineal por departamento ( $r$ )

Departamento	Crecimiento anual por mil habitantes ( $r$ )
Tumbes	20
Piura	30
Ayacucho	10
Cusco	15
Amazonas	40

Fuente: (Aguero, 1997).

**c. Dotación de agua.** La dotación de agua se expresa en litros por habitante al día (L/habitante/día), teniendo en cuenta la zona geográfica, el número de habitantes, podrá tomarse como valores guía los que se indican en la siguiente tabla 2.6.

Tabla 2.6 Dotación por número de habitantes

Población (Habitantes)	Dotación (L/hab/día)
Hasta 500	60
500 – 1000	60 – 80
1000 – 2000	80 – 100

Fuente: (Aguero, 1997)

d. **Cálculo de caudales de diseño.** Según la guía simplificada para la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de saneamiento básico en el ámbito rural, a nivel de perfil, del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), se calcula los siguientes caudales de diseño (Equipo de estudios de Inversión del Ministerio de Vivienda, 2016):

➤ **Caudal promedio diario anual (Q<sub>m</sub>).** Expresada en litros por segundo (L/s) y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q_m = \frac{P_f \times d}{86400 \text{ s/día}} \quad (2.11)$$

Dónde:

Q<sub>m</sub> = Consumo promedio diario (L/s).

P<sub>f</sub> = Población futura (habitantes).

d = Dotación (L/habitante/día).

➤ **Caudal máximo diario (Q<sub>máx.d</sub>).** Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{máx.d} = K_1 \times Q_m \quad (2.12)$$

Dónde:

Q<sub>máx.d</sub> = Caudal máximo diario (L/s)

K<sub>1</sub> = 1,3

Q<sub>m</sub> = Consumo promedio diario (L/s).

➤ **Caudal máximo horario (Q<sub>máx.h</sub>).** Se determinará con la siguiente ecuación:

$$Q_{máx.h} = K_2 \times Q_m \quad (2.13)$$

Dónde:

Q<sub>máx.h</sub> = Caudal máximo horario (L/s)

K<sub>2</sub> = 2,0

Q<sub>m</sub> = Consumo promedio diario (L/s).

El  $Q_{\text{máx.h}}$  es un valor con el cual se diseña, porque cubre los consumos máximos más frecuentes en las horas pico de utilización del líquido vital.

### **2.6.2.2 Oferta de agua**

Es la oferta de agua para la alimentación del sistema de cloración por goteo, se da en la fuente de captación del manantial, que se ubica en la parte más alta de la misma comunidad (Pronasar, 2004).

### **2.6.2.3 Calidad de agua**

La calidad del agua se determina por dos parámetros que son: físicos, químicos y microbiológicos. La calidad del agua es un aspecto de mucha importancia, para el diseño del sistema de cloración por goteo, siendo determinante para el uso o no de la fuente, así mismo es un factor decisivo en la salud de la población.

## **2.6.3 Tanque de almacenamiento**

El tanque de almacenamiento juega un papel básico en el diseño para el sistema de cloración por goteo, porque cumple la función de carga y de seguridad del servicio, garantiza la calidad y cantidad en el sistema (Pérez, 2016). Satisface la demanda máxima diaria. El tanque de almacenamiento está dotado de válvulas que servirán para el control de la solución de cloro, con sus respectivos accesorios, tuberías de entrada, salida, limpieza y rebose, con las especificaciones que se muestran en la tabla 2.7.

Tabla 2.7 Presentación comercial y especificaciones técnicas del tanque.

Capacidad (L)	Diámetro (m)	Altura (m)	Peso (kg)	Color
750	1,13	1,05	15,00	Beige

Fuente: Guía Rotoplás (CID, 2016).

Las tuberías y accesorios, tomando en cuenta las condiciones topográficas, el clima de la localidad, la facilidad de conexión, la calidad, la resistencia que ofrecen si se expone al sol y los costos accesibles son de PVC (Salvador, 2005).

### 2.6.3.1 Accesorios del tanque

Toda la línea de accesorios cumple con las especificaciones contenidas en la norma ASSE (American society of safety Engineers) 1002 de Norteamérica; están diseñadas para ser instaladas de manera sencilla y práctica, ver la figura 2.21, además cada accesorio aporta un beneficio extra al sistema como: garantizar la calidad del agua, evita variaciones de temperatura interna en el tanque, posee una capa blanca anti bacterias que inhibe el crecimiento y reproducción de bacterias y algas, contaminador exterior.



Figura 2.21 Accesorios básicos del tanque de almacenamiento (CID, 2016).

Los accesorios que conforman el tanque son:

- 1) Válvula de llenado: Permite un eficiente, rápido y continuo suministro de solución concentrada.

- 2) Multiconector con válvula esfera y tuerca Unión: Permite limpiar y lavar el tanque, mantiene la presión en el agua, proporciona un mejor caudal, además de evitar cualquier tipo de fuga y ahorro en tiempos de instalación.
- 3) Flotador # 5: Asegura que el agua no rebase el nivel óptimo del tanque, evitando que el agua se derrame.
- 4) Tubo de aire: Desaloja el aire contenido en las líneas de agua. Ayuda al flujo uniforme de la solución de hipoclorito que baja hacia el tanque regulador.
- 5) Filtro estándar: Retiene sólidos como arena, tierra y sedimentos que vienen con el agua. Brinda agua cristalina y evita que se tapen las tuberías y demás componentes del sistema, en la figura 2.22 se detallan los componentes.

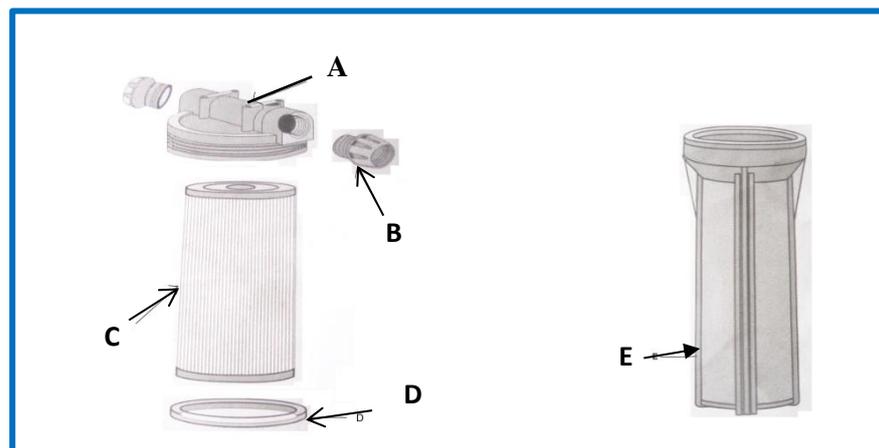


Figura 2.22 Principales componentes del filtro para agua: (A) Tapa, (B) Reductores, (C) Cartucho filtrante, (D) Sello, (E) Vaso porta cartucho (CID, 2016).

- 6) Tapa click de cierre perfecto: Con diseño ergonómico que permite el cierre perfecto. Es convexa para que no se acumule el agua de lluvia, evitando que se desarrollen los mosquitos.

#### 2.6.4 Tanque regulador

El diseño fue construido basado en el principio de carga hidráulica y la ecuación de Bernoulli (Darby, 2001):

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f \quad (2.14)$$

Dónde:

$Z_1$  = Carga estática

$\frac{V_1^2}{2.g}$  = Carga cinética

$\frac{P}{\rho.g}$  = Carga de Presión

$\sum h_f$  = sumatoria de la perdida de carga

Lo que permite determinar la altura de carga o columna de agua.

### 2.6.5 Dispositivo de control de goteo y su comportamiento hidráulico

La historia del gotero comenzó a partir de un hecho cotidiano bastante simple: la observación de un agricultor del Kibbutz Hatzerim al sur de Israel, sobre el desarrollo de algunas plantas que por casualidad estaban siendo regadas gota a gota a través de un tubo donde se filtraba agua por una pequeña fisura. La oportunidad de la observación, llevó a que el Ingeniero Sijan Blass se desarrolle como inventor y precursor del primer gotero para riego en la agricultura mundial del siglo XX. Luego de algunos años se crea la primera empresa de riego por goteo, denominándola Netafim, que en hebreo significa precisamente goteo (Cabrera, 2007).

La ecuación que relaciona el caudal de salida con la cabeza del gotero final tiene la siguiente forma, para los goteros auto compensados.

$$Q = Kh^n \quad (2.15)$$

Dónde:

Q = Caudal de goteo (L/s)

$K$  = Coeficiente de goteo

$h$  = Altura piezométrica (m)

$n$  = 0,0 - 0,40 para el gotero auto compensado.

Esta ecuación se emplea cuando el valor de  $K$  no es proporcionado por el fabricante (Saldarriaga, 2007). Es necesario calibrar experimentalmente para determinar el coeficiente  $K$ . En la figura 2.23, se muestra el caudal de goteo para el gotero comercial Jain Emitter de 2, 4, 8 y 14 L/h a diferentes presiones, proporcionadas por el fabricante.

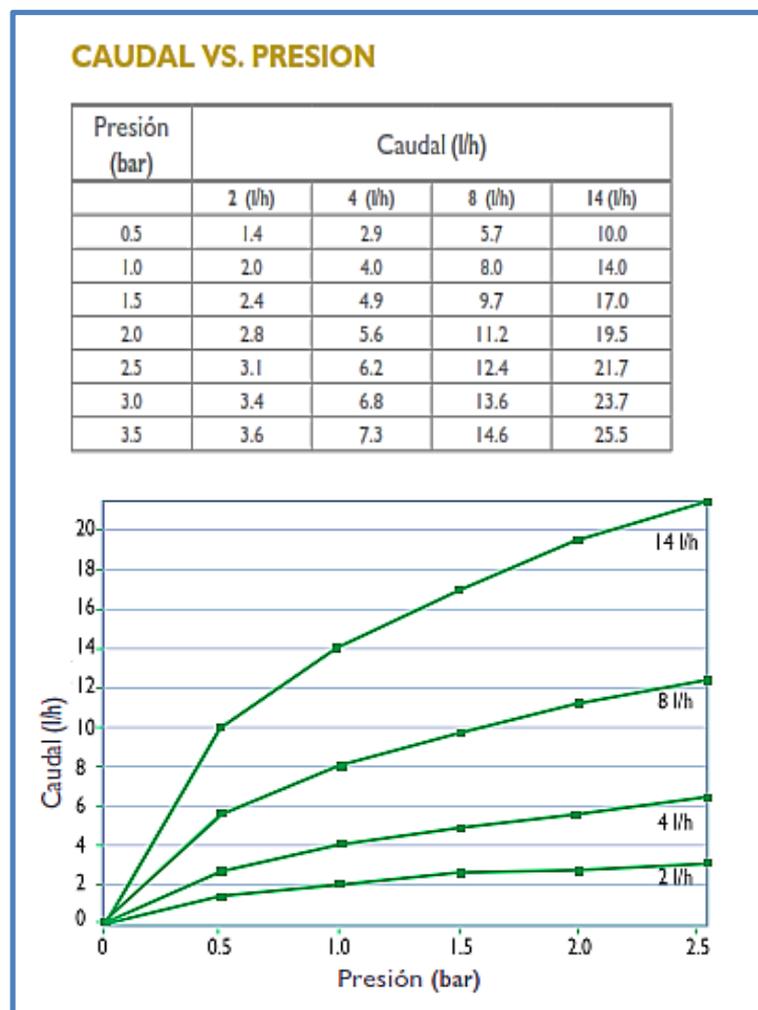


Figura 2.23 Caudal de goteo a diferentes presiones (NaanDanJain, 2015)

## **2.7 MARCO LEGAL**

El acceso al agua potable es una necesidad primaria y por lo tanto un derecho humano fundamental, por lo que es necesario aplicar el reglamento de los requisitos oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables.

En el Perú tenemos los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua que divide a las aguas por categorías y sub categorías según su uso.

### **Categoría 1: Poblacional y Recreacional**

- Sub Categoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable
  - A1: Pueden ser potabilizadas con desinfección
  - A2: Pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional
  - A3: Pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
  
- Sub Categoría B: superficiales destinadas para recreación
  - B1: Contacto primario
  - B2: Contacto secundario

### **Categoría 2: Actividades Marino Costeras**

### **Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

### **Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Esta norma fue aprobada con D.S N<sup>0</sup> 015 – 2015 - MINAM el 19 de diciembre 2015, publicada la última modificación en las Normas Legales “El Peruano” el 07 de junio del 2017 con D.S N<sup>0</sup> 004 – 2017 - MINAM. Los resultados de la caracterización de las fuentes de agua a tratar (manantiales, ríos, lagos en su condición de cuerpo receptor) se comparan con los ECA y se determina el tipo de uso y tratamiento de potabilización a diseñar.

Cuando el agua potabilizada pone en riesgo a la salud de la población, los resultados son comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) que figuran en los anexos del “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano”, aprobado con el D.S. N° 031 - 2010 - SA (**Ver anexo 2**). Es de aplicación puntual, el monitoreo es en lugares estratégicos. El Reglamento, cuenta con 10 títulos, 81 artículos, 12 disposiciones complementarias, transitorias, finales y 5 anexos; establece los Límites Máximos Permisibles (LMP), en lo que a parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y parámetros radiactivos, se refiere. Así mismo asigna nuevas y mayores responsabilidades a los gobiernos regionales y municipales respecto a la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano; además de fortalecer a la Dirección Regional de Salud (DIRESA), en el posicionamiento como Autoridad Sanitaria frente a estos temas.

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 ASPECTOS PRELIMINARES

La investigación se desarrolló en la comunidad de Capillapata del distrito de los Morochucos, provincia de Cangallo del departamento de Ayacucho. Las principales vías de acceso a la comunidad se muestran en la siguiente figura 3.1.



Figura 3.1 Vías de acceso a la comunidad de Capillapata del distrito de Los Morochucos (MTC, 2016).

La población del distrito de Los Morochucos está segmentada en treinta y cuatro comunidades, por razones de organización en las labores de coordinación de sus actividades (INEI, Anuario Estadístico 2016).

### 3.1.1 Ubicación geográfica del área de estudio

La ubicación de las coordenadas geográficas, del plano topográfico y la altitud de las zonas de muestreo, fueron determinadas con un equipo de posicionamiento global (GPS). Se realizó el levantamiento topográfico de la red de distribución con los puntos de muestreo, referido al Norte Magnético (NM), considerando las características de la zona (**Ver anexo 3 - plano 02**).

La comunidad de Capillapata se encuentra ubicada entre los  $13^{\circ} 33' 59,18''$  y  $74^{\circ} 16' 51,62''$  de latitud sur y longitud oeste, respectivamente como se muestra en la siguiente tabla 3.1.

Tabla 3.1 Ubicación geográfica de la comunidad de Capillapata.

Comunidad campesina	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m.)	Región
	Latitud sur	Longitud oeste		
Capillapata	$13^{\circ}33' 59,18''$	$74^{\circ}16' 51,62''$	3606	Sierra

Fuente: (SENAMHI, 2016)

El área de estudio estuvo comprendida en la comunidad campesina de Capillapata del centro poblado de Ñuñunhuaycco, la fuente de captación es el manantial de Huaynayacu. Políticamente, el área de trabajo tiene la siguiente ubicación de acuerdo al plano 01 mostrado en la figura 3.2.

Distrito : Los Morochucos  
 Capital del distrito : Pampa Cangallo  
 Provincia : Cangallo  
 Departamento : Ayacucho

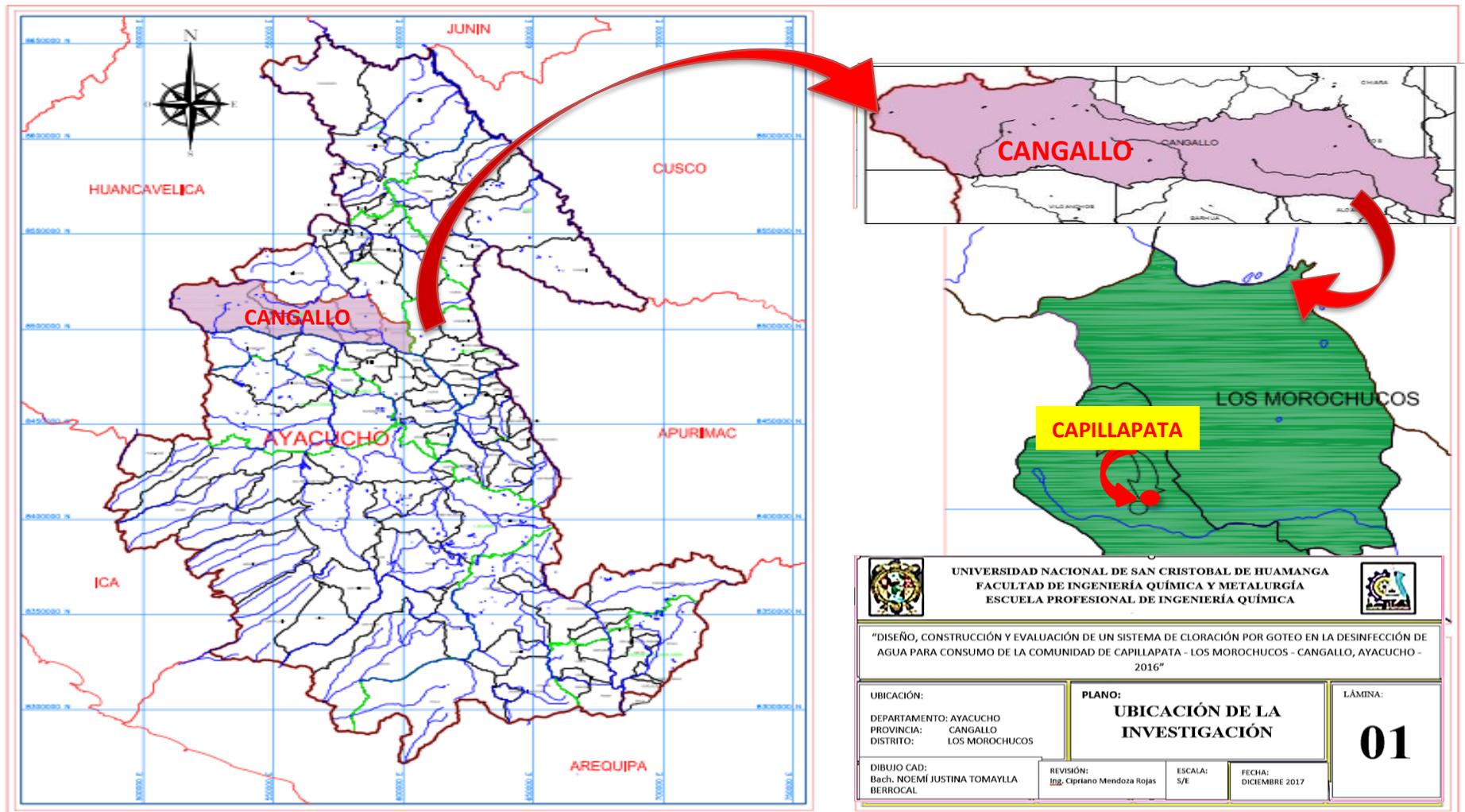


Figura 3.2 Plano 01 de ubicación de la investigación

### 3.1.2 Diseño de la investigación

La experimentación de la investigación fue desarrollada de acuerdo al siguiente diagrama de bloques, como se detalla en la figura 3.3.

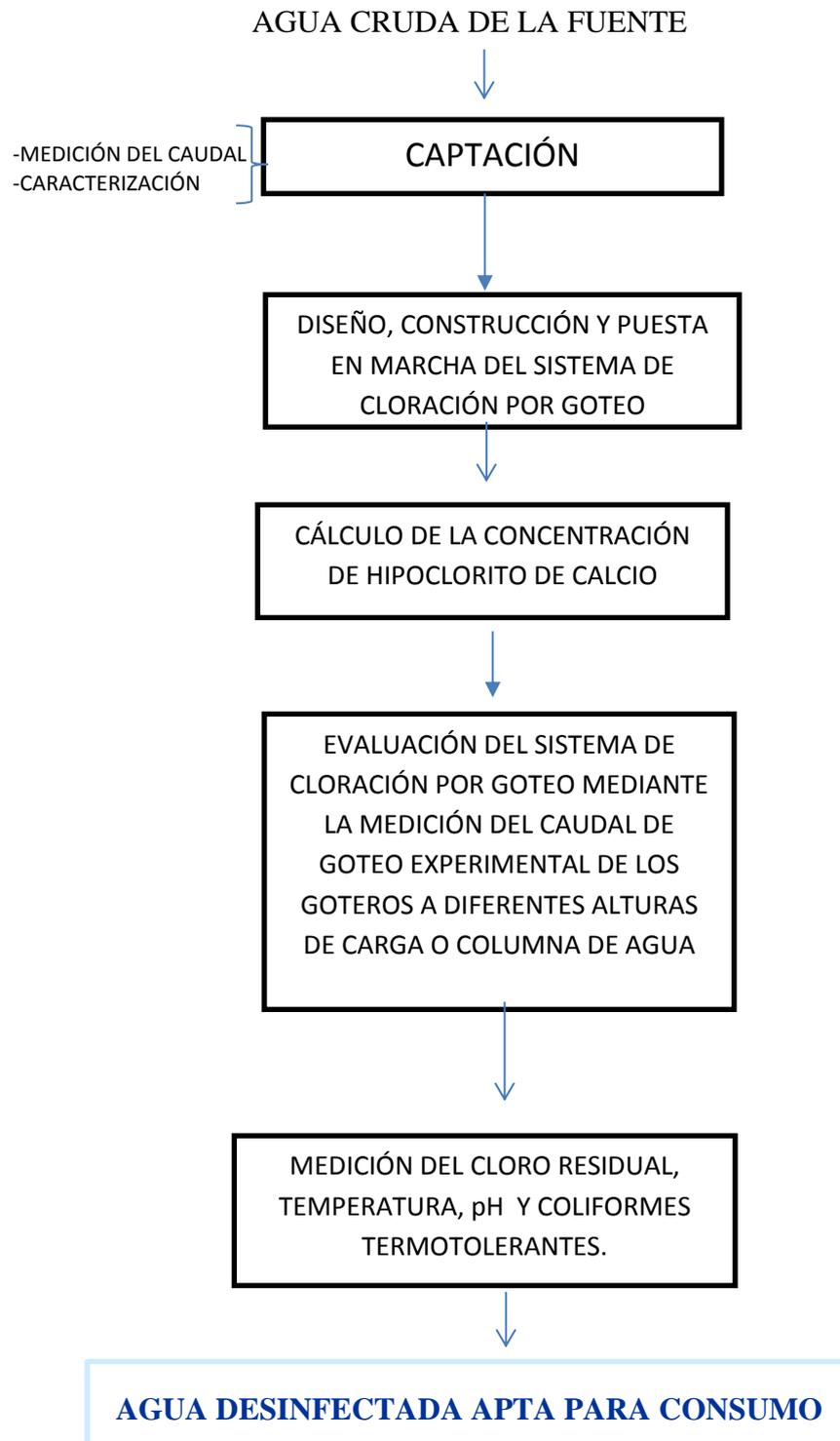


Figura 3.3 Diagrama de bloques del proceso de investigación.

### **3.1.3 Caracterización físico-química del manantial.**

Se analizó el agua del manantial de captación Huaynayacu, el mes de enero del 2016, según las normas correspondientes (método estándar para el análisis de aguas de la AWWA de los Estados Unidos) (USEPA, 1983), además de tomar en cuenta el manual de muestreo del Ministerio de Salud - DIRESA (Aurazo, 2004). Para el desarrollo de la metodología se describe las actividades previas, es como sigue:

- El frasco con cierre hermético, de 1000 mL fue esterilizado antes de tomar la muestra. Se enjuagó el frasco tres veces y se sumergió el frasco (a una profundidad de 15 a 20 centímetros) en contra de la corriente cuidando que el agua no toque los dedos antes de entrar al frasco y que no se levanten los sedimentos del fondo del ojo de agua (Barahona, 2010).
- Se tapó inmediatamente, dejando un espacio de una pulgada y se rotuló el frasco en el lugar de la toma de muestra.
- Se guardó la muestra en una caja aislada a prueba de luz, con bolsas de hielo (facilitado por la Dirección Regional de Salud Ayacucho) para que se enfríen rápido y evitar la contaminación externa.
- Se realizó la caracterización fisicoquímica del agua cruda colectada del “ojo de agua” de Huaynayacu, en los laboratorios de la Escuela de formación profesional de Ingeniería Química con apoyo de la Ing. Gloria Inés Barboza Palomino, especialista en análisis instrumental del agua, como se muestra en la figura 3.4.
- Se realizó la caracterización, los parámetros analizados para el diseño fueron los siguientes: pH, turbiedad (UNT), temperatura, entre otros.

- Finalmente se obtuvo los resultados de la caracterización del “ojo de agua” de la comunidad de Capillapata (**Ver anexo 4**).



Figura 3.4 Caracterización fisicoquímica del “ojo de agua” de la comunidad de Capillapata.

### 3.1.4 Selección del sistema dosificador

Para seleccionar la alternativa correcta se consideró los siguientes aspectos:

- Para la selección del sistema se analizó el agua, para que el sistema dosifique la cantidad necesaria de desinfectante según las condiciones físico químicas del agua, lo que brinda la confiabilidad respectiva a los consumidores una vez realizado el proceso.
- Se seleccionaron materiales como el tanque de almacenamiento Rotoplas, las tuberías PVC, accesorios PVC y el gotero de polietileno. Tomando en cuenta su funcionamiento bajo las condiciones externas adversas de la comunidad.
- El gotero fue seleccionado, considerando que el abastecimiento es por gravedad desde la ruta de la captación hasta el reservorio donde está ubicado el sistema cloración por goteo diseñado (**Ver anexo 3 - plano 02-A**).
- La facilidad de montaje es un factor importante que influyó en la selección. El sistema se instala sin mayores contratiempos para no desabastecer de líquido

vital a los usuarios durante el proceso de instalación y transición del sistema de cloración.

- El abastecimiento del desinfectante es un aspecto que también condicionó en la selección del sistema, porque Capillapata es una zona rural de difícil acceso, alejada de la capital del distrito de Los Morochucos.
- Por la facilidad de manejo, el desinfectante seleccionado es el Hipoclorito de Calcio al 70% sólido comercial ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ) como medio químico eficaz en la desinfección de agua, también llamado HTH o High Test Hyperchloride, esta sal se presenta en forma sólida granulada.
- El sistema es de operación y mantenimiento sencillo (**Ver anexo 12**). Así mismo se dispone de los repuestos en el mercado local, lo que garantiza la eficiencia continua del sistema.
- La capacidad económica y financiera para asumir los costos de inversión, operación y mantenimiento es otro factor que se consideró para la selección de la alternativa más adecuada.

Por tanto, una vez analizado todos los factores que influyen en la selección del sistema dosificador, para la investigación se elige como mejor alternativa diseñar y construir un **sistema de cloración por goteo utilizando como insumo hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial. Así obtener la concentración adecuada de la solución de hipoclorito de calcio a dosificar.**

## **3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO**

### **3.2.1 Alternativa tecnológica planteada**

La alternativa tecnológica planteada es tal como se muestra en la figura 3.5.

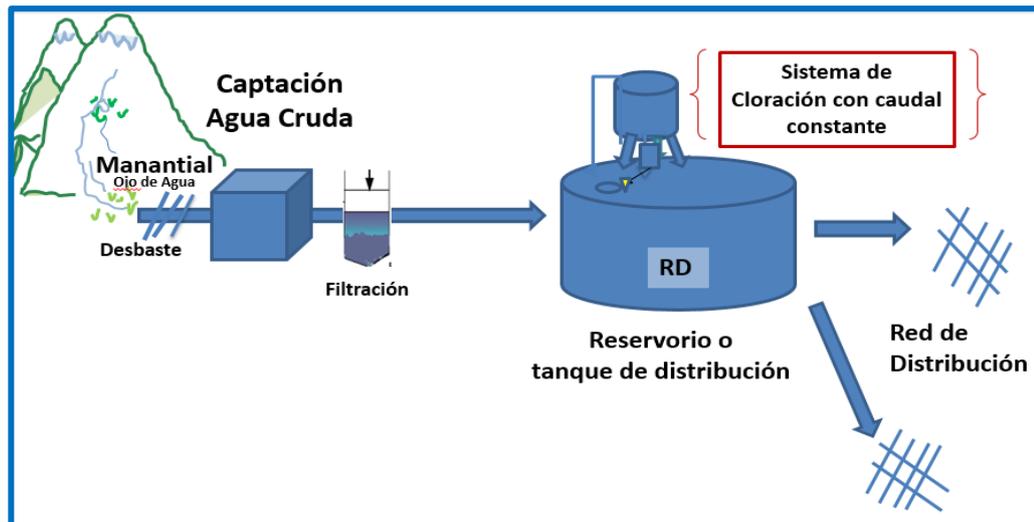


Figura 3.5 Sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento convencional, para aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

De acuerdo a la fuente de origen del ojo de agua caracterizado como se muestra en el anexo 3, referido a la turbidez, pH, dureza; se selecciona el sistema de tratamiento no convencional, con cloración por goteo, tal como se muestra en la figura 3.5. Así mismo, la comunidad de Capillapata actualmente cuenta con un sistema de suministro de agua captada de un manantial (ojo de agua). Por tanto, de acuerdo a la alternativa tecnológica planteada, se acondicionó la infraestructura existente tomando en cuenta la Guía del Programa Nacional de Saneamiento y el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (RNE, 2014), para instalar y poner en marcha el sistema de cloración por goteo. En el caso de la potabilización sin tratamiento sólo con desinfección, el sistema debería de contar mínimamente con los criterios de diseño para agua de consumo humano, como se muestra en la figura 3.5. A continuación se detallan los componentes del sistema, y es como sigue:

- ✓ **Captación:** La toma y/o captación viene a ser una pequeña cámara con estructura de concreto, con dimensiones mínimas y de construcción sencilla cerca al manantial, ubicado en la parte alta de la comunidad de Capillapata. Es

un sistema de captación cerrada y directa de su estado natural (manantial de Huaynayacu), para proteger adecuadamente el agua contra la contaminación causada por la presencia de agentes externos, la misma que se encuentra en buen estado de conservación. Como se muestra en la fotografía de la figura 3.6, la estructura está rodeada de grandes bloques de piedra y es por debajo de ellas que discurre el agua para ser captada a través de dos tubos de una pulgada de diámetro. El caudal fue aforado los doce meses del año 2016 (**Ver anexo 5**), se observó que en época de lluvia tiene un caudal máximo de 1,317 L/s y un mínimo de 0,901 L/s, mientras en época de estiaje tiene un caudal mínimo de 0,573 L/s y un máximo de 0,912 L/s, siendo suficiente para la implementación del sistema de cloración.



Figura 3.6 Captación de agua de manantial de la comunidad de Capillapata - 2016.

- ✓ **Filtración:** Actualmente no se cuenta con el filtro, pero básicamente debería consistir en una caja (de concreto, ladrillos o mampostería), que contenga grava, arena y carbón activado, para eliminar los malos olores y sabores.
- ✓ **Líneas de conducción:** Transporta el agua desde la cámara de captación hasta el reservorio o tanque de distribución. La línea de conducción desde el “ojo de

agua” (captación) es a través de una tubería PVC de 1 ½ pulgada, con una longitud de aproximadamente de 560 metros de longitud, sobre una pendiente pronunciada.

- ✓ **Reservorio o tanque de distribución:** Permite satisfacer las máximas demandas de consumo de agua de la población. En la comunidad de Capillapata el reservorio fue construido el año 2002, con la ampliación se realizó mantenimiento el 2010. Ubicada a una altitud de 3824 msnm y a una distancia de 150 metros de longitud de la comunidad, de 10 m<sup>3</sup> de capacidad, estructura de concreto y sistema de válvulas operativas. En la figura 3.7 se muestra el reservorio o tanque de distribución de agua clorada por difusión (lecho con 360 orificios con hipoclorito de calcio al 30% sólido comercial compactado en su interior).

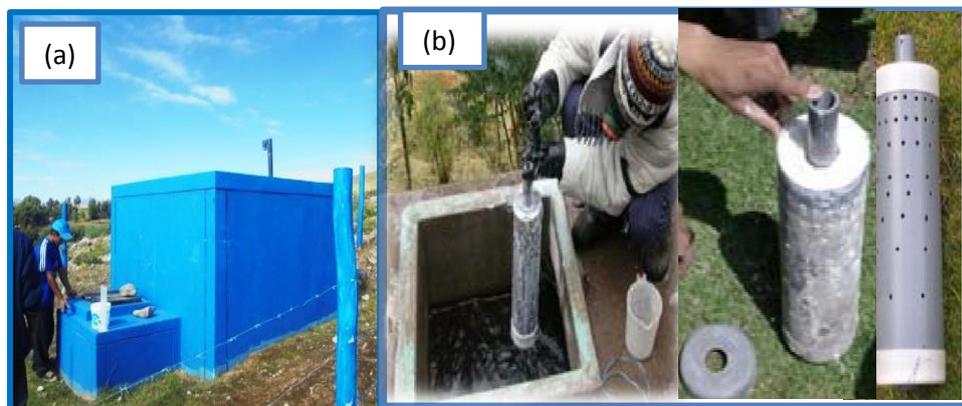


Figura 3.7 (a) Reservorio de almacenamiento de la comunidad de Capillapata antes de la instalación del nuevo sistema, (b) Tipo de cloración que empleaban (flujo-difusión).

- ✓ **Sistema de cloración:** Para la desinfección continua del agua se empleó hipoclorito de calcio al 70 % sólido comercial, dosificado por goteo con un caudal constante.
- ✓ **Red de distribución:** Transporta el agua a los diferentes sectores de la población mediante tuberías matrices y secundarias. La figura 3.8 muestra la

fotografía de la red de distribución en la comunidad de Capillapata, está conformada por tubería de PVC de media pulgada conectadas hacia las 55 viviendas, toda la red de distribución se encuentra en adecuadas condiciones de operatividad con un tendido de 1315 metros de longitud (**Ver anexo 3**).



Figura 3.8 Red de distribución de la comunidad de Capillapata.

- ✓ **Conexión domiciliaria:** Las 55 familias cuentan con conexión domiciliaria, cuyo funcionamiento es adecuado. Este sistema fue construido el año 2002 y ampliado el 2010, actualmente el sistema de conexión domiciliaria se encuentra en buen estado.
- ✓ **Presión:** La presión del agua es suficiente, la pendiente de la zona fue favorable para implementar el sistema de cloración por goteo (**Ver anexo 3 - plano 02-A**).

Por tanto, se diseñó el sistema de cloración por goteo compuesto de tres partes: El tanque de almacenamiento de la solución concentrada de hipoclorito de calcio, el tanque regulador de carga constante y el dispositivo de control (gotero), de acuerdo a las bases de diseño, que a continuación se detallan.

### 3.2.2 Bases del diseño experimental

#### 3.2.2.1 Determinación de la demanda de agua

##### a. Periodo de diseño

Se establece un periodo de diseño de 10 años (Pronasar, 2004), el tiempo en el cual el sistema de cloración será 100% eficiente.

##### b. Cálculo de la población de diseño

En la actualidad la población de la comunidad de Capillapata es de 230 personas aproximadamente, con una densidad de 4 habitantes/vivienda, lo que hace un total de 55 familias. Según el diagnóstico realizado se elaboró el padrón comunal de usuarios (**Ver anexo 1**).

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en su compendio estadístico de Ayacucho del 2016, la comunidad de Los Morochucos tiene una tasa de crecimiento anual de 1,05 % y una población 4155 habitantes de acuerdo al censo del 2007 (INEI, 2010). Pero no tiene registrado los datos de la población de la comunidad de Capillapata, por lo que para la realización del diseño se tomarán los datos actuales, ya que constituyen una fuente de información primaria que se recabó directamente en la comunidad.

Para el diseño del sistema de dosificación por goteo en la comunidad de Capillapata, se calculó y se obtuvo los siguientes resultados de la población futura:

$$P_{f(2026)} = P_{a(2016)} \times \left(1 + \frac{r \times t}{1000}\right) \quad (3.1)$$

Dónde:

$P_f = ?$

$P_a = 230$  habitantes de acuerdo al padrón comunal 2016.

$r = 10$  coeficiente de crecimiento anual por mil habitantes en Ayacucho.

$t = 10$  años, periodo de diseño para sistemas de cloración

Reemplazando en la fórmula anterior se obtiene los siguientes resultados que se presentan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Población de diseño ( $P_f$ )

Año	Tasa de crecimiento ( r )	Población
2016	10	230
2017	10	232
2018	10	235
2019	10	237
2020	10	239
2021	10	242
2022	10	244
2023	10	247
2024	10	249
2025	10	252
2026	10	254

Entonces:  $P_f = 254$  habitantes en la comunidad de Capillapata.

Por tanto, se adoptó una población de diseño de 254 habitantes.

### **c. Determinación de la dotación de agua**

Para el diseño del sistema de cloración por goteo de la comunidad de Capillapata se empleó una dotación de 60 L/habitante/ día, porque la población es menor a 500 habitantes (Aguero, 1997).

### **d. Determinación de los caudales de diseño**

Se calcularon el caudal promedio diario anual con la ecuación 2.11, el caudal máximo diario con la ecuación 2.12 y el caudal máximo horario con la ecuación 2.13, los resultados se muestran en la tabla 4.1.

### 3.2.2.2 Medición de la oferta de agua

Para medir la oferta de agua se empleó el método volumétrico. Así mismo en las visitas de campo a la zona se verificó que el agua para la alimentación del sistema de cloración por goteo se da en la fuente de captación del manantial “ojo de agua”, que se ubica en la misma comunidad. Las características físicas del manantial de Huaynayacu son: manantial de afloramiento concentrado, tipo ladera, de producción variable. Los aforos fueron realizados desde el mes de enero hasta el mes de diciembre del 2016, en la quebrada de Huaynayacu, teniendo un caudal mínimo de 0,573 L/s en el período de estiaje (en agosto) (**Ver anexo 5**).

### 3.2.2.3 Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento de la solución concentrada de hipoclorito

El volumen del tanque se calculó tomando en cuenta el tiempo de duración de la solución a dosificar, considerando la selección del gotero Jain, Emitter que dosifica un caudal constante promedio de  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s a condiciones de la comunidad de Capillapata.

$2,7778 \times 10^{-4}$  Litros gasta en ..... 1 segundo

750 L ..... ¿ X segundos?

X =  $2,6999 \times 10^6$  segundos

 **X = 31,25 días.**

Por lo tanto, se determinó que el tanque de almacenamiento de la solución de hipoclorito de calcio, tenga una capacidad de 750 L, con un caudal promedio de dosificación constante del gotero Jain Emitter de  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s, por un mes (30 días aproximadamente).

Así mismo, para un tanque de 250 L con el mismo caudal de  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s tendría un periodo de duración de 10 días aproximadamente; los cálculos fueron realizados tomando en cuenta como antecedente datos obtenidos por la Dirección Regional de Salud Ayacucho (DIRESA, 2015).

### 3.2.2.4 Cálculo de la altura de carga o columna de agua del tanque regulador

El tanque regulador fue diseñado, considerando la temperatura y presión de la comunidad de Capillapata, como se detallan a continuación:

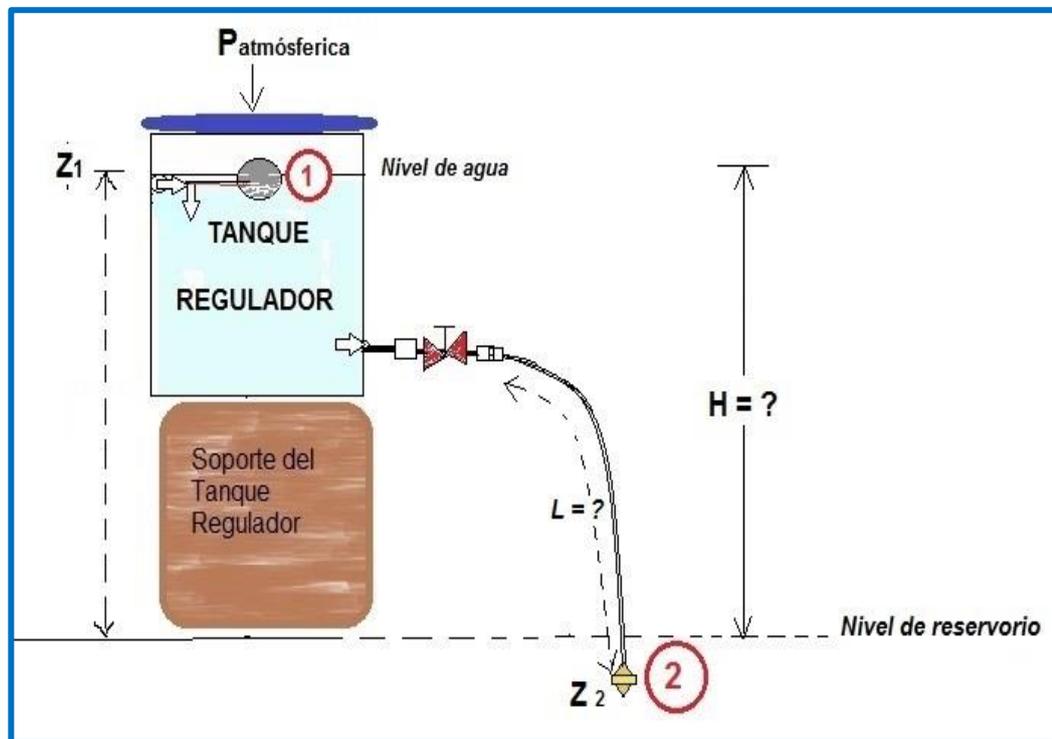


Figura 3.9 Diseño del tanque regulador: H = altura de carga o columna de agua, L = Longitud microtubo,  $Z_1$  y  $Z_2$  = altura,  $P_{atm}$  = presión atmosférica.

➤ En la figura 3.9, se empleó la ecuación de Bernoulli, se calculó la altura adecuada para el tanque regulador (Geankoplis, 1998) y (Darby, 2001):

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f \quad (3.2)$$

Dónde:

$Z_1$  = Carga estática

$\frac{V_1^2}{2g}$  = Carga cinética

$\frac{P}{\rho \cdot g}$  = Carga de Presión

$\sum h_f$  = Carga total (m)

Simplificando:

$$V_1 = 0 \{ (D_{Tanque\ regulador}) \gg \gg (D_{Microtubo}) \}$$

$$P_1 \cong P_2 \text{ (Presión atmosférica = 0,660 atm)}$$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} := Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f$$

$$Z_1 - Z_2 := \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f$$

$$H = \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + \sum h_f \quad (3.3)$$

✚ Cálculo la velocidad de descarga ( $V_2$ ):

$$V_2 = \frac{Q_2}{A_2} = 0,6 \text{ m/s} \quad (3.4)$$

Donde:

$Q_2$  = Caudal microtubo en el punto 2 =  $7,5398 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

$A_2$  = Área microtubo en el punto 2 =  $1,2566 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

Por lo tanto, la velocidad de descarga del microtubo es:  $V_2 = 0,6 \text{ m/s}$

✚ Cálculo de pérdidas ( $\sum h_f$ ):

$$\sum h_f = 4 \cdot f_F \left( \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{V_{regular}^2}{2 \cdot g} + K_{acc} \cdot \frac{V_{accesorio}^2}{2 \cdot g} = 0,3554 \text{ m} \quad (3.5)$$

Donde:

$$f_F = \text{Factor de fricción de Fanning (flujo laminar)} = \left(\frac{16}{Re}\right) = 8,73 \times 10^{-3}$$

$$Re = \text{Número de Reynolds } Re = \frac{\rho \cdot v_2 \cdot D}{\mu} = 1832,061$$

$$\rho_{Ca(ClO)_2(10^\circ C)} = \text{Densidad del hipoclorito de calcio al } 70\% \text{ } 10^\circ C = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$v_2 = \text{Velocidad de flujo de descarga del microtubo calculada} = 0,6 \text{ m/s}$$

$$D = \text{Diámetro del microtubo} = 0,004 \text{ m}$$

$$\mu_{Ca(ClO)_2(10^\circ C)} = \text{Viscosidad a } 10^\circ C = 1,310 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$$

$$L = \text{Longitud del microtubo recto} = 2,00 \text{ m}$$

$$D = \text{Diámetro del microtubo recto} = 0,004 \text{ m}$$

$$V_{regular}^2 = \text{Velocidad en el microtubo} = 0,6 \text{ m/s}$$

$$g = \text{Gravedad} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\Rightarrow h_f(\text{Regular}) = f_F \left(\frac{L}{D}\right) \cdot \frac{V_{regular}^2}{2 \cdot g} = 0,32048 \text{ m} \quad (i)$$

$$K_{ac} = K_{\text{Tapón de goma}} + K_{\text{Tubo}} + K_{\text{Reducción}} + K_{\text{Válvula mariposa}}$$

$$K_{ac} = \left(4f_F \left(\frac{L}{D}\right)\right)_{\text{Tapón de goma}} + \left(4f_F \left(\frac{L}{D}\right)\right)_{\text{Tubo}} + \left(4f_F \left(\frac{L}{D}\right)\right)_{\text{Reducción}} \\ + \left(4f_F \left(\frac{L}{D}\right)\right)_{\text{Válvula mariposa}}$$

$$K_{ac} = \text{Coeficiente de pérdida de accesorios} = 2,8103$$

$$f_F = \text{Factor de fricción de Fanning (flujo laminar)} = \left(\frac{16}{Re}\right) = 8,38 \times 10^{-3}$$

$$Re = \text{Número de Reynolds } Re = \frac{\rho \cdot v_2 \cdot D}{\mu} = 1908,39$$

$$\rho_{Ca(ClO)_2(10^\circ C)} = \text{Densidad del hipoclorito de calcio al } 70\% \text{ } 10^\circ C = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$v_2 = \text{Velocidad de flujo de descarga de accesorios} = 0,5 \text{ m/s}$$

$$D = \text{Diámetro de accesorios} = 0,005 \text{ m}$$

$$\mu_{Ca(ClO)_2(10^\circ C)} = \text{Viscosidad a } 10^\circ C = 1,310 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$$

$$V_{accesorios}^2 = \text{Velocidad en accesorios} = 0,5 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow h_f(\text{singular}) = K_{ac} \times \frac{V_{accesorios}^2}{2 \cdot g} = 0,035 \text{ m} \quad (ii)$$

Reemplazando (i) y (ii) en la ecuación (3.5):

$$\sum h_f = 0,3554 \text{ m}$$

Finalmente, reemplazando la ecuación (3.4) y (3.5) en la ecuación (3.3) se obtiene:

$$H = 37 \text{ cm}$$

### 3.2.2.5 Cálculo de la longitud del micro tubo del dispositivo de control (gotero)

Se utilizó un micro tubo de polietileno de 4 mm de diámetro. Para determinar el tipo de flujo (Re) y la longitud necesaria del microtubo, se realizaron los siguientes cálculos (Levenspiel, 1998):

✓ Cálculo de la presión hidrostática en el tanque regulador ( $P_L$ ):

$$P_L = \rho_{Ca(OCl)_2} \times H \times g = 0,035 \text{ bar} \quad (3.6)$$

Donde:

H = Altura de carga o columna de agua = 0,37 m

$\rho_{Ca(OCl)_2(10^\circ C)}$  = Densidad del hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial  $10^\circ C = 1000 \text{ kg/m}^3$

g = Gravedad =  $9,81 \text{ m/s}^2$

✓ Cálculo la velocidad de flujo:

$$v_2 = \frac{Q}{A} \quad (3.7)$$

Donde:

$$Q_2 = \text{Caudal gotero en el punto 2} = 2,7778 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A_2 = \text{Área microtubo en el punto 2} = 1,2566 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\text{Por lo tanto } V_2 = 0,0215 \text{ m/s}$$

✓ Cálculo del número de Reynolds:

$$Re_2 = \frac{D_2 v_2 \rho}{\mu} = 86 \text{ es, flujo laminar}$$

De la ecuación de Bernoulli (3.2) y (3.6):

$$(\cancel{Z_1} - \cancel{Z_2}) + (\cancel{v_2^2} - \cancel{v_1^2}) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \cancel{W_B} + \frac{2f_F L v^2}{D} = 0$$

$$(0,0215)^2 + \frac{0 - 70,5042}{1000} + \frac{2f_F L (0,0215)^2}{(0,004)} = 0$$

$$0,00046225 - 0,0705042 + 0,2311f_F L = 0 \quad (3.8)$$

$$f_F = \frac{16}{Re} = \frac{16}{86} = 0,1860 \quad (3.9)$$

Finalmente, reemplazando (3.9) en (3.8) la longitud del microtubo sería:

$$L = 2 \text{ m}$$

### 3.3 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DISEÑADO

#### 3.3.1 El tanque de almacenamiento de la solución concentrada de hipoclorito

El tanque de almacenamiento fue acondicionando en el Taller Mecánico “Holger K. Hansen” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la UNSCH.

### **Materiales:**

Se empleó materiales (tuberías, accesorios y válvulas de ingreso de agua y salida de la solución concentrada) existentes en el mercado local, con los detalles que se describe a continuación:

#### **a) La válvula de llenado:**

- ✚ Se introdujo la válvula de llenado de 3/4 pulgada (1) por el orificio que se encuentra en el cuello del tanque (2) y sujetándola por la parte exterior, se enroscó la contratuerca (3).
- ✚ Se ubicó la válvula de salida del agua en un ángulo de 90 grados con respecto a la pared del tanque.
- ✚ Posteriormente, al extremo exterior de la válvula, se enroscó un conector (5) e instaló el tubo (6). Como el tubo de alimentación es de 1/2 pulgada, se colocó la reducción (4) que se incluye ensamblándolo a través de un codo de 90 grados (7) a otro tubo 1/2 pulgada (8) que baje directo a la alimentación del agua, debiendo colocarse en paralelo a la pared del tanque, como se muestra en la figura 3.10.
- ✚ Para el tubo de alimentación, se colocó el codo y este al tubo que sale del cuello del tanque.

#### **b) El flotador:**

- ✚ A la varilla de la válvula (9) se acopló el flotador (11) uniendo los cierres como aparece en la figura 3.10.
- ✚ Para obtener el nivel del llenado de agua deseado, se ajustó el ángulo de inclinación de la varilla y el flotador. Esto se logró ajustando ambos cierres (10) (de la varilla y de la válvula) en la posición deseada.

- ✚ Posteriormente, se apretó el tornillo (12) hasta que ambas piezas queden perfectamente integradas, como se muestra en la figura 3.10.
- ✚ Finalmente se aseguró que el flotador esté en la posición adecuada para que se llene el sistema y que el nivel del agua no sobrepase la válvula, ver la figura 3.10.

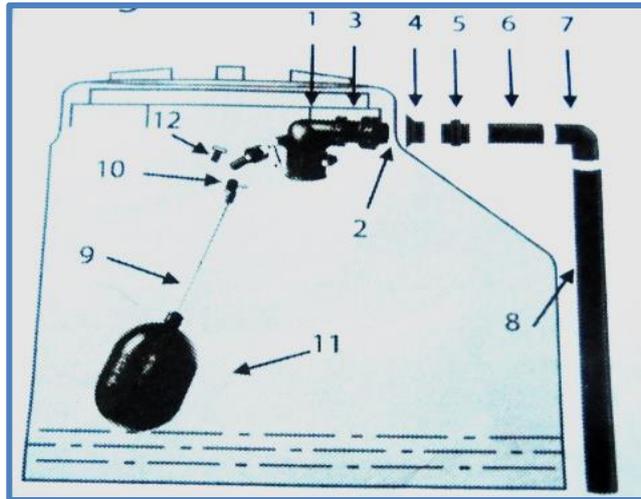


Figura 3.10 Instalación de la válvula de llenado y el flotador (CID, 2016).

c) **El multiconector reforzado con válvula integrada:**

- ✚ En la parte lateral inferior del tanque se encuentra la conexión (13) de salida del agua de 1 ½ pulgada de diámetro, rosca interna. Se colocó el multiconector reforzado, enroscándolo con la mano hasta llegar al tope de la conexión.
- ✚ Se verificó que la flecha grabada en el multiconector apunte hacia arriba, para lograr de esta forma, el correcto funcionamiento del tubo de aire (14).
- ✚ Se revisó que el tapón de purga (15) estuviera bien enroscado a la salida lateral del multiconector para evitar fugas, ver la figura 3.11.
- ✚ Posteriormente, se enroscó el tubo de aire (1/2 pulgada) en el orificio ubicado en la parte superior del multiconector (16), ver la figura 3.11.

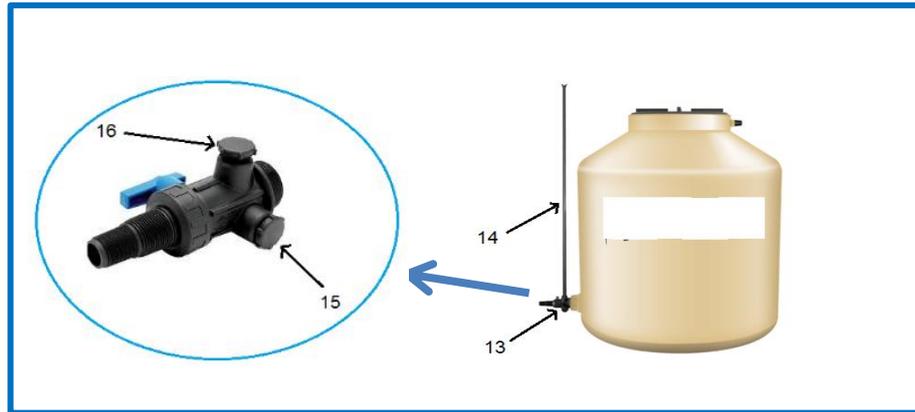


Figura 3.11 El multiconector reforzado con válvula integrada y el tubo de aire (CID, 2016).

d) **El Filtro:**

- ✚ Se enroscó el conector de entrada al reductor (tubo de ½ pulgada), y este a la tapa, como se muestra en la figura 3.12.
- ✚ Se colocó el cartucho al centro y bien fijado hasta el fondo del vaso. Alineando el vaso debajo de la tapa.
- ✚ El vaso fue enroscado con la mano hasta el tope a la tapa, ver la figura 3.13.

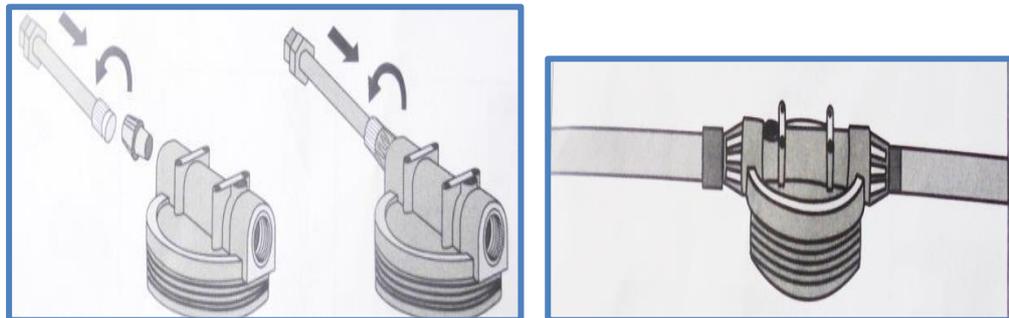


Figura 3.12 Instalación correcta de la tapa del filtro (CID, 2016).

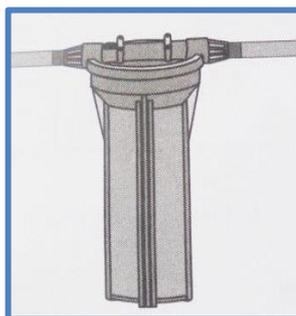


Figura 3.13 Posición correcta del vaso y el cartucho del filtro (CID, 2016).

e) **El soporte del tanque de Almacenamiento:**

El soporte del tanque fue diseñado de acuerdo a las dimensiones del tanque; es de acero inoxidable de 1 metro de altura y 1 metro de ancho con base plana, asegurando presión suficiente en todo momento y en todos los componentes del sistema, como se muestra en la figura 3.14.

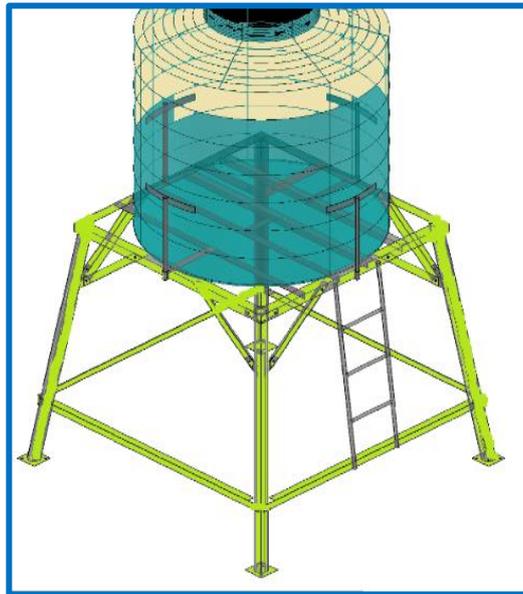


Figura 3.14 Diseño del soporte de acero inoxidable.

### 3.3.2 Tanque regulador

El tanque regulador fue diseñado en el Taller Mecánico “Holger K. Hansen” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la UNSCH.

Todos los dispositivos fueron modificados y adecuados al tanque regulador, es similar al empleado en el control del nivel de agua en los inodoros.

**Materiales:**

Se empleó equipos materiales y accesorios existentes en el taller y mercado local, con los detalles que se describen a continuación:

**a) Tanque:**

- ✓ Se acondicionó un balde de plástico de 20 L de capacidad.

- ✓ Con el taladro se realizó dos orificios en el balde, uno para la válvula de llenado ubicada en la pared lateral del recipiente y otra en la base para la salida, que se encuentra a 90 grados respecto a la válvula de llenado, como se muestra en la figura 3.15.



Figura 3.15 Diseño del tanque regulador

**b) Válvula de llenado/cierre:**

Se introdujo la válvula de llenado de 19,05 mm (3/4”) con el filtro de tela (1) por el orificio (2) que se encuentra en el extremo superior del tanque, se sujetó por la parte exterior con la contratuerca (3). Se enroscó al extremo exterior de la válvula un conector (4), continuando con su instalación hacia el exterior por el orificio (a), ver la figura 3.16.

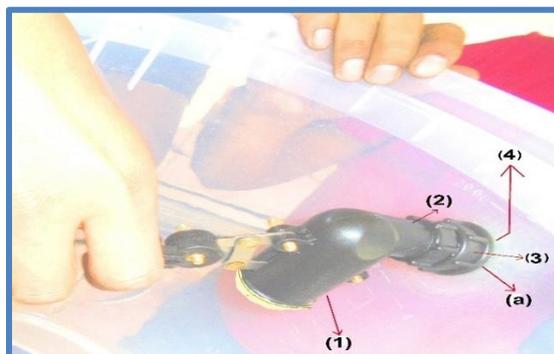


Figura 3.16 Detalles de la válvula de llenado.

La válvula de llenado permite que el nivel de agua se mantenga constante dentro del tanque de regulación, independientemente de la presión que

proporcione el tanque de alimentación o de la descarga que proporcione el dispositivo de control.

**c) Palanca de unión entre la válvula de llenado y el flotador:**

Se atornilló el flotador (5) a la varilla (6), haciendo coincidir el dentado de la cremallera (7) del extremo de la varilla del flotador al dentado de la cremallera (8) de la válvula. Se ajustó el ángulo de inclinación de acuerdo al nivel de agua máximo deseado y fija con el tornillo (9), ver la figura 3.17.

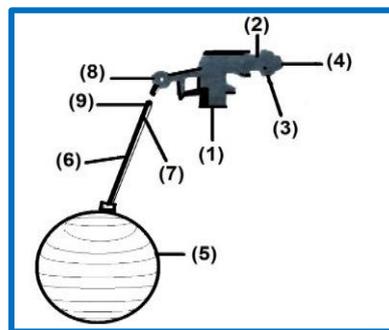


Figura 3.17 Detalles de la válvula de llenado y el flotador (CID, 2016).

**d) Salida al dispositivo de control:**

El diseño del orificio (b) tiene una altura de 12 cm respecto a la base del tanque y así se evitar captar las partículas sedimentadas, sean estas por hipoclorito no disuelto o impurezas que se han filtrado, como se muestra en la figura 3.18.

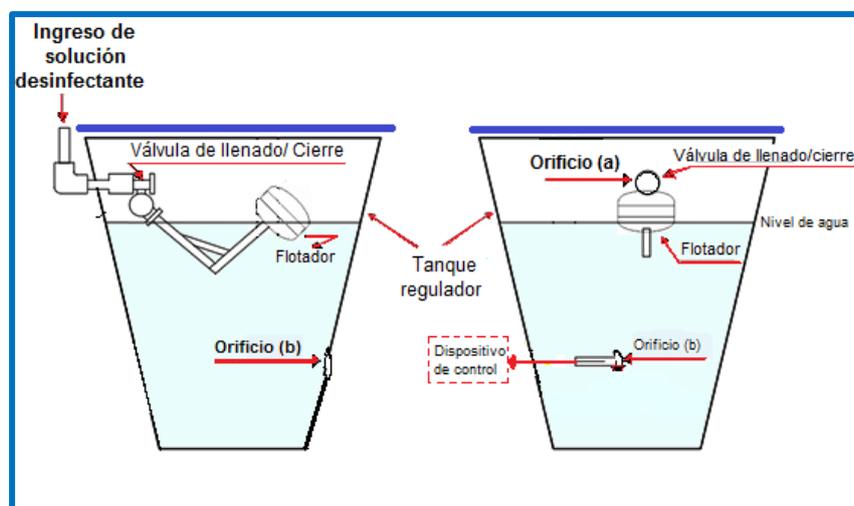


Figura 3.18 Detalles de la ubicación del dispositivo de control en el tanque regulador.

En el Anexo 6 se muestra el plano con los detalles y componentes del diseño del tanque regulador (**Ver anexo 6 - plano 03**).

### **3.3.3 Dispositivo de control (gotero)**

- a. Se diseñó el dispositivo de control desde el orificio (b) ubicada en la base del tanque regulador.
- b. Se cortó 30 cm a una tubería de polietileno (1), posteriormente se colocó en el orificio (b) del tanque regulador.
- c. El tubo de polietileno fue empalmado a la válvula de compuerta de ½ pulgada (2), con el acople bushing (3) de 6 mm a 4 mm de diámetro se une los 2 metros de micro tubo de polietileno (4) de 4 mm de diámetro.
- d. Finalmente se conectó el gotero (5), el cual dosifica la solución de desinfectante más agua al reservorio con el propósito de mejorar el tiempo de contacto, para posteriormente pasar a la tubería de entrada a las redes distribución (**Ver anexo 7 - plano 04**).

## **3.4 MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DOSIFICADOR DE CLORO POR GOTEO**

Antes de la instalación del sistema diseñado de dosificador de cloro por goteo, se evaluó el lugar designado. Así mismo se realizó los trabajos de acondicionamiento previo, a fin de asegurar la correcta instalación y funcionamiento continuo del sistema diseñado, como: excavación de zanjas, limpieza de la zona; con el apoyo de los miembros de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS).

### **a. Materiales:**

Para el montaje y puesta en marcha del sistema, fueron necesarios accesorios diseñados en el Taller Mecánico “Holger K. Hansen” de la Facultad de

Ingeniería Química y Metalurgia de la UNSCH, además de materiales como: un taladro, juego de sierra copa, arco sierra para PVC con hojas sierra, alicate, wincha, tuberías de ½ pulgada, pegamento, teflón entre otros. La figura 3.19 muestra el uso de equipos del taller para diseñar y el montaje en la comunidad de Capillapata.



Figura 3.19 Diseño de nipples en el taller de la UNSCH y el montaje del sistema de cloración por goteo en la comunidad de Capillapata.

b. Procedimientos:

- ✚ La ubicación del tanque de almacenamiento de solución concentrada sobre el reservorio o tanque de distribución fue determinada principalmente por la necesidad y conveniencia de mantener la presión y la facilidad de dosificación.
- ✚ Se cortó con la sierra copa la tubería de captación que conecta con el reservorio o tanque de distribución.
- ✚ El equipo fue diseñado y puesto en marcha para que funcione las 24 horas al día, con un peso promedio anual de 3,3477 kg hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial para un tanque de almacenamiento de 750 L y finalmente dosificar por goteo la solución de hipoclorito de calcio con una concentración promedio 3124,529 mg/L (ver tabla 4.2) al reservorio o tanque de distribución de 10 m<sup>3</sup> para la desinfección de agua. Para su posterior evaluación. En el

Anexo 8 se muestra el plano de la propuesta definitiva del diseño del sistema de cloración por goteo (**Ver anexo 8- plano 05**).

✚ La puesta en marcha del equipo dosificador por goteo contó con la participación de las principales autoridades de la comunidad. Una vez concluida la instalación y puesta en marcha del sistema de cloración por goteo se suscribió el acta de entrega (**Ver anexo 9**), que fue firmada por las autoridades de la comunidad campesina de Capillapata y los miembros de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento.

### **3.5 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE HIPOCLORITO DE CALCIO PARA SU DOSIFICACIÓN**

a) Se midió el caudal de ingreso de agua cruda al reservorio o tanque de distribución, por el método volumétrico (Aguero, 1997) y (MVCS, 2017), para los doce meses del año 2016 de enero a diciembre (**ver anexo 5**).

$$Q_{\text{Ingreso de agua}} = V/t \quad (3.10)$$

Donde:

$Q_{\text{Ingreso de agua}}$  = Caudal de ingreso de agua cruda en L/s.

$v$  = Volumen de agua que ingresa al reservorio o tanque de distribución en Litros.

$t$  = Tiempo en segundos.

b) Se determinó la concentración del desinfectante a dosificar (hipoclorito de calcio) en mg/L de enero a diciembre del 2016, como se detalla en la tabla 4.2 del capítulo IV, empleando el balance de materia o principio de conservación de masa (Geankoplis, 1998), como se aprecia en la figura 3.20.

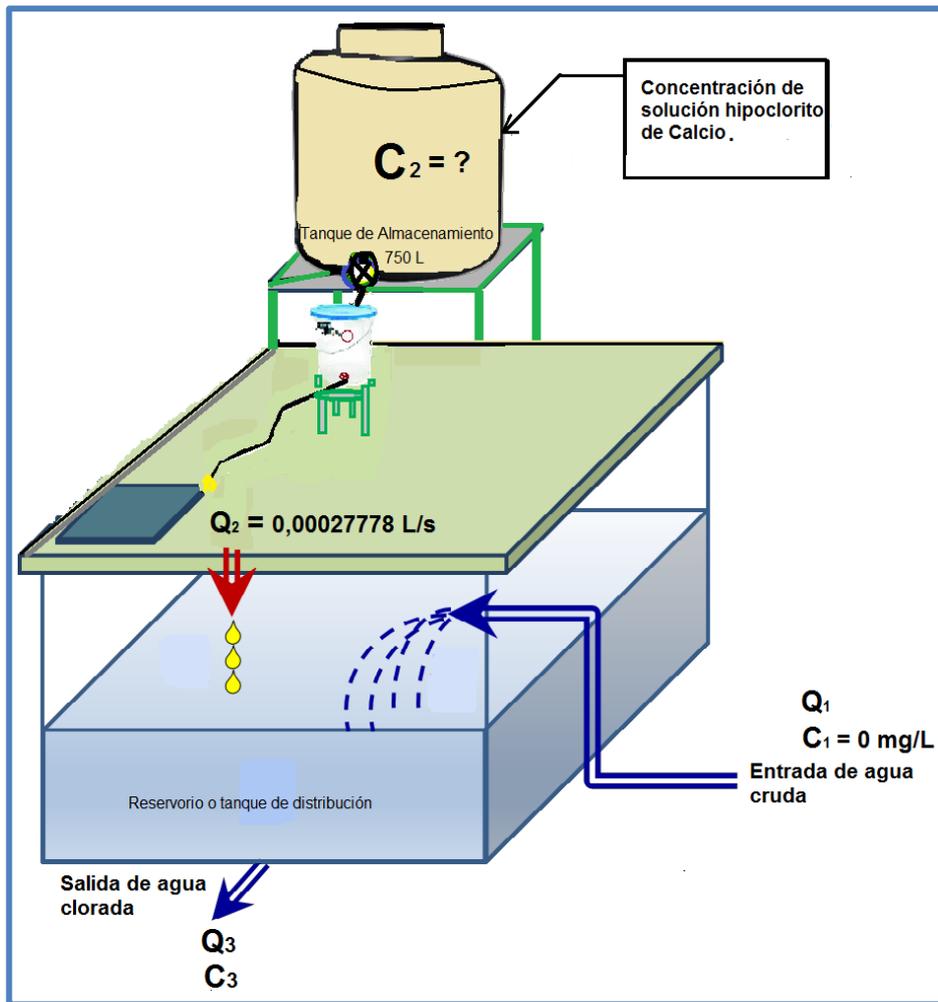


Figura 3.20 Balance de materia para determinar la concentración de la solución de hipoclorito de calcio a dosificar.

Por el principio de conservación de masa, el caudal y la masa que pasa por la superficie de entrada es igual a la que atraviesa la superficie de salida (Geankoplis, 1998).

$$Q_1 \times C_1 + Q_2 \times C_2 = Q_3 \times C_3$$

$$Q_2 \times C_2 = Q_3 \times C_3 - \cancel{Q_1 \times C_1}^0$$

$$Q_2 \times C_2 = Q_3 \times C_3$$

$$C_2 = \frac{Q_3 \times C_3}{Q_2} \quad (3.11)$$

Donde:

$C_2$  = Concentración de la solución de Hipoclorito de calcio a preparar = ?

$Q_2$  = Caudal de gotero Jain Emitter, dosificación constante a 73 cm  
=  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s

$Q_3$  = Caudal de salida de agua clorada del reservorio o tanque de distribución el mes de enero = 0,981 L/s

$C_3$  = Concentración de agua clorada a la salida del reservorio o tanque de distribución = 1 mg/L (OMS, 2011).

$Q_1$  = Caudal de entrada de agua cruda al reservorio o tanque de distribución.

$C_1$  = Concentración de cloro en agua cruda que ingresa al reservorio o tanque de distribución = 0 mg/L.

Reemplazamos en la ecuación (3.11):

$$C_2 = 3531,6 \text{ mg/L}$$

✚ Conociendo  $C_2$ , se calculó el peso de hipoclorito de calcio 70% (HTH) sólido comercial en kg:

$$P = \frac{D * V}{C * 10} \quad (3.12)$$

Fuente: (MVCS, 2017) y (DIRESA, 2015)

**Donde:**

$P$  = Gramos de compuesto de hipoclorito de calcio = ?

$D = C_2$  = Concentración calculada de la solución de hipoclorito de calcio a preparar = 3531,6 mg/L.

$V$  = Volumen del tanque de almacenamiento de la solución de hipoclorito de calcio a preparar = 750 L.

$C$  = Porcentaje de pureza del hipoclorito de calcio = 70

Reemplazando en la ecuación (3.12):  $P = 3783,857 \text{ g} \cong 3,7839 \text{ kg}$ .

Por tanto, en el mes de enero se utilizó 3,784 kg de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial (HTH), para preparar la solución de hipoclorito de calcio con una concentración de 3531,6 mg/L (**Ver anexo 5**).

c) Se preparó la solución concentrada de hipoclorito de calcio, para su posterior dosificación constante de  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s con el gotero Jain Emitter, para lo cual se utilizaron los siguientes materiales, reactivos y procedimientos:

c.1. Materiales:

Recipiente de 80 L, colador, espátula, probeta 1000 mL, mascarilla, guantes, lentes de protección, tanque de almacenamiento de 750 L, gotero Jain Emitter, cuaderno de Campo.

c.2. Equipos:

Colorímetro digital, dinamómetro, balanza de 5 kg, cámara fotográfica.

c.3. Reactivos:

Hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ), DPD (N,N-diethyl-p-phenyl-diamine).

c.4. Procedimiento:

Los 3,784 kg de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial calculado para el mes de enero fue disuelto en un recipiente de 80 L, un día antes de cargar al tanque de almacenamiento de 750 L.

Se dejó ingresar agua cruda (hasta la mitad del volumen máximo) al tanque de almacenamiento de solución de hipoclorito de calcio de 750 L y se adicionó poco a poco, utilizando un colador, los 80 L de solución de hipoclorito de calcio disuelto anteriormente y se mezcla completamente. Luego el tanque de almacenamiento 750 L fue llenado con agua cruda

hasta su nivel máximo permitido, obteniéndose una concentración de 3531,6 mg/L de solución concentrada de hipoclorito de calcio a dosificar.

- ✚ Se verificó el caudal de goteo constante del gotero seleccionado Jain Emitter ( $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s  $\cong$  1 L/h) y el funcionamiento correcto del dispositivo de control, abriendo por completo todas las válvulas.
- ✚ El procedimiento se repite para obtener la concentración de hipoclorito de calcio los meses posteriores y se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 4.2.
- ✚ Luego, tras un tiempo de contacto entre el agua cruda y la solución de hipoclorito de calcio, de 30 minutos se tomó una muestra de agua en la salida del reservorio o tanque de distribución para controlar el cloro residual con el colorímetro digital y el DPD.

### **3.6 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN POR GOTEO**

Para la evaluación previamente fue necesario hacer la prueba de fuga de todo el sistema, posteriormente se midió el caudal real de los goteros para determinar la concentración del desinfectante y finalmente se evaluó la calidad del agua clorada. Todas las pruebas experimentales se realizaron bajo las condiciones de la comunidad de Capillapata, estas mediciones de temperatura, presión y altitud fueron realizadas empleando instrumentos como el termómetro y GPS; además de tomar como referencia los datos proporcionados por la estación meteorológica automática de Pampa Cangallo (con latitud sur  $13^{\circ} 33' 42,61''$  y longitud oeste  $74^{\circ} 11' 56''$  (SENAMHI, 2016)), como se detalla a continuación:

- Temperatura : Mínima  $8^{\circ}\text{C}$  – máxima  $12^{\circ}\text{C}$
- Presión :  $501,64$  mmHg  $\cong$   $0,66$  atm
- Altitud :  $3824$  msnm

En todos los casos el tipo de muestreo es simple, es decir se toma la muestra puntual en espacio y tiempo (ANA, 2016).

### **3.6.1 Medición del caudal de los goteros a diferentes alturas de carga o columna de agua.**

Se midió el caudal de los goteros a diferentes alturas de carga o columna de agua empleando el método volumétrico (Aguero, 1997):

$$Q_{\text{Gotero}} = V_G/T_G \quad (3.13)$$

Donde:

$Q_{\text{Gotero}}$  = Caudal experimental del gotero (L/s)

$V_G$  = Volumen de goteo en (L)

$T_G$  = Tiempo de goteo en segundos (s)

#### a) Materiales y equipos:

Tanque regulador de 20 L, dispositivo de control, goteros comerciales de 2 L/h, wincha, probeta graduada de 10 mL, cronómetro.

#### b) Procedimiento:

b.1) Se llenó el tanque regulador de 20 L de capacidad con aproximadamente 15 L de solución de hipoclorito de calcio.

b.2) Empleando una wincha se midió las diferentes alturas de carga o columna agua de 0, 15, 28, 38, 51, 60, 73, 83, 91, 103, 126, 148, 168 centímetros para el tanque regulador y el dispositivo de control (gotero) con respecto al nivel del reservorio o tanque de distribución.

b.3) Para las diferentes alturas de carga o columna agua, se midió el caudal de cinco goteros comerciales ( $5,5555 \times 10^{-4}$  L/s  $\cong$  2 L/h) de las marcas: Netafim, Jain Emitter, Micro Flapper, MB plast y NDJ, utilizando una probeta de 10 mL y un cronómetro.

b.4) Con la probeta graduada de 10 mL se colectó del gotero la solución de hipoclorito de calcio, controlando el tiempo con el cronómetro. Se realizaron cinco réplicas en cada altura de carga o columna de agua para cada gotero.

b.5) Se determinó el caudal experimental y la altura de carga o columna de agua con el tiempo que demora el llenado de un determinado volumen de solución, dividiendo el volumen de solución que se recoge en la probeta de 10 mL entre el tiempo que transcurre en coleccionar dicho volumen. Ver las tablas 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7 del capítulo IV de resultados.

Finalmente se dispuso de una carga constante, permitiendo también dosificar un caudal constante y uniforme en el gotero, como se observa en la tabla 4.4 y la figura 4.4. Con el procedimiento que a continuación se muestra en la figura 3.21.

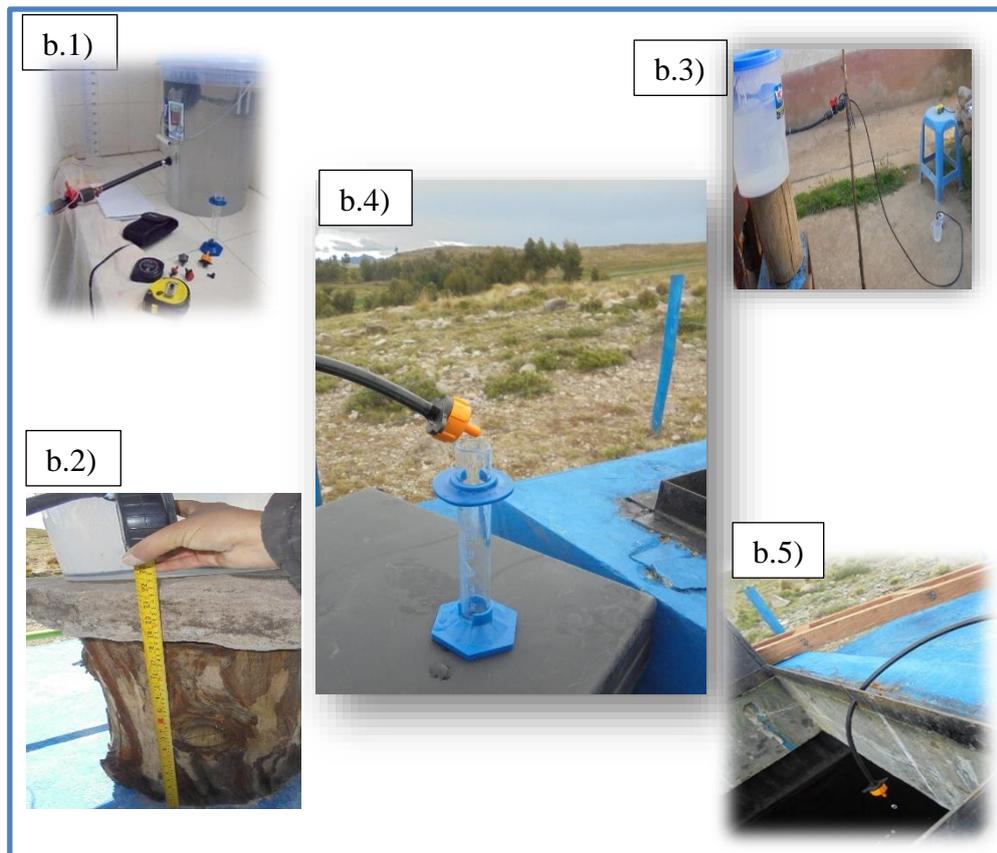


Figura 3.21 Procedimiento de medición del caudal de los goteros a diferentes alturas de carga o columna de agua.

### 3.6.2 Medición de cloro residual, temperatura, pH y coliformes termotolerantes

De acuerdo al protocolo<sup>6</sup> nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, resolución jefatural R.J.N<sup>0</sup> 010-2016 – ANA, el muestreo y monitoreo de agua fue simple o puntual, porque se tomó en un tiempo y lugar determinado para su análisis individual (ANA, 2016).

El sistema fue diseñado para abastecer a toda la red de distribución, por lo que se tomaron las muestras a la salida del reservorio o tanque de distribución (red alta), a la mitad de la red (red media) y al final de la red de distribución (red baja). Por tanto, se realizó el monitoreo y evaluación del cloro residual, temperatura, pH y los coliformes termotolerantes con un tiempo de prueba de 30 días a partir del día 01 de setiembre de 2016 hasta el 30 de septiembre del mismo año; en tres sectores dentro de la comunidad (ver la tabla 4.8), comúnmente llamados red alta, media y baja, como se muestra en la figura 3.22.

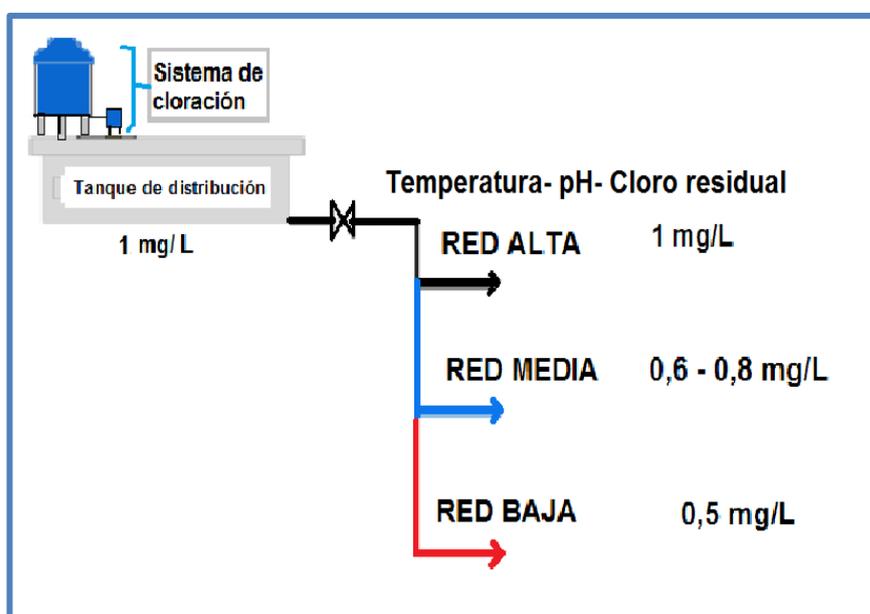


Figura 3.22 Muestreo simple o puntual en tres zonas de la comunidad de Capillapata.

<sup>6</sup>Protocolo: Documento guía que contiene pautas, instrucciones, directivas. Describe un método estandarizado para minimizar errores.

Para medir el cloro residual, temperatura y el pH se tomaron tres muestras diarias a partir de las 8:00 a.m. En cada punto de monitoreo y se empleó el equipo respectivo (colorímetro con su respectivo reactivo, termómetro, pH-metro) debidamente calibrado. Para el caso de los coliformes termotolerantes se tomó una muestra diaria sólo en la última vivienda de la red baja, posteriormente se procesó la muestra en el laboratorio microbiológico de la Dirección Regional de Salud Ayacucho (DIRESA).

Con la finalidad de organizar el muestreo por zonas, número de viviendas y propietario, se realizó el levantamiento topográfico de toda la red de distribución de la comunidad de Capillapata (**Ver anexo 3-plano 02**).

#### **3.6.2.1 Materiales y equipos:**

Colorímetro digital, termómetro, pH – metro, placas de petri, piseta, pipeta de 1 y 10 mL, mechero Bunsen, papel filtro, vaso de precipitado 500 mL, tubos de ensayo, gradilla, frascos porta muestra, pinzas, bomba eléctrica de vacío, incubadora, campana de Durham y algodones.

#### **3.6.2.2 Reactivos:**

Agar Plate Count, DPD (N, N – diethyl – p – phenyl – diamine), agua de dilución, medio de cultivo (caldo A1).

#### **3.6.2.3 Procedimiento de medición del Cloro residual.**

✚ Se empleó el método colorimétrico empleando el colorímetro digital HACH y reactivo N,N- diethyl-p-phenyl-diamine (DPD), calibrado con su respectivo estándar (USEPA, 1983), como se muestra en la figura 3.23.

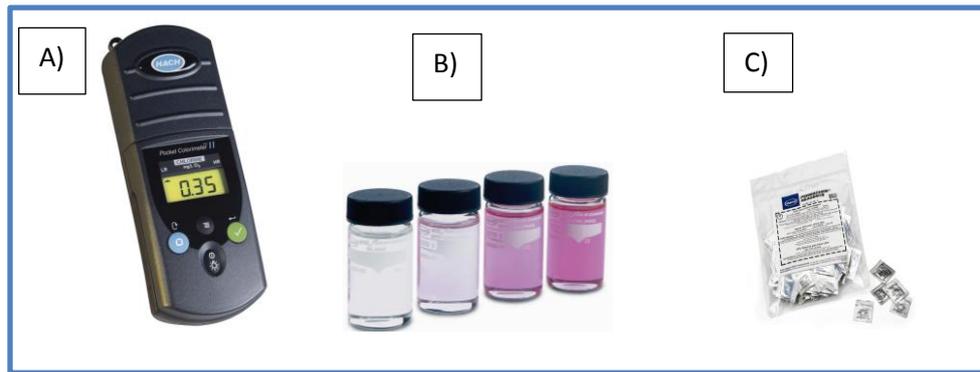


Figura 3.23 A) Equipo colorímetro HACH, B) Estándares y C) DPD (HACH, 2000).

- ✚ El colorímetro de longitud de onda fija para la lectura de cloro libre y total, tiene un rango de 0,1 a 8,0 mg/L, se utilizó un sachet de DPD en polvo para 10mL de muestra (HACH, 2000).
- ✚ Antes de tomar la muestra, se dejó fluir el agua durante dos o tres minutos para descargar el agua estancada, se enjuagó por lo menos tres veces para obtener una lectura más real, a partir de ese momento se tomó la muestra en los dos frascos de 10 mL del equipo.
- ✚ Se encendió el equipo y luego de calibrar con el blanco en 0,00 mg/L de  $\text{Cl}_2$  (Cloro libre residual), al segundo frasco se agregó el reactivo DPD, que comercialmente se presenta de forma granulada en pequeños sobres con la cantidad correspondiente al volumen de la muestra; se agita vigorosamente (20 segundos) hasta que el reactivo quede disuelto, la mezcla puede tomar una coloración rosa si existe cloro libre residual, como se muestra en la figura 3.24.



Figura 3.24 Reactivo DPD disuelto y el blanco

- ✚ En seguida esta solución se colocó en el compartimiento del colorímetro, se presionó leer y se deja analizar.
- ✚ Finalmente se determinó en forma cuantitativa el cloro libre residual expresado en mg/L de cloro libre residual y se llena el formato de control de cloro libre residual proporcionado por la Dirección Regional de Salud Ayacucho (DIRESA) a la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento de la comunidad de Capillapata (JASS) (**Ver anexo 12**), como se muestra en la figura 3.25.

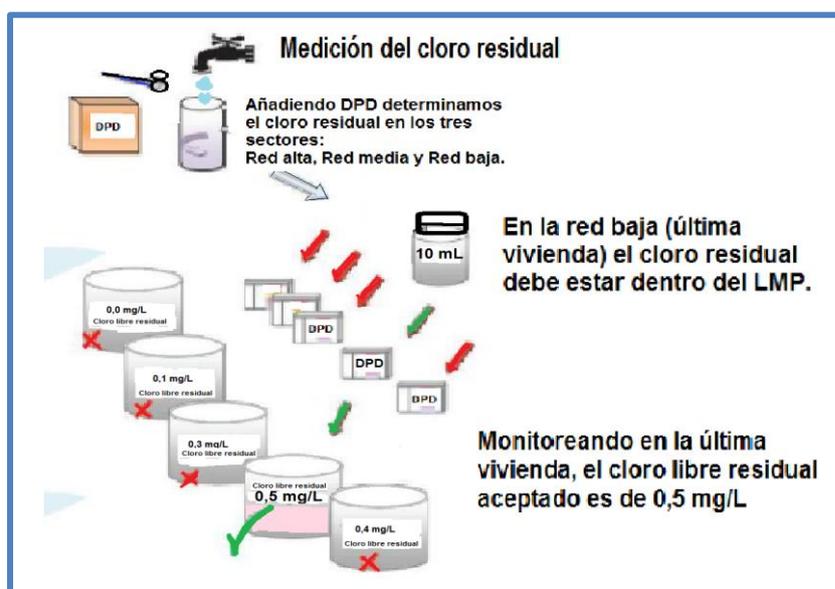


Figura 3.25 Medición y control del cloro libre residual

### 3.6.2.4 Procedimiento de medición de temperatura.

- ✚ Para medir la temperatura de las muestras en los tres puntos (red alta, red media y red baja), se empleó el termómetro digital HANNA, debidamente calibrado (HANNA Instruments, 1996), facilitado por la Dirección Regional de Salud Ayacucho (DIRESA), como se muestra en la figura 3.26.
- ✚ El termómetro digital con sonda de temperatura tiene un rango de -20,00 a 120,0 °C (HANNA Instruments, 1996).

- ✚ Antes de tomar la muestra, se dejó fluir el agua durante dos o tres minutos.
- ✚ Se tomó la muestra llenando el vaso de precipitado de 500 mL.
- ✚ De forma cuidadosa se introdujo el termómetro dentro del frasco y se esperó que se estabilice. Finalmente, se anotó la temperatura que indica el termómetro.

### 3.6.2.5 Procedimiento de medición de pH.

- ✚ El pH se determinó por el método Electrométrico, utilizando un pH - metro digital debidamente calibrado, modelo HANNA facilitado por la Dirección Regional de Salud Ayacucho (DIRESA), como se muestra en la figura 3.26.
- ✚ El pH - metro digital tiene un rango de 2,00 a 16 con un electrodo combinado de pH para uso general (HANNA Instruments, 1996).
- ✚ Se encendió el equipo y se enjuagó el electrodo con agua destilada.
- ✚ El equipo fue calibrado con solución buffer a pH = 7 y buffer de pH = 4. Una vez calibrado se enjuagó el electrodo con agua destilada (HANNA Instruments, 1996).
- ✚ Una vez calibrado el pH - metro se introdujo el electrodo en la muestra a analizar y se anotó lo registrado.
- ✚ Terminada las lecturas se procede a apagar el equipo y colocar en su solución de mantenimiento.



Figura 3.26 Equipo portátil Hanna de uso general para leer temperatura y pH.

### 3.6.2.6 Procedimiento de determinación de coliformes termotolerantes

Para el análisis microbiológico de coliformes termotolerantes (fecales) se empleó el método de filtración por membrana y del número más probable por tubos múltiples (NMP) (Aurazo, 2004).

#### a. Método de filtración por membrana:

- Se filtró al vacío, con un filtro de celulosa de 0,45  $\mu\text{m}$  de porosidad, la muestra de agua.
- En condiciones asépticas, se acondicionó a 44 °C el Agar Plate Count.
- El filtro fue colocado en la superficie del Agar Plate Count temperada a 44 °C colocado en la placa de petri.
- El Agar Plate Count temperada a 44°C, se homogenizó el medio en la placa en forma circular dejándolo solidificar a temperatura ambiente al lado del mechero.
- Se incubó al reverso a 44,5 °C por 24 horas. Se hizo la lectura por recuento estándar en la placa y se reportó como UFC/mL, como se detalla en la figura 3.27.

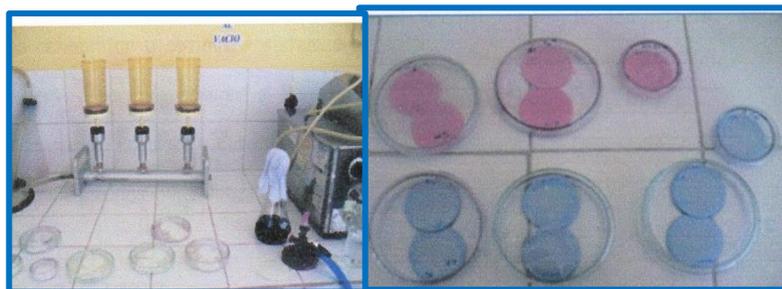


Figura 3.27 Método de filtración con membrana

#### b. Número más probable por tubos múltiples (NMP)

La cuantificación de Coliformes termotolerantes se realizó por el método del número más probable (NMP), en una serie de 5 tubos. Lo cual exige un trabajo cuidadoso y exacto:

- ✚ En condiciones asépticas, se tomó 10 mL de la muestra objetivo y se realizó la dilución en 90 mL (agua de dilución). Se realizaron tres diluciones.
- ✚ De las tres diluciones, se tomó 1 mL de la dilución y se sembró en 10 mL de medio A1 con 5 repeticiones por dilución.
- ✚ La siembra se inició de la mayor dilución, donde la carga de la muestra es menor, de esta manera evitar la sobrecarga.
- ✚ Se llevó a la incubadora bacteriológica temperada a 44,5 °C por 18 a 24 horas. Luego del periodo de incubación se hizo la lectura de los resultados, donde la muestra es positiva por tener presencia de gas en la campana de Durham y negativo cuando se observa la ausencia de gas.
- ✚ Con la serie de los datos obtenidos durante la lectura de los tubos múltiples, se comparó con la tabla de NMP del cual se obtuvo el valor correspondiente, luego se calculó con la ecuación (3.14):

$$\text{NMP}/100 \text{ mL} = \text{NMP} \times 10 / \text{dilución más cargada} \quad (3.14)$$

### 3.6.3 Calidad del agua clorada

Los análisis fueron realizados conjuntamente con personal del laboratorio ambiental de la Dirección de Salud Ambiental, el Blg. Hugo Infanzón Escobar y el Ing. Químico Edgar Llamocca, de la DIRESA<sup>7</sup> del 11 al 30 de noviembre del 2016, para lo cual se tomaron las muestras de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos superficiales, R.J.N<sup>0</sup> 010 - 2016 - ANA (ANA, 2016).

- ✚ Se tomó las muestras en la captación y en la última vivienda de la red de distribución (agua que ha pasado por la etapa de cloración).

---

<sup>7</sup> DIGESA: Dirección General de Salud Ambiental y su órgano descentralizado DIRESA (Dirección Regional de Salud Ayacucho)

- ★ Los recipientes en los que se tomaron y transportaron las muestras, son frascos de 625 mL de vidrio y plástico debidamente esterilizado en el laboratorio de la Dirección Regional de Salud Ayacucho (DIRESA).
- ★ Previamente se etiquetó o rotuló los frascos de muestreo con información necesaria para su identificación (localidad, distrito, provincia, origen de la fuente, punto de muestreo, fecha de la toma, hora, persona que realizó el muestreo y el número de muestra).
- ★ Antes de tomar las muestras los frascos fueron lavados con el mismo flujo de la muestra de agua unas tres veces.
- ★ Se tomó la muestra en el caño de la última vivienda de la red de distribución, por lo que previamente se limpió con un trapo seco y se esterilizó con un encendedor durante un minuto. Se dejó salir el agua durante 2 o 3 minutos antes de tomar la muestra, se abrió el frasco esterilizado y se llenó el frasco dejando un espacio, para que se pueda agitar la muestra antes del análisis (Barahona, 2010).
- ★ Instantáneamente después de llenar los recipientes se tapó y amarró con los capuchones respectivos de forma segura y se llevó al laboratorio dentro de un cooler con hielo, para mantener su temperatura y evitar el contacto con la luz, como se muestra en la figura 3.28.



Figura 3.28 Almacenamiento y transporte de muestras.

- ★ Los frascos para el análisis microbiológico fueron llenados sobrando 3 cm de espacio libre.
- ★ El tiempo transcurrido en el transporte de muestras fue de aproximadamente 2 horas y 30 minutos.

Todas las muestras fueron utilizadas para el análisis fisicoquímico y también para el análisis microbiológico.

### **3.6.3.1 Análisis fisicoquímico del agua clorada**

Se realizó el análisis fisicoquímico y se obtuvo buenos resultados de la calidad del agua clorada (**Ver anexo 10**). Como son el pH y temperatura, anteriormente descrito además de las determinaciones físico químicas tales como:

- ★ La turbiedad se determinó por el método Nefelométrico mediante el uso de un turbidímetro digital, realiza una medición exacta (Unidad Nefelométrica de Turbidez (NTU)).
- ★ El color se determinó por el método de espectrofotometría.
- ★ La conductividad, sólidos totales disueltos y porcentaje de salinidad se determinan con el conductímetro.
- ★ La alcalinidad se determinó volumétricamente utilizando el principio de neutralización (por titulación), para ello se emplea un ácido fuerte como el ácido sulfúrico 0,02 N.
- ★ El sulfato se determinó utilizando el método turbidimétrico, es decir se midió la turbidez que estos forman al reaccionar con una especie a fin a ellos, como por ejemplo el cloruro de bario.
- ★ Los nitratos se determinan utilizando el método espectrofotométrico (absorción de radiación).

- ★ El aluminio se determinó por el método de eriocromo cianina, el aluminio disuelto se lleva a pH apropiado y se acompleja con el eriocromo cianina R, para producir un compuesto color caramelo que es llevado al espectrofotómetro.
- ★ El hierro se determinó por el método de fenantrolina empleando el espectrofotómetro.
- ★ Se determinó el manganeso por el método peryodato de potasio, empleando el espectrofotómetro.

En la figura 3.29, se observa el proceso de análisis para garantizar la calidad del agua clorada.



Figura 3.29 Análisis físico químico en el laboratorio de la DIRESA.

### 3.6.3.2 Análisis microbiológico del agua clorada

Para el análisis microbiológico en la última vivienda (red baja) de coliformes termotolerantes (fecales) se empleó el método de filtración por membrana, obteniendo resultados que garantizan la calidad del agua clorada (**Ver anexo 11**). Con este método se determinó el número de coliformes presentes en el agua,

filtrando al vacío un volumen determinado de muestra, generalmente se produce una filtración de membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  de porosidad, como se observa en la figura 3.30. Este filtro fue colocado en la superficie de la placa de Petri y a través de la porosidad pasan los nutrientes de la célula después de un periodo de incubación. Cada célula formó una colonia, la cual fue contabilizada y se reportó como UFC/mL.

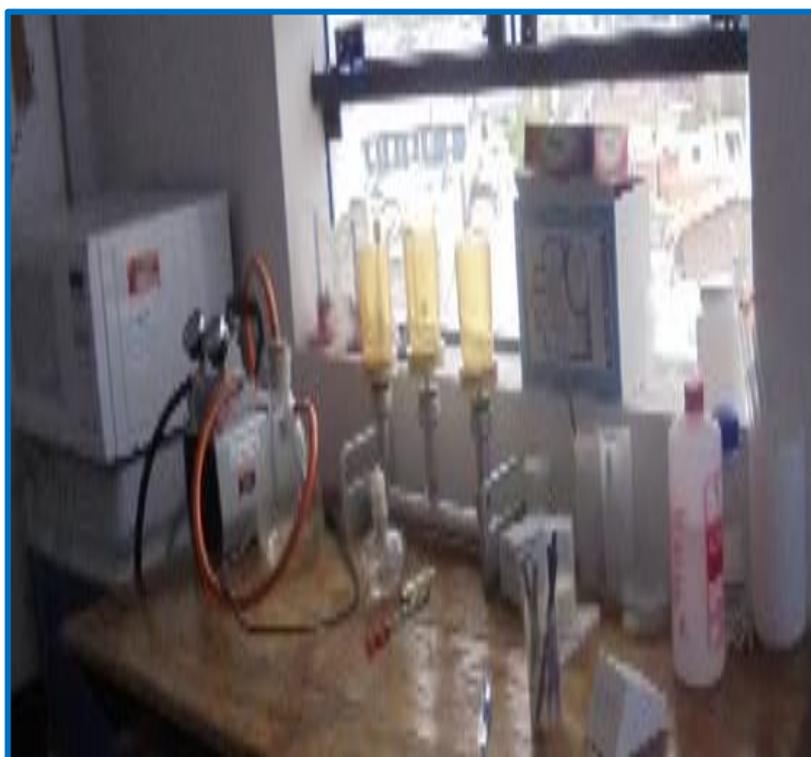


Figura 3.30 Análisis microbiológico en el laboratorio de la DIRESA.

Los resultados del análisis microbiológico de coliformes termotolerantes se detallan en la tabla 4.8, así mismo se adjunta el informe del laboratorio de Control Ambiental de la Dirección Regional de Salud Ayacucho (DIRESA), donde se realizó el análisis (**ver anexo 11**).

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Una vez diseñado, construido y puesto en marcha el sistema de cloración por goteo para desinfectar el agua para consumo, se procedió a su evaluación correspondiente, la relación entre el caudal de goteo y altura de carga o columna de agua en los goteros, la concentración del hipoclorito de calcio para diferentes caudales de ingreso de agua cruda al reservorio o tanque de distribución durante los 12 meses del año 2016 y finalmente la calidad del agua clorada.

#### **4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO**

##### **4.1.1 Bases de diseño**

Con las bases de diseño de la tabla 4.1 se demuestra que, si es factible y sostenible en el tiempo el diseño, construcción y evaluación de un sistema de dosificación de cloro por goteo para desinfectar el agua para consumo de la comunidad de Capillapata del distrito de Los Morochucos, provincia de Cangallo del departamento de Ayacucho en el año 2016.

**Tabla 4.1** Bases de diseño del sistema dosificador de cloro por goteo en la desinfección de agua.

Nº	Bases de diseño	Valores de diseño
01	Oferta de agua cruda en Capillapata (2016)	0,868 L/s
02	Volumen del reservorio existente	10 m <sup>3</sup>
03	Periodo de diseño	10 años
04	Población de diseño	254 habitantes
05	Dotación (Aguero, 1997)	60 L/ habitante/día
06	Caudal promedio diario anual (Qm)	0,176 L/s
07	Caudal máximo diario (Q <sub>máx.d</sub> )	0,228 L/s
08	Caudal máximo horario (Q <sub>máx.h</sub> )	0,352 L/s

Las bases de diseño de la tabla 4.1 indican que el caudal de consumo máximo diario (Q<sub>máx.d</sub>) de 0,228 L/s es menor que el caudal de captación mínimo aforado 0,573 L/s en el mes de agosto (**Ver anexo 5**); así mismo el caudal máximo horario (Q<sub>máx.h</sub>) 0,352 L/s, cubre los consumos máximos más frecuentes en las horas pico de utilización del líquido vital. Por lo que, con estos valores de diseño se garantiza la sostenibilidad del ingreso de agua cruda al taque de almacenamiento de la solución de hipoclorito de calcio (750 L) y al reservorio o tanque de distribución (10 m<sup>3</sup>).

Por lo tanto, el diseño del sistema de cloración por goteo asegura cubrir la demanda de agua de la población futura de 254 habitantes de la comunidad de Capillapata.

#### **4.2 CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE HIPOCLORITO DE CALCIO.**

Para determinar y calcular la concentración del hipoclorito de calcio, se usó el principio de conservación de masa (Geankoplis, 1998) y se aforó el caudal de ingreso de agua cruda al reservorio o tanque de distribución durante un año (de enero a diciembre), lo que permite tener el peso de hipoclorito de calcio al 70% sólido

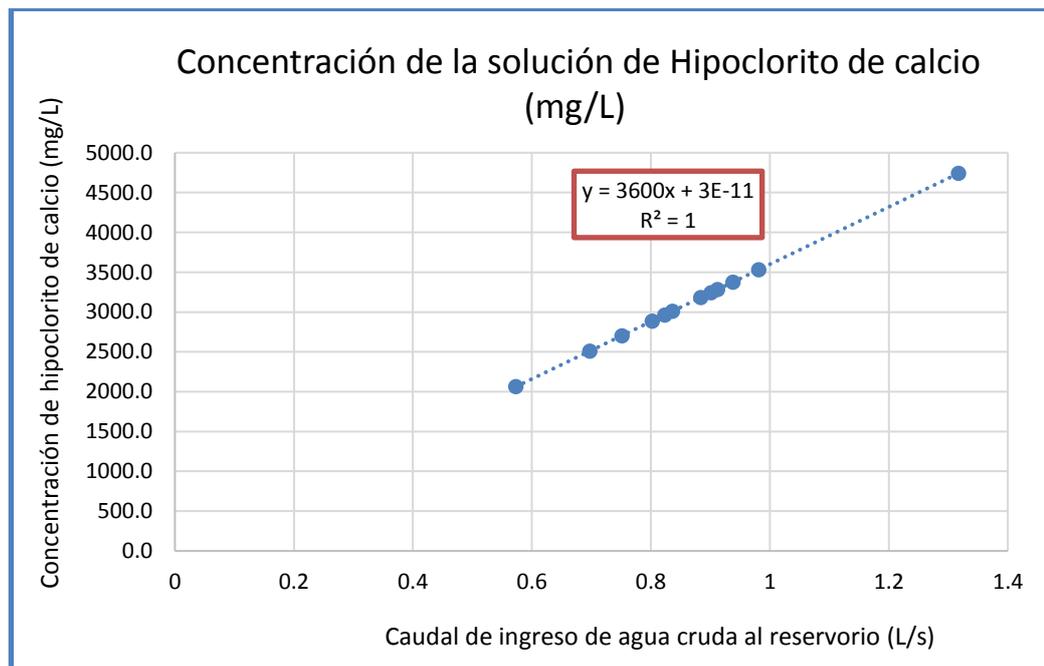
comercial que se requiere para un caudal constante del gotero Jain Emitter de  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s  $\cong$  1 L/h y un cloro residual dentro del Límite Máximo Permissible (LMP) a la salida del reservorio, tras un tiempo de contacto de 30 minutos, como se muestra en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2** Concentraciones de la solución de hipoclorito de calcio a dosificar para diferentes caudales de ingreso de agua cruda al reservorio.

Mes del año	Caudal promedio (L/s)	Peso de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial (kg)	Concentración de la solución de hipoclorito de calcio (mg/L)	Caudal de dosificación Jain Emitter (L/s)	Caudal de dosificación Jain Emitter (L/h)
Enero	0,981	3,7838	3531,6	0,00027778	1
Febrero	1,317	5,0798	4741,2	0,00027778	1
Marzo	0,938	3,6180	3376,8	0,00027778	1
Abril	0,901	3,4753	3243,6	0,00027778	1
Mayo	0,912	3,5177	3283,2	0,00027778	1
Junio	0,884	3,4097	3182,4	0,00027778	1
Julio	0,836	3,2252	3010,2	0,00027778	1
Agosto	0,573	2,2101	2062,8	0,00027778	1
Septiembre	0,697	2,6884	2509,2	0,00027778	1
Octubre	0,751	2,8967	2703,6	0,00027778	1
Noviembre	0,802	3,0934	2887,2	0,00027778	1
Diciembre	0,823	3,1744	2962,8	0,00027778	1
Promedio	0,867	3,3477	3124,529	0,00027778	1

En la tabla 4.2, se observa las concentraciones de la solución de hipoclorito de calcio a dosificar en el diseño, construcción y evaluación de un sistema de cloración por goteo en la desinfección de agua para consumo de la comunidad de Capillapata del distrito de Los Morochucos provincia de Cangallo departamento de Ayacucho los doce meses del año 2016, detallándose más en la figura 4.1. Además del peso en kg de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial necesario para preparar la solución en el tanque de almacenamiento de 750 L, a caudales promedios de agua cruda que ingresa al reservorio o tanque de distribución de enero a diciembre del 2016.

Se observa que en la temporada de lluvia (de enero a abril), se alcanza el caudal máximo de 1,317 L/s, empleándose 5 kg de Hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial se obtiene una solución concentrada de 4741,2 mg/L (hipoclorito de calcio) para un caudal de dosificación constante (con el gotero Jain Emitter:  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s  $\cong$  1 L/h) al reservorio o tanque de distribución.

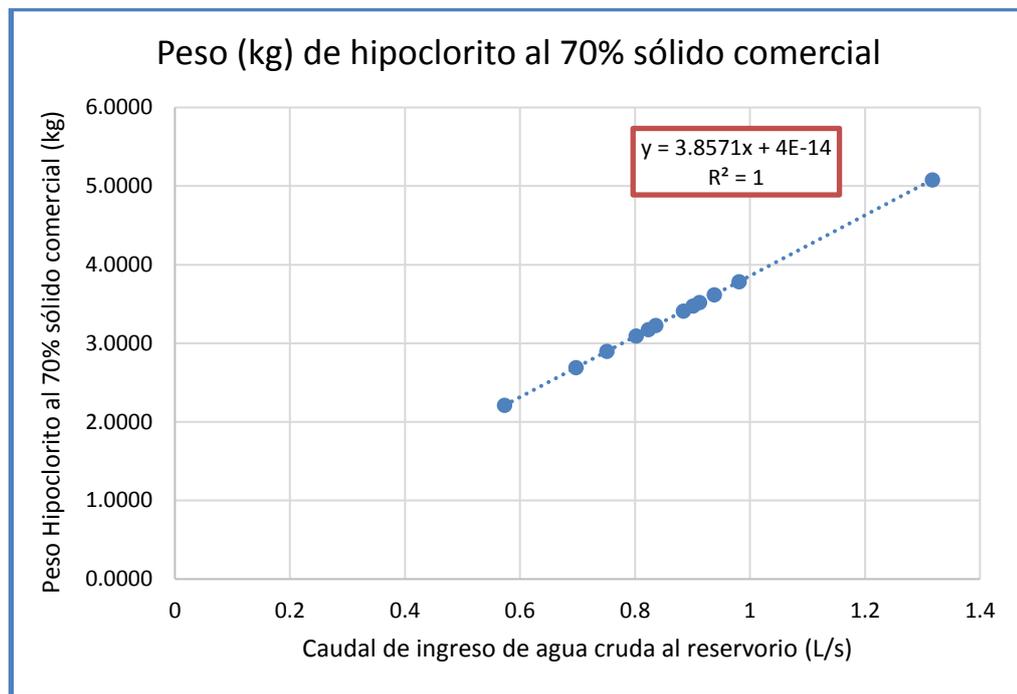


**Figura 4.1** Concentración de la solución de hipoclorito de calcio (mg/L) a dosificar en diferentes caudales de ingreso de agua cruda al reservorio o tanque de distribución (L/s).

En la figura 4.1 se observa el comportamiento lineal de la concentración de la solución de hipoclorito de calcio (mg/L) a dosificar constantemente con el gotero Jain Emitter ( $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s) versus el caudal de ingreso de agua cruda al reservorio o tanque de distribución (L/s) de enero a diciembre del 2016. Por ende, de la figura 4.1 se deduce que a mayor caudal de ingreso de agua cruda se requiere preparar una solución más concentrada.

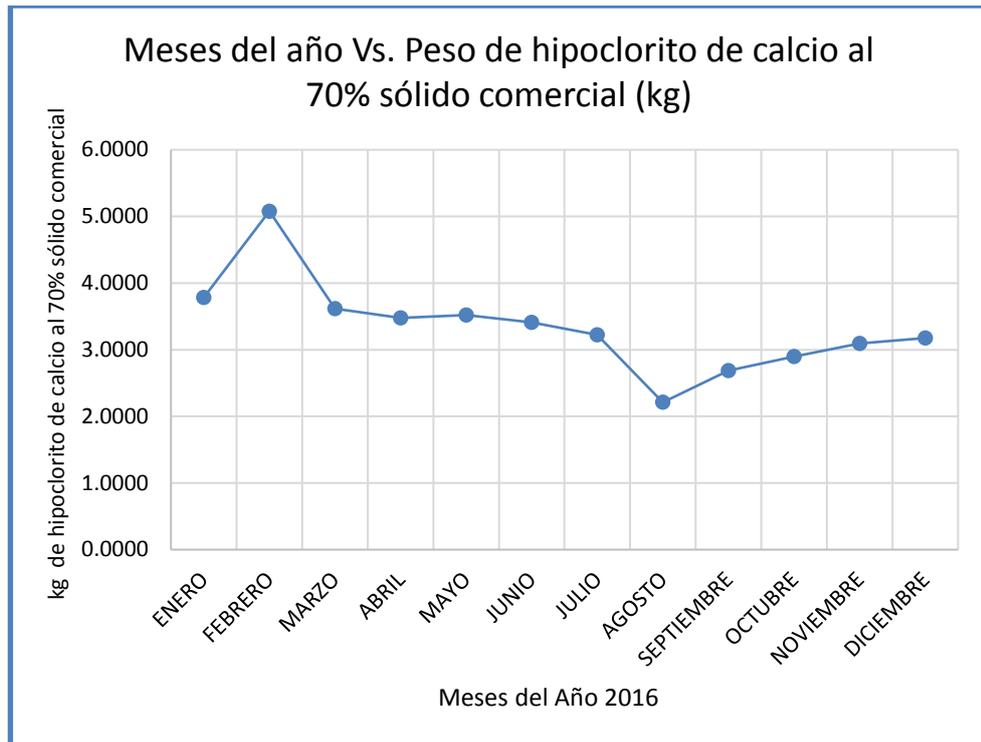
Para conservar la concentración y la efectividad de la solución de hipoclorito de calcio inicialmente preparada se aprovecha las bajas temperaturas de la comunidad de Capillapata.

Así mismo conociendo el caudal de ingreso de agua cruda al reservorio o tanque de distribución se determinó también el peso en kg, de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial, como se muestra en la figura 4.2.



**Figura 4.2** Peso de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial a diferentes caudales de ingreso de agua cruda al reservorio.

En la figura 4.2, se realiza un ajuste lineal con los datos del caudal de ingreso de agua cruda al reservorio o tanque de distribución (L/s) versus el peso de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial (kg), obteniéndose un factor de corrección igual a 4, por tanto, el peso de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial necesario para la cloración es igual al caudal de ingreso de agua cruda al reservorio o tanque de distribución multiplicado por 4, ver figura 4.3.



**Figura 4.3** Cantidad de uso mensual de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial (Kg) para agua cruda.

En la figura 4.3 se observa que en el mes de febrero (caudal promedio de ingreso al reservorio de agua cruda es de 1,317 L/s) se emplea 5 kg como máximo de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial, mientras el mes de agosto (caudal promedio de ingreso al reservorio de agua cruda es de 0,573 L/s) únicamente 2,210 kg, lo que indica que a mayor caudal de ingreso de agua cruda al reservorio o tanque de distribución mayor empleo de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial.

La concentración promedio anual de la solución a dosificar de hipoclorito de calcio es 3124,529 mg/L para lo cual se requiere aproximadamente 3,347 kg de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial para un volumen de 750 L y a una altura de 0,73 cm de carga o columna de agua.

### 4.3 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN POR GOTEO

#### 4.3.1 Medición del caudal de los goteros a diferentes alturas de carga o columna de agua

✓ **NETAFIM:**

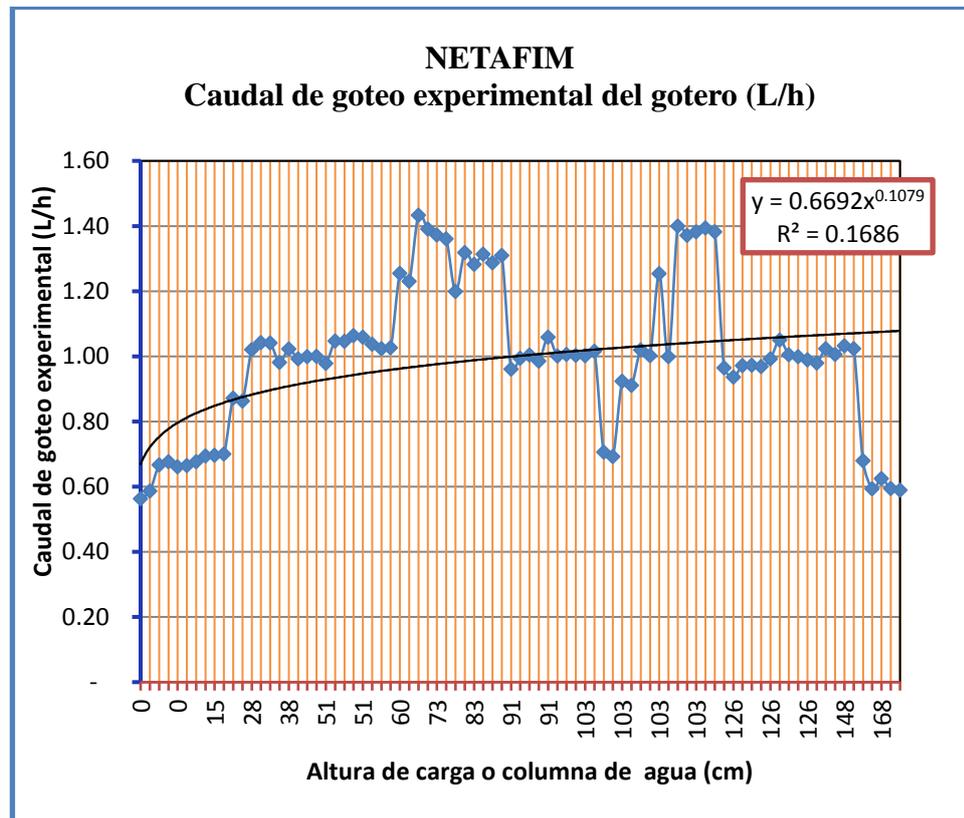
Se midió el caudal promedio de goteo experimental del gotero comercial de 2 L/h de la marca Netafim, a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm) empleando el método volumétrico (Aguero, 1997). Se realizó trece ensayos cada una con cinco o más repeticiones o replicas, como se muestra en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3** Caudal experimental del gotero Netafim (L/h) a diferentes alturas carga o columna de agua (cm).

N <sup>o</sup>	Tipo de gotero comercial 2 L/h	Número de ensayo	Número de replicas	Altura de carga o columna de agua cm	Caudal promedio de goteo experimental (Q) L/h
1	Netafim	Ensayo 1	5	0	0,631
2	Netafim	Ensayo 2	5	15	0,686
3	Netafim	ensayo 3	5	28	0,968
4	Netafim	Ensayo 4	5	38	0,999
5	Netafim	Ensayo 5	5	51	1,039
6	Netafim	Ensayo 6	5	60	1,114
7	Netafim	Ensayo 7	5	73	1,351
8	Netafim	Ensayo 8	5	83	1,302
9	Netafim	Ensayo 9	5	91	1,001
10	Netafim	Ensayo 10	18	103	1,386
11	Netafim	Ensayo 11	10	126	1,007
12	Netafim	Ensayo 12	5	148	1,013
13	Netafim	Ensayo 13	5	168	0,616

En la tabla 4.3 el caudal promedio experimental de goteo fue medido después de 30 minutos de goteo, porque es el tiempo aproximado para que el gotero se estabilice y dosifique el caudal de diseño (2 L/h). Sin embargo, a una altura de

carga o columna de agua de 51 cm alcanza un caudal de dosificación de 1 L/h como máximo y no es constante. En el ensayo 10 y 11 se realizaron más réplicas debido a la fuerte variación de caudal, en el ensayo 13 se observa una disminución considerable de 0,616 L/h, como se observa en la figura 4.4.



**Figura 4.4** Caudal experimental del gotero Netafim (L/h) a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm).

En la figura 4.4 se observa el como del caudal de goteo del gotero Netafim (L/h) varía en función a la altura de carga o columna de agua (cm). A una altura de 168 cm se observa una disminución considerable de 0,616 L/h del caudal de goteo. Realizando el ajuste de datos a la línea de tendencia el coeficiente de correlación es muy pequeña ( $R^2 = 0,1686$ ).

## ✓ JAIN EMITTER

Se midió el caudal promedio de goteo experimental del gotero comercial de 2 L/h  $\cong 5,5556$  L/s de la marca Jain Emitter, a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm) empleando el método volumétrico (Aguero, 1997). Se realizó trece ensayos cada una con cinco repeticiones o replicas, como se muestra en la tabla 4.4.

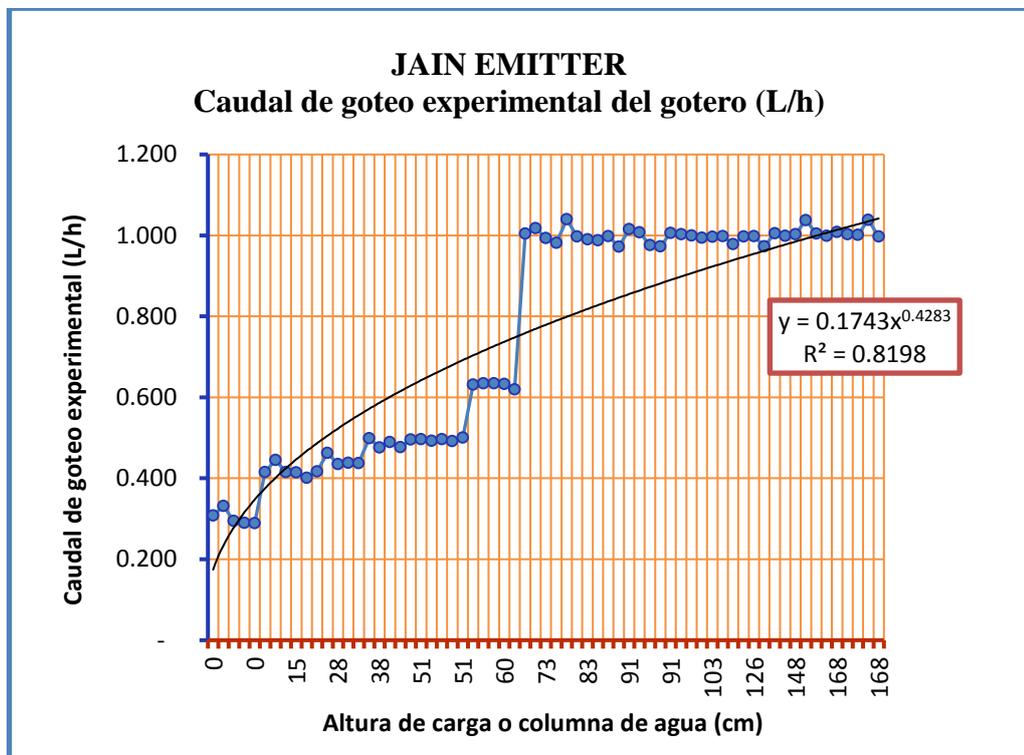
**Tabla 4.4** Caudal experimental del gotero Jain Emitter (L/h) a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm).

Nº	Tipo de gotero comercial 2 L/h	Número de ensayo	Nº de réplicas	Altura de carga o columna de agua cm	Presión (bar)	Caudal promedio de goteo experimental (Q) L/h	Caudal promedio de goteo experimental (Q) L/s
1	Jain Emitter	Ensayo 1	5	0	0	0,30	0,00008407
2	Jain Emitter	Ensayo 2	5	15	0,01	0,42	0,00011615
3	Jain Emitter	Ensayo 3	5	28	0,03	0,44	0,00012165
4	Jain Emitter	Ensayo 4	5	38	0,04	0,49	0,00013539
5	Jain Emitter	Ensayo 5	5	51	0,05	0,50	0,00013765
6	Jain Emitter	Ensayo 6	5	60	0,06	0,63	0,00017518
7	Jain Emitter	Ensayo 7	5	73	0,1	1,00	0,00027778
8	Jain Emitter	Ensayo 8	5	83	0,1	1,00	0,00027778
9	Jain Emitter	Ensayo 9	5	91	0,1	1,00	0,00027778
10	Jain Emitter	Ensayo 10	5	103	0,1	1,00	0,00027778
11	Jain Emitter	Ensayo 11	5	126	0,1	1,00	0,00027778
12	Jain Emitter	Ensayo 12	5	148	0,1	1,00	0,00027778
13	Jain Emitter	Ensayo 13	5	168	0,1	1,00	0,00027778

En la tabla 4.4, se observa que el gotero Jain Emitter tiene un caudal promedio experimental de goteo constante de  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s  $\cong 1$  L/h a partir de una altura de carga o columna de agua de 73 cm, el caudal experimental de goteo fue medido después de 30 minutos de goteo, porque es el tiempo aproximado necesario para que el gotero comercial de 2 L/h alcance la auto compensación.

Desde el ensayo 7 alcanza un caudal constante de 1 L/h como máximo y no se observó ninguna variación posterior, como se observa en la figura 4.5.

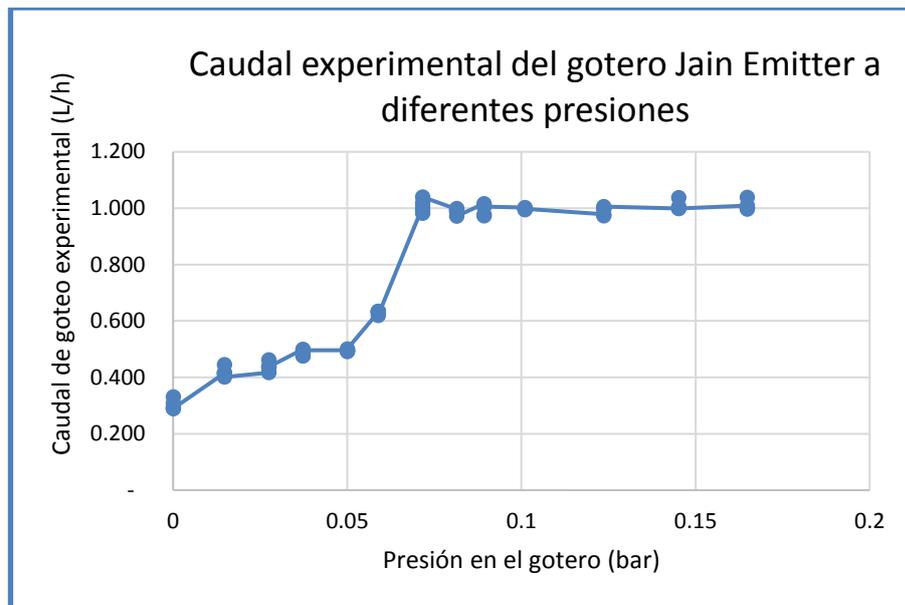
La experiencia en campo demuestra que a condiciones de la comunidad de Capillapata, el gotero comercial 2 L/h Jain Emitter suministra aproximadamente la mitad de su caudal de fabricación o diseño. Es decir que el gotero Jain Emitter con la denominación de 2 L/h, sólo suministra 1 L/h que equivale a  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s. El gotero Jain Emitter es bastante práctico por ser lavable (evita la obstrucción).



**Figura 4.5** Caudal experimental del gotero Jain Emitter (L/h) a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm).

En la figura 4.5 se observa el comportamiento constante del caudal de goteo del gotero Jain Emitter (1 L/h), a una altura de carga o columna de agua de 73 cm. Obteniéndose la ecuación para determinar el caudal de goteo a diferentes alturas de carga o columna de agua. Realizando el ajuste de datos con la línea de tendencia, el coeficiente de correlación es aceptable ( $R^2 = 0,81$ ).

Conociendo el caudal de dosificación constante del gotero Jain Emitter se instaló el sistema de cloración por goteo a una altura de carga o columna de agua de 0,73 cm respecto al nivel del techo del reservorio, que representa una presión aproximada de 0,1 bar en el gotero, como se muestra en la figura 4.6.



**Figura 4.6** Caudal experimental del gotero Jain Emitter (L/h) a diferentes presiones (bar).

De la figura 4.6, se deduce el comportamiento del caudal de goteo experimental del gotero Jain Emitter (L/h) a diferentes presiones (bar). A condiciones de presión (0,66 atm) y temperatura (8 - 12 °C) de la comunidad de Capillapata, se alcanza una presión aproximada de 0,1 bar en el gotero para dosificar un caudal constante de 1 L/h  $\cong 2,7778 \times 10^{-4}$  L/s. De acuerdo a la especificación técnica proporcionado por el fabricante, el gotero Jain Emitter comercial debería dosificar 2 L/h  $\cong 5,5556 \times 10^{-4}$  L/s a una presión de 1,0 bar. Pero a las condiciones de la comunidad de Capillapata únicamente dosifica aproximadamente el 50% de su caudal de diseño.

## ✓ MICRO FLAPPER

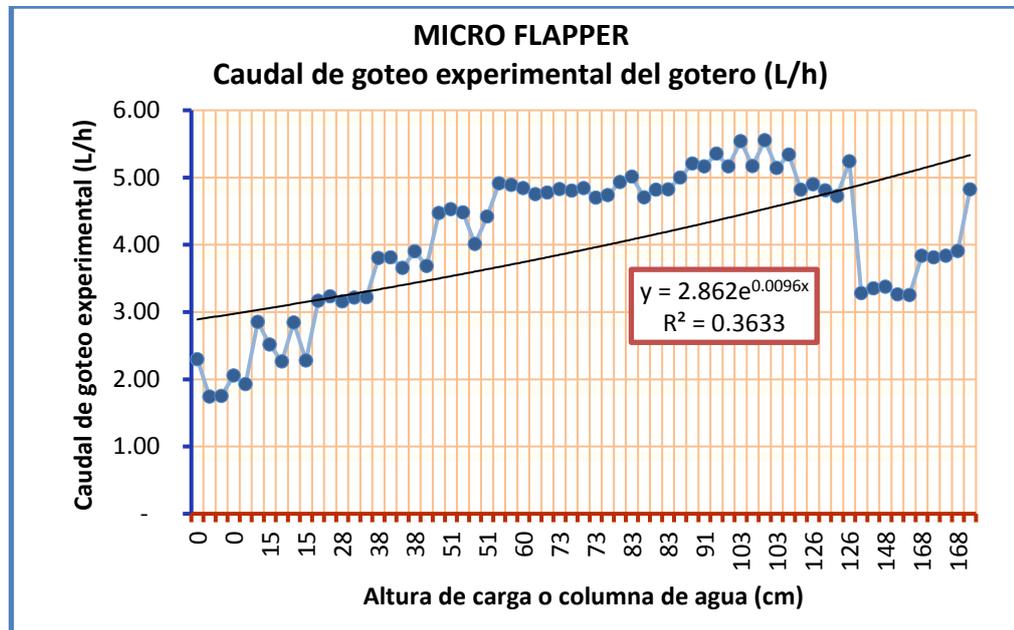
Se midió el caudal promedio de goteo experimental del gotero comercial de 2 L/h de la marca Micro Flapper, a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm) empleando el método volumétrico (Aguero, 1997). Se realizó trece ensayos cada una con cinco repeticiones o replicas, como se muestra en la tabla 4.5.

**Tabla 4.5** Caudal experimental del gotero Micro Flapper (L/h) a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm).

Nº	Tipo de gotero comercial 2 L/h	Número de ensayo	Número de replicas	Altura de carga o columna de agua cm	Caudal promedio de goteo experimental (Q) L/h
1	Micro Flapper	Ensayo 1	5	0	1,954
2	Micro Flapper	Ensayo 2	5	15	2,551
3	Micro Flapper	Ensayo 3	5	28	3,196
4	Micro Flapper	Ensayo 4	5	38	3,770
5	Micro Flapper	Ensayo 5	5	51	4,382
6	Micro Flapper	Ensayo 6	5	60	4,835
7	Micro Flapper	Ensayo 7	5	73	4,782
8	Micro Flapper	Ensayo 8	5	83	4,858
9	Micro Flapper	Ensayo 9	5	91	5,177
10	Micro Flapper	Ensayo 10	5	103	5,350
11	Micro Flapper	Ensayo 11	5	126	4,896
12	Micro Flapper	Ensayo 12	5	148	3,303
13	Micro Flapper	Ensayo 13	5	168	4,041

En la tabla 4.5 el caudal promedio experimental de goteo fue medido después de 30 minutos de goteo, porque es el tiempo aproximado para que el gotero se estabilice y dosifique su caudal de diseño (2 L/h). Sin embargo, en todos los ensayos a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm), se observó mucha variación del caudal de goteo (L/h). Presentando por ejemplo un caudal

promedio mínimo de 1,954 L/h en el ensayo 1 y un máximo de 5,350 L/h en el ensayo 10, como se observa en la figura 4.7.



**Figura 4.7** Caudal experimental del gotero Micro Flapper (L/h) a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm).

De la figura 4.7 se deduce el comportamiento del caudal de goteo del gotero Micro Flapper (L/h) y se observa que, no dosifica un caudal de goteo constante a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm). Así mismo el manejo en campo fue complicado, porque el caudal presenta mucha variación.

Realizando el ajuste de datos a la línea de tendencia, el coeficiente de correlación presenta un valor de  $R^2 = 0,36$ , siendo mucho menor a 1, no es considerable su selección.

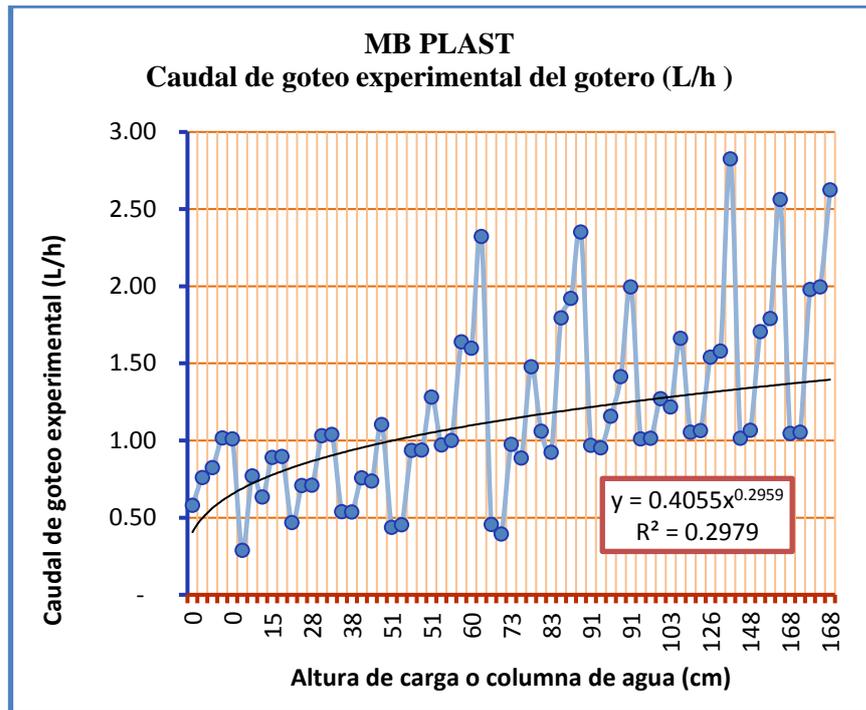
## ✓ MB PLAST

Se midió el caudal promedio de goteo experimental del gotero comercial de 2 L/h de la marca MB plast, a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm) empleando el método volumétrico (Aguero, 1997). Se realizó trece ensayos cada una con cinco o más repeticiones o replicas, como se muestra en la tabla 4.6.

**Tabla 4.6** Caudal experimental del gotero MB plast (L/h) a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm).

Nº	Tipo de gotero comercial 2 L/h	Número de ensayo	Número de replicas	Altura de carga o columna de agua cm	Caudal promedio de goteo experimental (Q) L/h
1	MB plast	Ensayo 1	5	0	0,838
2	MB plast	Ensayo 2	5	15	0,696
3	MB plast	Ensayo 3	5	28	0,792
4	MB plast	Ensayo 4	5	38	0,734
5	MB plast	Ensayo 5	5	51	0,809
6	MB plast	Ensayo 6	5	60	1,506
7	MB plast	Ensayo 7	5	73	0,837
8	MB plast	Ensayo 8	5	83	1,610
9	MB plast	Ensayo 9	5	91	1,297
10	MB plast	Ensayo 10	5	103	1,235
11	MB plast	Ensayo 11	5	126	1,613
12	MB plast	Ensayo 12	5	148	1,627
13	MB plast	Ensayo 13	5	168	1,740

En la tabla 4.6, el caudal promedio experimental de goteo fue medido después de 30 minutos de goteo, porque es el tiempo aproximado para que el gotero se estabilice y dosifique el caudal de diseño (2 L/h). Sin embargo, se observa que varía considerablemente con la altura de carga o columna de agua (cm). El caudal máximo promedio es 1,740 L/h, como se observa en la figura 4.8.



**Figura 4.8** Caudal experimental del gotero MB plast (L/h) a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm).

En la figura 4.8, se observa el comportamiento experimental del caudal de goteo del gotero MB plast (L/h). El caudal de goteo no es constante a diferentes alturas o columna de carga de agua (cm). Realizando el ajuste de datos a la línea de tendencia, el coeficiente de correlación no es considerable ( $R^2 = 0,29$ ), por ser un valor mucho menor a 1. Así mismo, el gotero MB plast presenta desajustes cuando existen cambios de altura de carga o columna de agua o existe algún tipo de movimiento brusco, generando variaciones en el caudal de goteo.

✓ **NDJ**

Se midió el caudal promedio de goteo experimental del gotero comercial de 2 L/h, de la marca NDJ, a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm) empleando el método volumétrico (Aguero, 1997). Se realizó trece ensayos cada una con cinco o más repeticiones o replicas, como se muestra en la tabla 4.7.

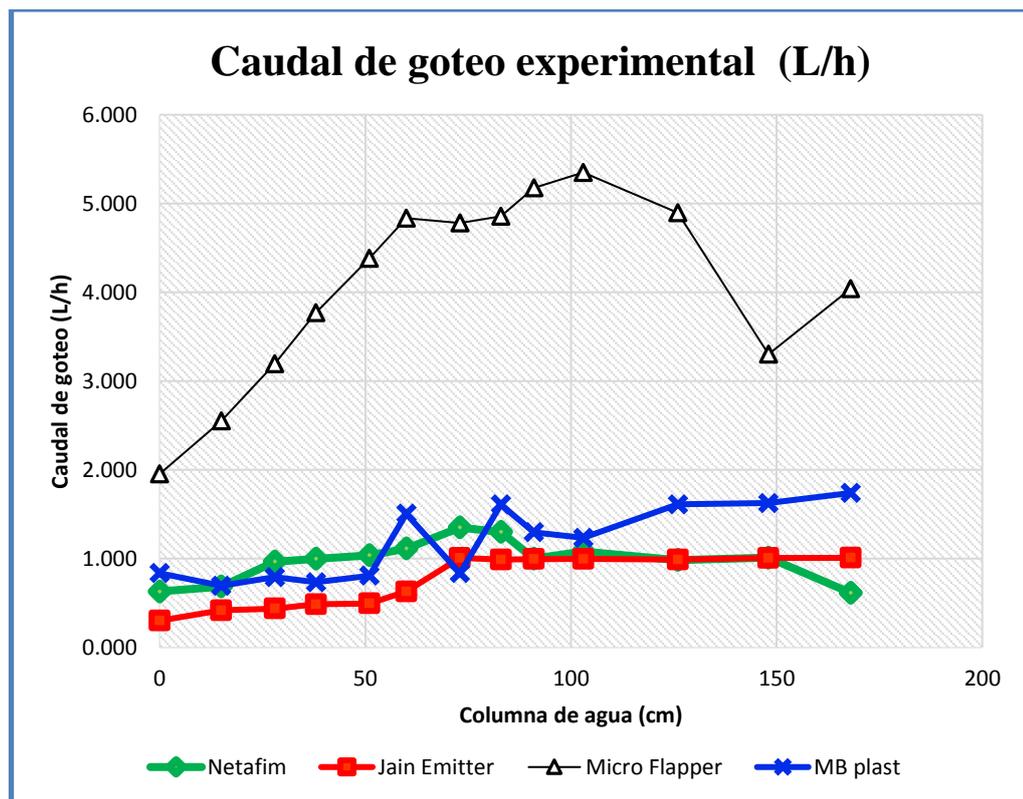
**Tabla 4.7** Caudal experimental del gotero NDJ (L/h) a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm).

Nº	Tipo de gotero comercial 2 L/h	Número de ensayo	Número de replicas	Altura de carga o columna de agua cm	Presión (bar)	Caudal promedio de goteo experimental (Q) L/h
1	NDJ	Ensayo 1	5	0	0	No funciona
2	NDJ	Ensayo 2	5	15	0,0147	No funciona
3	NDJ	Ensayo 3	5	28	0,0274	No funciona
4	NDJ	Ensayo 4	5	38	0,0372	No funciona
5	NDJ	Ensayo 5	5	51	0,0500	No funciona
6	NDJ	Ensayo 6	5	60	0,0588	No funciona
7	NDJ	Ensayo 7	5	73	0,0716	No funciona
8	NDJ	Ensayo 8	5	83	0,0814	No funciona
9	NDJ	Ensayo 9	5	91	0,0892	No funciona
10	NDJ	Ensayo 10	5	103	0,1010	No funciona
11	NDJ	Ensayo 11	5	126	0,1235	No funciona
12	NDJ	Ensayo 12	5	148	0,1451	No funciona
13	NDJ	Ensayo 13	5	168	0,1647	No funciona

En la tabla 4.7 el caudal promedio experimental de goteo fue medido después de 30 minutos de goteo, porque es el tiempo aproximado para la auto compensación (el gotero alcanza a dosificar el caudal de diseño 2 L/h). Pero se observa que el gotero no funciona a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm) del tanque regulador, como no dosifica ningún caudal de goteo, no se realiza el grafico por falta datos. De acuerdo a las especificaciones técnicas

proporcionados por el fabricante el gotero requiere una presión superior a 1,0 bar (Cabrera, 2007).

Finalmente, se graficó el comportamiento experimental de goteo (L/h) de los goteros (Netafim, Jain Emitter, Micro Flapper y MB plast) a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm), como se muestra en la figura 4.9.



**Figura 4.9** Caudal experimental de los goteros (L/h) a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm).

Realizando la comparación del comportamiento de goteo entre los cinco goteros, en la figura 4.9, se observa que el gotero Jain Emitter es el que tiene el caudal de goteo experimental más estable (dosificación constante de  $1 \text{ L/h} \cong 2,7778 \times 10^{-4} \text{ L/s}$ ) a partir de los 73 cm de altura de carga o columna de agua. Tal como se muestra en la figura 4.10.

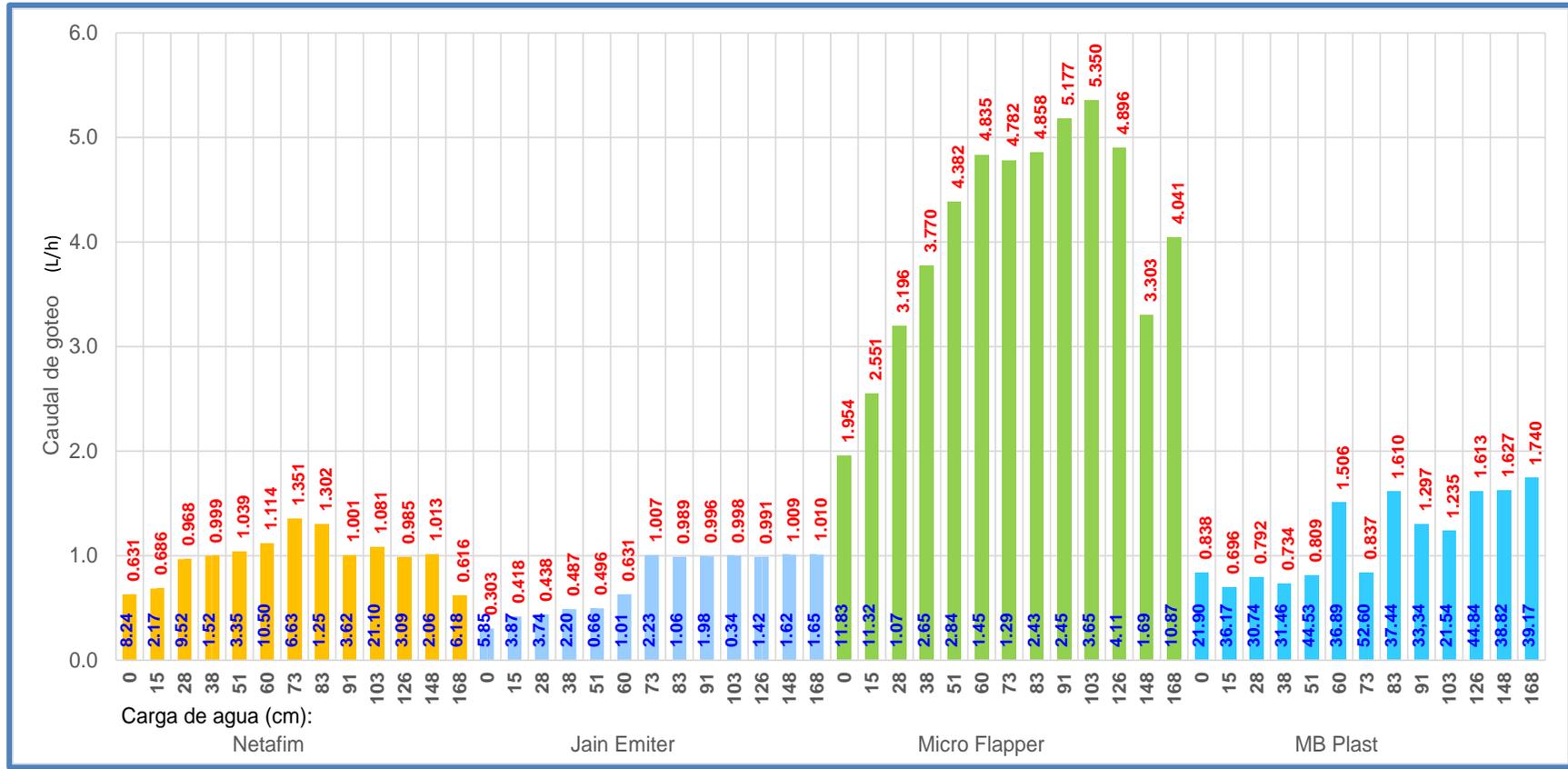


Figura 4.10 Caudal experimental de los goteros (L/h) a diferentes alturas de carga o columna de agua (cm).

En la figura 4.10, se muestra el caudal de goteo promedio (L/h) (extremo superior de las barras) y el coeficiente de variación (%) (extremo inferior de barras) para las diferentes alturas de carga o columna de agua (cm) en los cuatro tipos de gotero.

Por tanto, se seleccionó el gotero de la marca Jain Emitter, porque proporciona un caudal de goteo constante, es de uso práctico, de costo accesible, fácil mantenimiento en caso de taponamiento y se encuentra en el mercado local. Experimentalmente con los datos obtenidos y después de realizar los gráficos del caudal de goteo versus la altura de carga o columna de agua se determinó que la altura de carga o columna de agua es de 73 cm llegando a dosificar el gotero un caudal constante de  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s  $\cong$  1 L/h. Teóricamente se determinó que la altura adecuada era 37 cm según los cálculos teóricos aplicando el principio de Bernoulli (Darby, 2001), pero experimentalmente se demuestra que la altura adecuada es 73 cm.

Finalmente, el sistema de cloración por goteo fue puesto en marcha y evaluado a una altura de carga o columna de agua de 73 cm empleando el gotero Jain Emitter.

#### **4.3.2 Medición de cloro residual, temperatura, pH y coliformes termotolerantes**

La medición del cloro residual, temperatura y pH se realizó in situ. Para el caso del análisis microbiológico de coliformes termotolerantes se tomó una muestra diaria sólo en la última vivienda de la red baja y se almacenó en el cooler con hielo (se acumuló 3 a 5 muestras), para posteriormente procesar la muestra en el laboratorio de Control Ambiental de la Dirección Regional de Salud Ayacucho (DIRESA), obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 4.8.

**Tabla 4.8** Evaluación de la calidad del agua clorada (cloro residual, temperatura, pH y coliformes termotolerantes).

Lugar de Muestreo	Fecha	Hora	Temperatura °C	pH	Cloro residual mg / L	UFC/100 mL Coliformes Termotolerantes
Salida del Reservorio 1	01/09/2016	08:00:20 a.m.	12.15	6.990	1.90	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	12.01	7.010	0.98	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	12.05	7.020	0.95	
Salida del Reservorio 1	02/09/2016	08:00:20 a.m.	11.80	6.960	1.89	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	12.68	6.890	0.96	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	12.06	7.000	0.94	
Salida del Reservorio 1	03/09/2016	08:00:20 a.m.	12.67	6.970	1.59	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	12.60	7.050	0.95	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	12.00	7.100	0.93	
Salida del Reservorio 1	04/09/2016	08:00:20 a.m.	11.34	7.110	1.19	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	11.72	7.130	0.95	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	11.76	7.150	0.93	
Salida del Reservorio 1	05/09/2016	08:00:20 a.m.	11.69	7.090	1.16	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	11.20	7.010	0.93	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	11.32	7.050	0.90	
Salida del Reservorio 1	06/09/2016	08:00:20 a.m.	12.32	7.200	1.10	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	12.40	7.090	0.90	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	11.32	7.160	0.89	
Salida del Reservorio 1	07/09/2016	08:00:20 a.m.	12.15	7.060	0.99	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	11.18	7.090	0.91	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	12.89	7.080	0.90	
Salida del Reservorio 1	08/09/2016	08:00:20 a.m.	12.51	6.990	0.98	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	11.78	7.020	0.90	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	10.48	7.040	0.88	
Salida del Reservorio 1	09/09/2016	08:00:20 a.m.	11.89	7.120	0.95	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	11.58	6.980	0.89	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	11.42	7.100	0.87	
Salida del Reservorio 1	10/09/2016	08:00:20 a.m.	10.54	7.060	0.95	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	10.48	7.050	0.89	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	10.87	7.045	0.86	
Salida del Reservorio 1	11/09/2016	08:00:20 a.m.	10.58	7.090	0.95	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	10.67	7.080	0.87	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	10.89	7.100	0.85	
Salida del Reservorio 1	12/09/2016	08:00:20 a.m.	11.59	7.020	0.85	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	10.69	7.030	0.78	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	11.87	7.080	0.72	
Salida del Reservorio 1	13/09/2016	08:00:20 a.m.	10.60	7.100	0.80	0

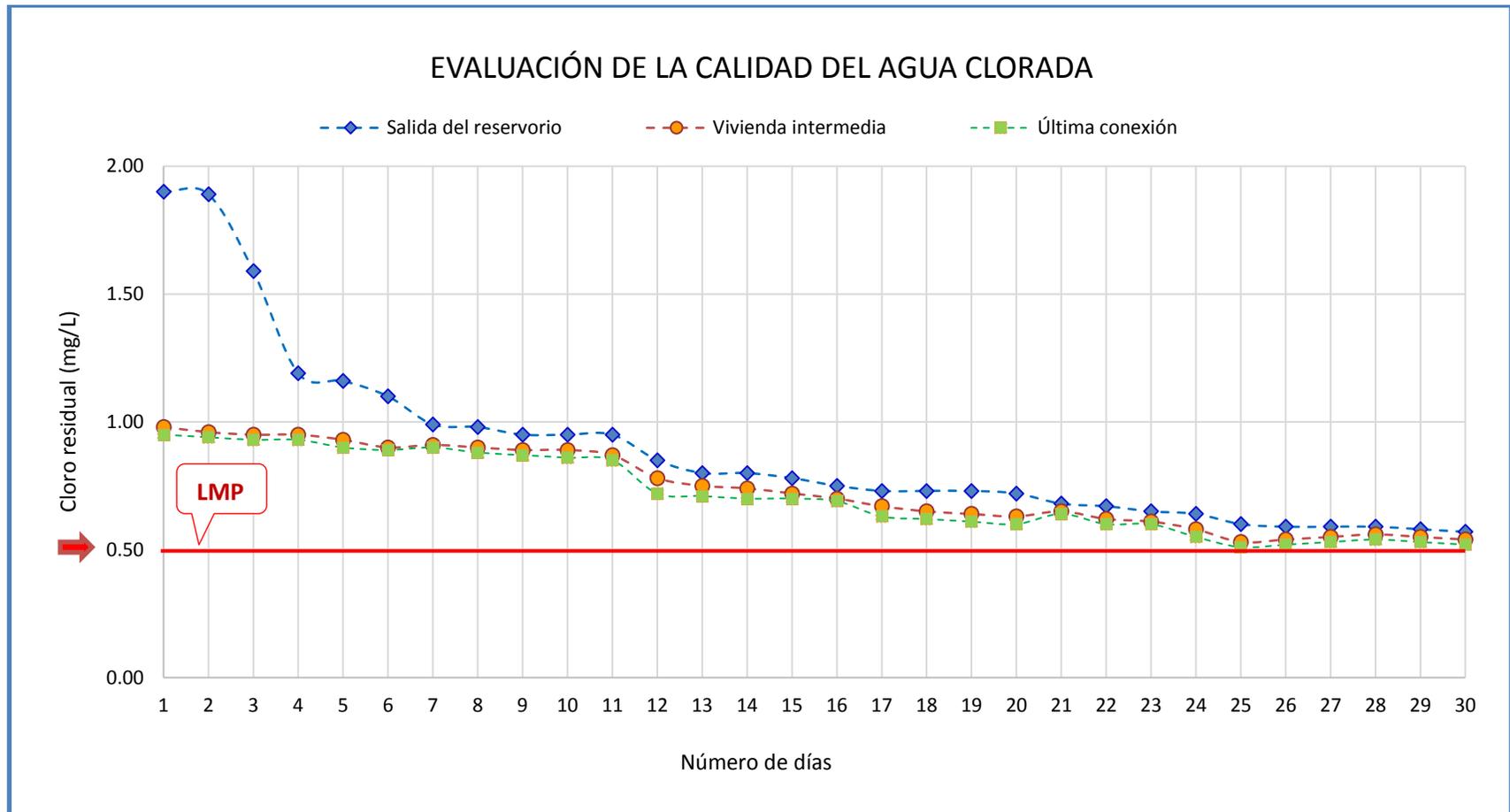
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	10.50	7.000	0.75	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	10.90	7.000	0.71	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	14/09/2016	08:00:20 a.m.	10.10	7.110	0.80	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	10.50	7.050	0.74	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	10.10	7.020	0.70	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	15/09/2016	08:00:20 a.m.	11.20	7.480	0.78	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	11.30	7.400	0.72	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	11.30	7.190	0.70	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	16/09/2016	08:00:20 a.m.	10.40	7.280	0.75	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	10.40	7.310	0.70	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	11.50	7.270	0.69	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	17/09/2016	08:00:20 a.m.	10.40	7.480	0.73	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	10.40	7.400	0.67	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	10.40	7.190	0.63	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	18/09/2016	08:00:20 a.m.	10.80	7.380	0.73	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	10.80	7.240	0.65	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	11.50	7.160	0.62	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	19/09/2016	08:00:20 a.m.	11.58	6.950	0.73	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	11.68	6.930	0.64	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	11.52	6.890	0.61	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	20/09/2016	08:00:20 a.m.	10.44	7.420	0.72	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	10.81	7.130	0.63	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	10.40	7.180	0.60	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	21/09/2016	08:00:20 a.m.	11.38	7.040	0.68	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	11.99	7.420	0.65	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	11.26	7.470	0.64	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	22/09/2016	08:00:20 a.m.	10.22	7.020	0.67	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	11.56	6.930	0.62	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	12.64	7.140	0.60	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	23/09/2016	08:00:20 a.m.	11.34	7.000	0.65	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	10.48	7.150	0.61	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	10.69	7.300	0.60	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	24/09/2016	08:00:20 a.m.	10.38	7.440	0.64	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	11.00	7.040	0.58	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	11.33	7.350	0.55	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	25/09/2016	08:00:20 a.m.	10.57	7.250	0.60	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	10.78	6.890	0.53	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	10.54	7.350	0.51	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	26/09/2016	08:00:20 a.m.	9.10	7.230	0.59	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	10.21	7.110	0.54	
<b>Última conexión 3</b>		06:30:40 p.m.	10.26	7.020	0.52	
<b>Salida del Reservorio 1</b>	27/09/2016	08:00:20 a.m.	11.50	7.020	0.59	0
<b>Vivienda Intermedia 2</b>		12:30:10 p.m.	11.82	7.010	0.55	

Última conexión 3		06:30:40 p.m.	11.58	7.000	0.53	
Salida del Reservoirio 1	28/09/2016	08:00:20 a.m.	9.87	7.140	0.59	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	10.90	6.980	0.56	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	10.35	7.020	0.54	
Salida del Reservoirio 1	29/09/2016	08:00:20 a.m.	8.24	7.050	0.58	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	9.45	7.020	0.55	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	9.41	7.452	0.53	
Salida del Reservoirio 1	30/09/2016	08:00:20 a.m.	9.03	6.660	0.57	0
Vivienda Intermedia 2		12:30:10 p.m.	9.60	7.150	0.54	
Última conexión 3		06:30:40 p.m.	9.54	7.280	0.52	
<b>MÍNIMO</b>			8.24	6.66	0.51	0.00
<b>PROMEDIO</b>			11.06	7.12	0.78	0.00
<b>MÁXIMO</b>			12.89	7.48	1.90	0.00
<b>LMP (Límite Máximo Permisible)</b>			....	6.5 - 8.5	>= 0.5	Ausente **

\*\* Promedio recomendado para agua potable (OMS, 2011)

La tabla 4.8 muestra el resultado del monitoreo y evaluación de cloro residual, temperatura, pH y coliformes termotolerantes, que sirven como un indicador de la buena calidad del agua clorada que se está dotando a la población de la comunidad de Capillapata, porque los promedios de los parámetros analizados, están dentro de las normas recomendadas por el D.S N<sup>o</sup> 031-2010-SA. y la OMS (dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP)). Así mismo, con los resultados obtenidos se demuestra que mientras menor es la temperatura del agua mayor es el tiempo de contacto, generando la muerte de microorganismos. Las reacciones químicas son más lentas a bajas temperatura. Por lo que la temperatura preferentemente debe ser menor a 20 °C. Se demuestra que el pH máximo es 7,48, se observa que está dentro del Límite Máximo Permisible (LMP). Por teoría se sabe que a medida que el pH es superior a 8, el consumo en cloro aumenta y se requiere de mayor cantidad de cloro para tratar el agua (Cánepa, 2004), volviendo la operación del sistema más costosa.

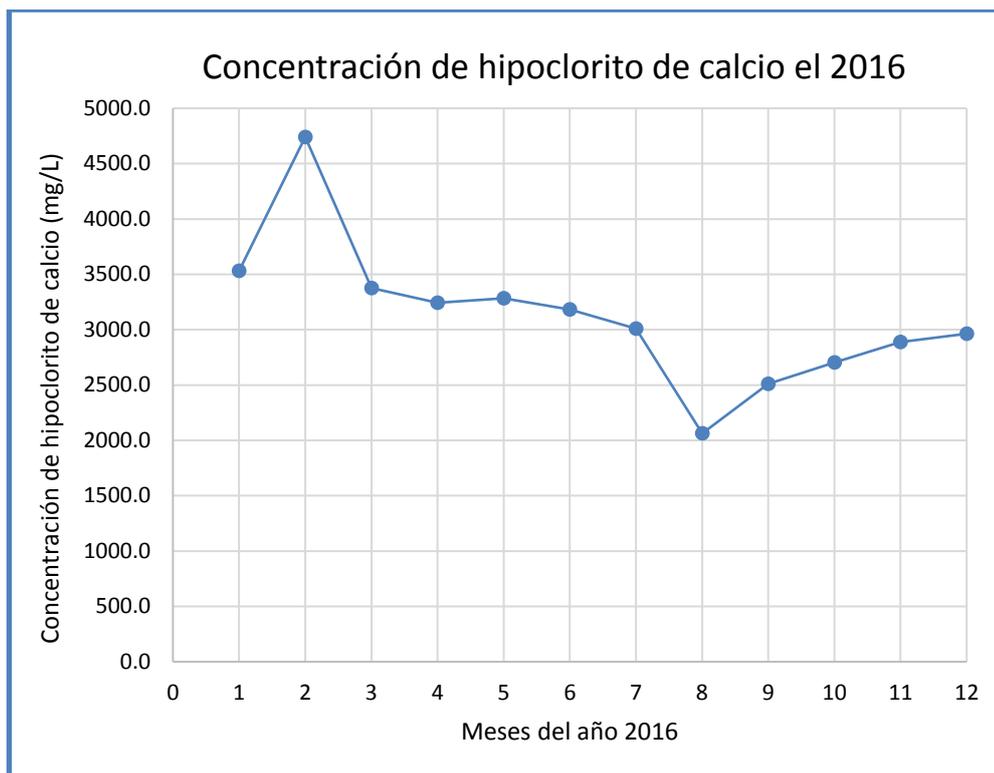
En la figura 4.11 se muestra el resultado del monitoreo del cloro residual en la zona alta, zona media y zona baja de la red de distribución.



**Figura 4.11** Evaluación de la calidad del agua clorada en el diseño, construcción de un sistema de cloración por goteo en la desinfección de agua.

En la figura 4.11 se observa la variación del cloro residual (mg/L) durante treinta días en las tres zonas de muestreo, demostrándose que en la última vivienda el cloro residual está dentro del Límites Máximos Permisibles (LMP)  $\geq 0,5$  mg/L. La cantidad de cloro residual que existe en la red, viene dada en función de la longitud de tubería por donde haya circulado el agua después de su desinfección; a mayor distancia, menor será el valor del cloro residual.

Así mismo en la figura 4.11 se observa que, a la salida del reservorio o tanque de distribución, al iniciar la operación la concentración del cloro residual tiene un valor alto de 1,90 mg/L, el cual sufre una caída progresiva en la concentración los días 3, 4, 5 y 6, llegando a 0,99 mg/L el día 7. Este fenómeno se explica en razón a que al inicio de la operación las primeras cantidades de cloro reaccionan con escasa materia orgánica presente en el agua cruda, así mismo para garantizar una adecuada desinfección se agrega soluciones concentradas al inicio para que se produzcan todas las reacciones secundarias (Cánepa, 2004), por lo que el cloro residual presenta una alta concentración y luego tras transcurrir los días disminuye hasta alcanzar un comportamiento ligeramente estable sin disminuciones bruscas, dentro del periodo de 30 días que dura la solución concentrada de hipoclorito de calcio. A esto se suma efectos externos como disminución repentina del caudal de agua cruda a tratar, falta de agitación constante, disminución extrema de la temperatura; lo que varía en el comportamiento del cloro residual inicial. También se observa que el cloro residual en la vivienda intermedia y la última conexión disminuyen, esto por efecto de la volatilización del cloro. Este fenómeno se repite los meses posteriores durante todo el año 2016, como se observa en la figura 4.12.



**Figura 4.12** Concentración de hipoclorito de calcio los doce meses del año (enero a diciembre).

La figura 4.12 fue graficada con los datos de concentración versus los meses del año de la tabla 4.2 y se observa las diferentes concentraciones de hipoclorito de calcio requeridos a lo largo del año 2016. En el mes de febrero se requiere que la solución sea más concentrada (4740,3 mg/L), esto debido a la temporada de lluvias en la comunidad de Capillapata y el incremento del caudal de captación (agua cruda que ingresa al reservorio o tanque de distribución).

La solución concentrada de hipoclorito de calcio se conserva en el tanque de almacenamiento de 750 L.

#### 4.4 PROPUESTA DEFINITIVA DEL SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO

De acuerdo a los ensayos y resultados de evaluación se presenta los siguientes diagramas de bloques y flujo del proceso, como se muestra en las figuras 4.13 y 4.14.

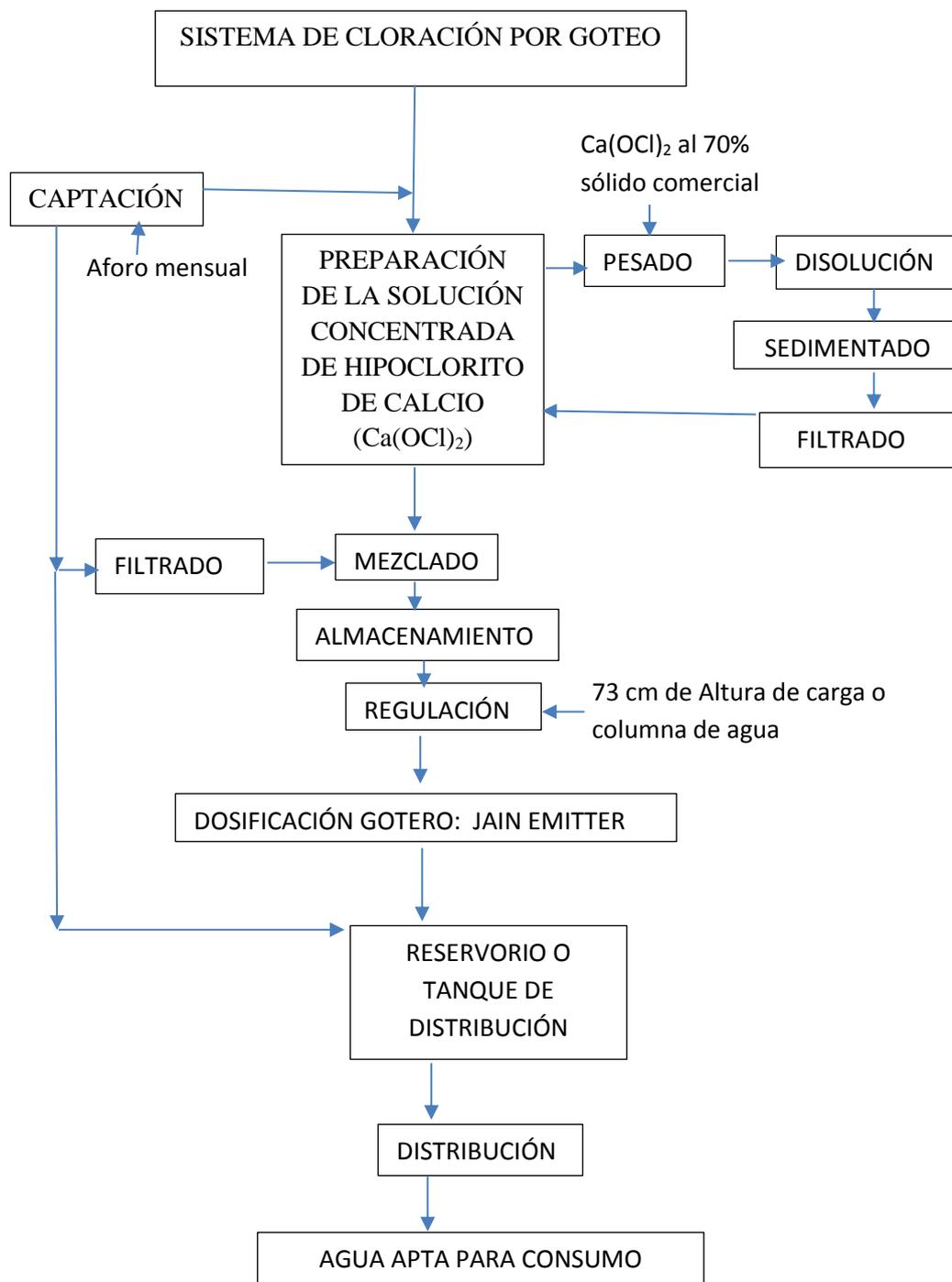


Figura 4.13 Diagrama de bloques del diseño del sistema de cloración por goteo en la desinfección de agua.

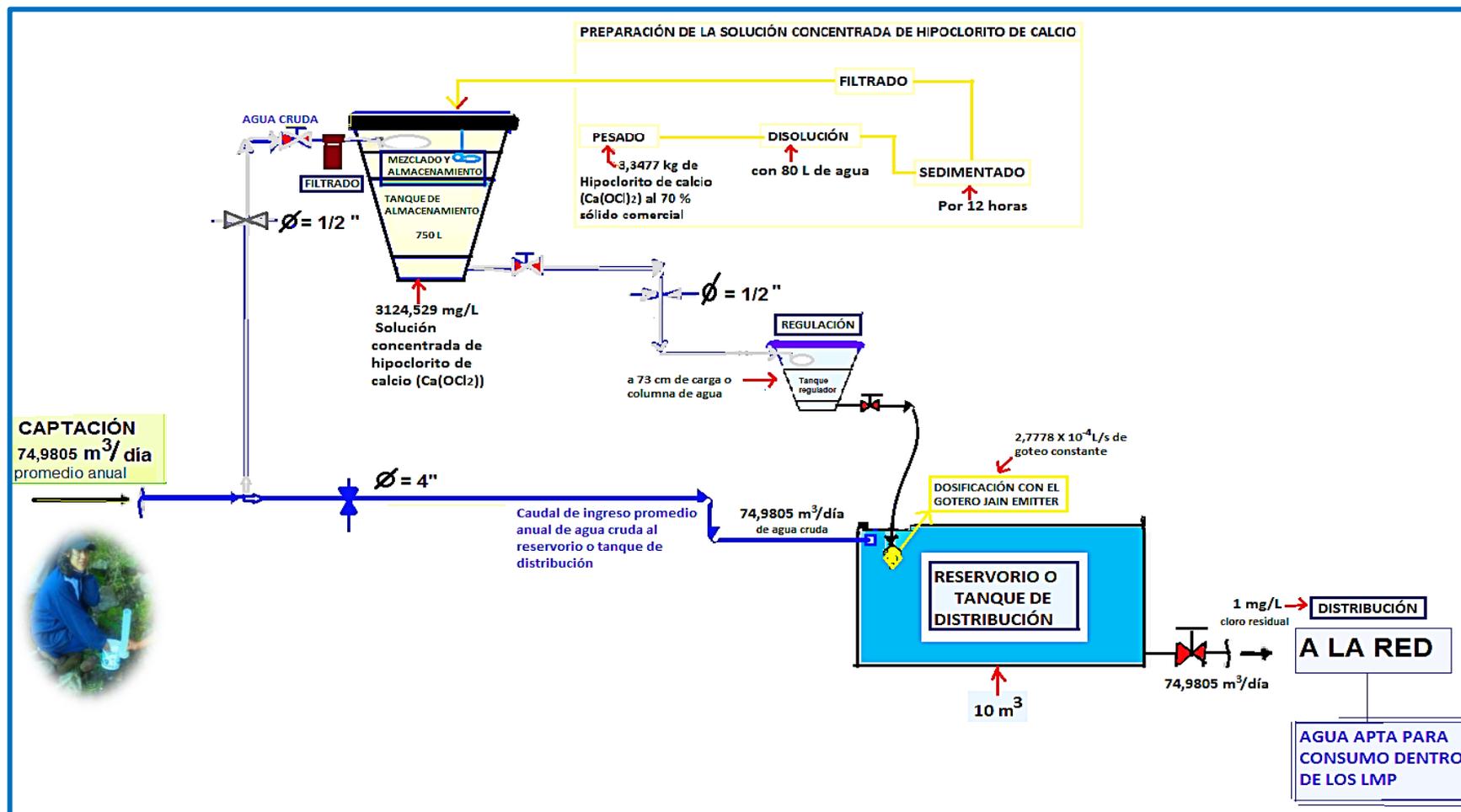


Figura 4.14 Diagrama de flujo del proceso de cloración por goteo en la desinfección de agua.

De las figuras 4.13 y 4.14 donde se muestra el diagrama de bloques y flujo, la descripción detallada de la operación del tratamiento con desinfección empleando la propuesta definitiva del sistema de cloración por goteo (bajo condiciones de la comunidad de Capillapata), es como a continuación se detalla:

#### **4.4.1. Captación:**

En esta etapa el agua cruda es captada del manantial “ojo de agua” de Huaynayacu, con un caudal promedio anual de 74,9805 m<sup>3</sup>/día que equivale a 0,868 L/s.

##### **Finalidad:**

Los fines que se pretenden con esta operación son:

- Aforo del caudal y conocer la oferta de agua cruda en la comunidad de Capillapata.
- La caracterización físico química, el agua cruda fue un factor determinante para el uso o no de la fuente.

##### **Procedimiento:**

El agua del manantial fue captada por la cámara de captación, luego ingresa al reservorio o tanque de distribución y se tomó también una pequeña cantidad para llenar el tanque (750 L) de almacenamiento de solución concentrada de hipoclorito de calcio.

##### **Controles:**

Caudal.

#### 4.4.2. Preparación de la solución concentrada de hipoclorito de calcio:

La preparación de la solución concentrada consiste en poner en contacto el hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ) con el agua cruda en un recipiente y agitar hasta su completa disolución.

##### **Finalidad de esta operación**

- Disminuir las impurezas del hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial.

##### **Procedimiento:**

Esta operación previa a la cloración, comprende de las siguientes etapas:

- Pesado:** Empleando el dinamómetro se pesó 3,3477 kg de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ) para el caudal de agua cruda de  $74,9805 \text{ m}^3/\text{día} \cong 0,868 \text{ L/s}$ .
- Disolución:** Esta operación se realiza en un recipiente de 80 L con agua, se adiciona los 3,3477 kg de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ) y disuelve completamente por un tiempo de 20 – 30 minutos.
- Sedimentado:** Luego de la disolución, pasa a la operación de sedimentado, donde fundamentalmente se pretende disminuir las impurezas presentes del hipoclorito de calcio comercial puesto que sólo es 70 % puro. Esto por un tiempo de 12 horas, por lo que se preparó la solución un día antes de su dosificación.
- Filtrado:** Luego del sedimentado se procede a filtrar la solución concentrada con un tamiz de tela y se añadió al tanque de almacenamiento de 750 L.

#### 4.4.3. Almacenamiento:

La solución concentrada de hipoclorito de calcio fue adicionada y mezclada con agua cruda en el tanque de almacenamiento de 750 L. Se tiene la solución de

hipoclorito de calcio con una concentración de 3124,529 mg/L para un caudal de ingreso de agua cruda de 74,9805 m<sup>3</sup>/día  $\cong$  0,868 L/s y se almacenó durante 30 días

**Finalidad de esta operación:**

- Promover la acción química del desinfectante.

**Procedimiento**

Previa a la operación, se procede con las siguientes etapas:

- a. **Filtrado:** Una parte del agua cruda captada es tomada para el llenado del tanque de almacenamiento de 750 L, como el agua es tomada directamente de la red se filtra para evitar la presencia de sedimentos en la solución concentrada.
- b. **Mezclado:** El tanque de 750 L contiene agua cruda a la mitad de su capacidad, luego se procede a añadir los 80 L de solución concentrada de hipoclorito de calcio (anteriormente preparada) y se mezcló por un tiempo de 20 minutos.

**4.4.4. Regulación:**

El tanque de regulación de 20 L de capacidad, de carga constante contiene la solución concentrada de hipoclorito de calcio, tras los resultados de los ensayos la una altura de carga o columna de agua definitiva es 73 cm.

**Finalidad**

- Mantener la presión constante con la carga constante.
- Acumular los sedimentos de la solución y evitar la obstrucción del gotero.

#### **4.4.5. Dosificación con el gotero Jain Emitter:**

En esta operación se dosifica la solución concentrada de hipoclorito de calcio de 3124,529 mg/L con un caudal de goteo constante de  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s, empleando el gotero comercial Jain Emitter.

##### **Finalidad:**

- Garantizar la dosificación por goteo de solución concentrada de hipoclorito de calcio con un caudal constante.

#### **4.4.6. Reservorio o tanque de distribución:**

En esta operación el agua cruda ingresa al reservorio o tanque de distribución de  $10 \text{ m}^3$  por el extremo superior del reservorio cerca a la tapa (**ver anexo 8**), por lo que, la ubicación del gotero Jain Emitter fue a esa altura; mezclándose así permanentemente el agua cruda que ingresa con un caudal de  $74,9805 \text{ m}^3/\text{día} \cong 0,868 \text{ L/s}$  y la solución concentrada de hipoclorito de calcio con un caudal de  $2,7778 \times 10^{-4} \text{ L/s}$ , tal como se observa en la figura 4.15.

##### **Finalidad:**

- Garantizar la dotación de agua clorada a la comunidad de Capillapata.

##### **Controles**

- Cloro residual a la salida 1 mg/L.
- Tiempo de contacto de 30 minutos.

#### **4.4.7. Distribución:**

En esta etapa el agua clorada es distribuida a las 56 familias beneficiarias de la comunidad de capillapata.

##### **Controles**

Cloro residual en la última vivienda  $\geq 0,5 \text{ mg/L}$ , temperatura, pH, coliformes termotolerantes,

#### 4.4.8. Agua apta para consumo:

El agua clorada es apta para el consumo humano, porque principalmente el cloro residual  $\geq 0,5$  mg/L y ausencia de coliformes termo tolerantes 0 UFC/100 mL, encontrándose dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) del reglamento de calidad del agua para consumo humano aprobada con el D.S. N° 031 – 2010 – SA. Así mismo se realizaron algunos controles fisicoquímicos del proceso en la última vivienda y se tiene una turbidez de 1,04 NTU, dureza total 21 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , entre otros parámetros, como se detalla en el anexo 10.

En la figura 4.15, se observa la propuesta definitiva y la ubicación de cada operación en el sistema de cloración por goteo. Los detalles del diseño y los componentes del sistema se encuentran en el anexo 8 - plano 05.

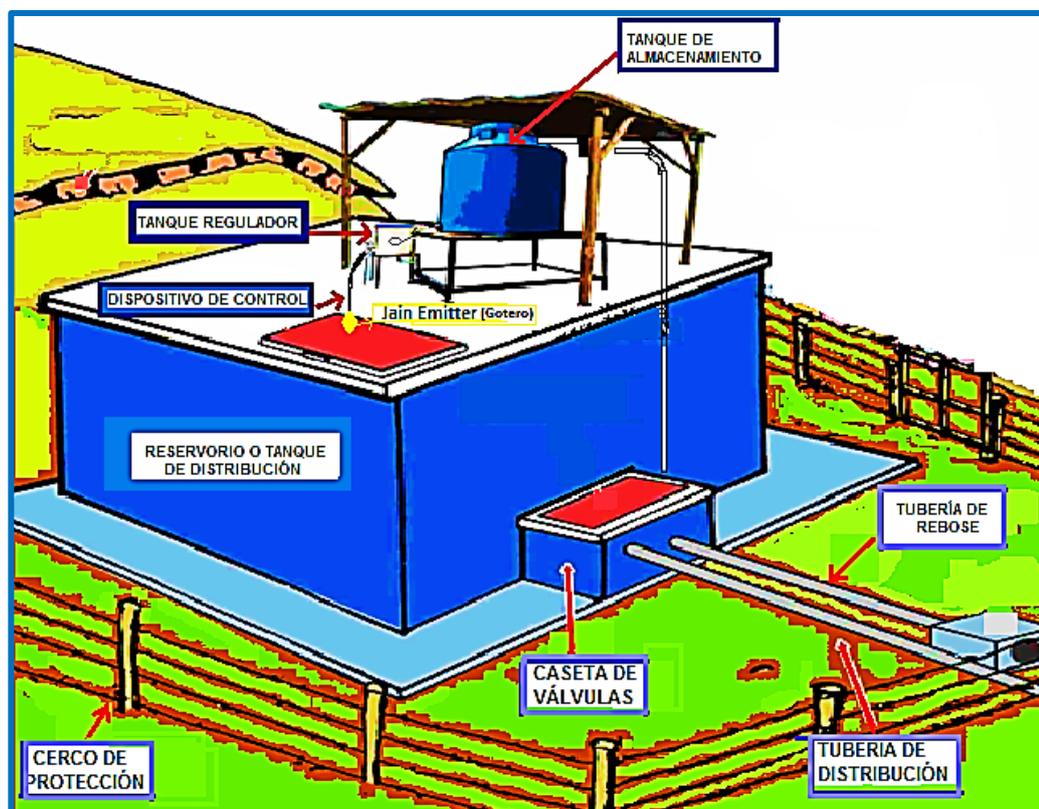


Figura 4.15 Propuesta definitiva del diseño, construcción y evaluación del sistema de cloración por goteo en la desinfección de agua para consumo de la comunidad de Capillapata 2016.

#### 4.5 COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO

El presupuesto de implementación del sistema de cloración es presentado en la tabla 4.9.

**Tabla 4.9** Costo total del sistema de cloración por goteo en el diseño, construcción y evaluación de un sistema de cloración por goteo en la desinfección de agua.

N°	Rubro	Cant.	Prec. Unit.	Subtotal	Total
<b>1.0</b>	<b>Captación</b>				<b>44.00</b>
1.1	Collarín de 32 mm	1	10.00	10.00	
1.2	Adaptador PVC de 1/2"	5	1.20	6.00	
1.3	Tubería PVC de 1/2"	1	13.00	13.00	
1.4	Pegamento	1	13.00	13.00	
1.5	Cinta teflón	2	1.00	2.00	
<b>2.0</b>	<b>Tanque de almacenamiento</b>				<b>351.20</b>
2.1	Tanque de almacenamiento de 750 Litros	1	350.00	350.00	
2.2	Adaptador PVC de 1/2"	1	1.20	1.20	
<b>3.0</b>	<b>Cloración</b>				<b>123.40</b>
3.1	Codo PVC de 1/2"	2	1.20	2.40	
3.2	Válvula bola PVC de 1/2"	1	8.00	8.00	
3.3	Unión universal PVC de 1/2"	1	5.00	5.00	
3.4	Tanque regulador con accesorios	1	108.00	108.00	
	<b>TOTAL</b>				<b>518.60</b>

Los costos para la implementación tecnológica del sistema de cloración, son accesibles a la economía de las comunidades representados por la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento y se encuentran en el mercado local.

## CONCLUSIONES.

1. Las dimensiones de diseño del sistema de cloración por goteo, son: 73 cm de altura de carga o columna de agua para el tanque regulador y 2 m de longitud del microtubo.
2. A condiciones (presión de 0,66 atm y temperatura de 8 – 12 °C) de la comunidad de Capillapata, el sistema de cloración por goteo con el gotero Jain Emitter tiene una dosificación constante de  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s, a una altura de carga o columna de agua del tanque regulador de 73 cm (que representa una presión de 0,1 bar en el gotero), esto de acuerdo a las bases de diseño, como: la dotación de agua por poblador rural de 60 L/habitante/día, el caudal promedio de captación de 0,868 L/s, el caudal de consumo máximo diario de 0,228 L/s y el caudal de consumo máximo horario de 0,352 L/s.
3. El caudal constante de goteo del gotero Jain Emitter de  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s está en función a la altura de carga o columna de agua del tanque regulador (73 cm).
4. La concentración promedio anual de la solución de hipoclorito de calcio a dosificar es 3124,529 mg/L y requiere un peso promedio 3,348 kg de hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial, esto del balance de masa tomando en consideración la corriente de flujo del caudal de captación 0,868 L/s que ingresa

al reservorio o tanque de distribución y el caudal de dosificación constante del gotero Jain Emitter a lo largo del año de  $2,7778 \times 10^{-4}$  L/s. Tal como se detalla para todos los meses, en la tabla 4.2.

5. La puesta en marcha del sistema de cloración por goteo de hipoclorito de calcio con el gotero Jain Emitter garantiza la calidad del agua; que se refleja en los datos de la tabla 4.8, donde se observa un cloro residual mínimo de  $\geq 0,51$  mg/L, un pH promedio de 7,12, una temperatura promedio de  $11,06$  °C y ausencia de coliformes termotolerantes cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles (LMP) del D.S. N° 031 – 2010 - SA en las redes de distribución.
6. Los resultados finales del análisis físico químico y microbiológico en la última vivienda de la red de distribución son: 0,65 mg/L de cloro residual,  $12$  °C de temperatura, pH de 7,652, turbidez de 1,04 NTU, dureza total de 21 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , 22 mg/L de sólidos totales disueltos, conductividad de 48 uS/cm, aluminio de 0,001929 mg/L y 0 UFC/100 mL de coliformes termotolerantes, como se detalla en los anexos 10 y 11.

## **RECOMENDACIONES.**

1. Se recomienda la implementación de la tecnología del sistema de cloración por goteo estudiado en la desinfección de agua en el ámbito rural de nuestro departamento, el cuál debe ser difundido e implementado con el asesoramiento profesional correspondiente.
2. El sistema de cloración debe ser instalado sobre el reservorio o tanque de distribución, porque es el punto idóneo para realizar la cloración, principalmente debido a los 30 minutos de espera que hay que dejar para medir el cloro residual.
3. La instalación del sistema de cloración no es recomendable en localidades rurales con temperaturas por debajo de los 0 °C grados centígrados, porque deja de funcionar en forma adecuada por congelamiento.
4. Es necesario realizar la limpieza periódica del sistema y establecer un programa de mantenimiento del mismo, por cuanto la falta de esta actividad podría influir en la calidad del agua, restando efectividad a la desinfección.
5. Para mejorar los resultados, el sistema de cloración por goteo puede ser sometido a cambios en cuanto al diseño, como recubrir el sistema con aislante térmico; por lo que el sistema se encuentra en permanente monitoreo y control.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Agüero, R. (1997). *Agua potable para poblaciones rurales*. (A. S. E. R. SER, Ed.) (Edic. 1ra ed.). Lima - Perú: Manos Unidas de España.
2. ANA, A. N. del A. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos*. (J. C. Sevilla, J. Velásquez, & M. E. Palacios, Eds.) (Edic. 1ra). Lima - Perú: Autoridad Nacional del Agua.
3. Arboleda, J. (1992). *Métodos de aplicación de cloro*. (Edit. Acodal, Ed.) (Edic. 2da.). Colombia: Acodal, Ed.
4. Aurazo, M. (2004). *Manual para análisis básicos de calidad del agua de bebida*. Lima - Perú.
5. Barahona, A. (2010). Mecanismos e instrumentos para el monitoreo de la calidad del agua.
6. Beltrán, I., & Hernández, J. (2012). *Guía de opciones técnicas para abastecimiento de agua potable y saneamiento para centros poblados del ámbito rural*. Lima -Perú, Saneamiento.
7. Bonilla, M. (1985). *La estructura del agua*. (D. de F. UNAM, Ed.) (Primera). Lima - Perú: Facultad de Ciencias.
8. Cabrera, E. (2007, March). Goteros Antecedentes. *Campbell Design*.
9. Cánepa, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. (C. P. de I. S. y C. del A. CEPIS, Ed.) *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ...* (Edic. 1ra). Lima-Perú. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Tratamiento+de+agua+para+consumo+humano+Plantas+de+filtraci?n+r?pid+Manual+I+:+Teor?a+Tomo+I#0>

10. Carvajal, G. (2005). Microorganismos Emergentes en el agua. *Ingeniería Sanitaria*.
11. Chang, R. (2012). *Química*. (I. Edit. McGrawHill, Ed.) (Edic. 9na). México: Mundo Cultura Hispano.
12. CID, C. de I. y D. R. (2016, January). Guía de instalación Rotoplas, 1–16.
13. Darby, R. (2001). *Chemical Engineering Fluid Mechanics* (2da edición). Madison Avenue, New York: Marcel Dekker.
14. DIGESA, D. G. de S. A.-M. de S. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, Pub. L. No. 031 (2011). MINSA - Ministerio de Salud.
15. Echarri, L. (2007). Ciencias de la tierra y el medio ambiente (Primera ed). España: Ministerio de medio Ambiente.
16. Ministerio de Vivienda, C. y S. M. (2016). *Guía de orientación para elaboración de expedientes técnicos de proyectos de saneamiento rural*. Equipo de estudios de Inversión. Lima - Perú.
17. Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. (S. A. d. C. V. M. Compañía editorial continental, Ed.) (Tercera ed). México.
18. Gonzáles, C. (2004). La desinfección y el almacenamiento domiciliario del agua : intervención fundamental de la salud pública. (N. Sánchez, Ed.) *Desinfección Del Agua*, 1–9.
19. Grondin, P. M. (2005). Chloration en milieu rural dans les pays en voie de développement, 1996 (réédition).
20. HACH, C. (2000). Manual de Análisis de Agua, (970), 1997–2000.
21. HANNA Instruments, I. (1996). Manual Instruction Portable HANNA HI 8424. Italy: Rhode Island, USA.
23. International Organization for standardization, (ISO). Agua potable - Fuentes de abastecimiento y obras de captación, Pub. L. No. NCh777/1.cR2008 (2008). Chile.
24. Levenspiel, O. (1998). *Engineering flow and heat exchange*. (L. Springer Science+ Business Medi, Ed.) (1ra Edición). Corvallis, Oregon: Plenum Press, New York.
25. MVCS, M. de V. C. y S. (2017). Cloración de Agua para Consumo Humano. In M. de D. e I. S. MIDIS & F. de C. para el D. S. FONCODES (Eds.), (pp. 1–9). Ayacucho- Perú: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).
26. NaanDanJain. (2015). Catalogo de riego por goteo. Israel: Irrigation Company.

27. Olmedo Sánchez, M. T. (2008). Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro . Efectos sobre la salud. *Higiene Y Sanidad Ambiental*, 342, 335–342.
28. OMS, O. M. de la S. (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. (O. M. de la S. Edit.OMS, Ed.) (Edic. 4ta). Ginebra ,Suiza: Organización Mundial de la Salud.
29. OPS/ OMS, O. P. D. L. S. (1999). La desinfección del agua. *Agua N.W., Washington, D.C., 20037*, 5–9–11.
30. OPS/ OMS, O. P. D. L. S. (2007). Guía para la selección de sistema de desinfección, 1–33.
31. OPS/CEPIS, O. P. D. L. S. (2002). Consideraciones para la selección de la opción tecnológica y nivel de servicio en sistemas de abastecimiento de agua.
32. Ordoñez, J. J. (2011). Aguas Subterráneas - Acuíferos. *Foro Peruano Para El Agua -GWP Perú*, 8–18.
33. Orellana, J. A. (2005). Abastecimiento de agua potable. *Ingeniería Sanitaria*, 1–30.
34. Pérez, F. (2016). *Abastecimiento de Aguas*. (F. J. Pérez de la Cruz & M. A. Urreda Mallebrera, Eds.) (Edic. 1ra). Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
35. Pronasar, P. N. de S. R. (2004). *Parámetros de diseño de infraestructura de agua y saneamiento para centros poblados rurales*. Lima - Perú.
36. Ramirez, A., & Restrepo, R. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. *Ciencia, Tecnología Y Futuro*, 1.
37. Rodríguez, R. (2010). *La Dureza del Agua*.
38. Roldán, G., & Ramírez, J. (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas , Antioquia , Colombia. *Universidad de Antioquía-Departamento de Biología*, 48(1), 59–70.
39. Saldarriaga, J. (2007). *Hidráulica de tuberías*. (L. Buitrago, Ed.) (Edic.1ra ed.). Bogotá - Colombia: Alfaomega.
40. Salvador, I. (2005). *Abastecimiento de Agua y Saneamiento*. (E. Realp & L. Basteiro, Eds.) (Edic. 1ra). Catalunya: Universitat Oberta de Catalunya- Ingeniería sin fronteras.
41. Sanz, C. (2015). Manual para cloración en proyectos de Cooperación.

42. Solsona, F. (1983). Seminario sobre desinfección de agua para abastecimientos rurales, 1–5.
43. Solsona, F. (1990). *Disinfection For Small Water supplies*. (A. Adey, Ed.) (Primera Ed). Pretoria South Africa: Water Technology.
44. Solsona, F., & Méndez, J. P. (2002). *Desinfección del agua*. (Z. environmental INC & A. I. AG, Eds.) (Segunda ed). Lima - Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente(OPS/CEPIS).
45. SUNASS, S. N. de S. de S. (1997). *Manual de procedimiento de análisis de agua*. Lima - Perú.
46. Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. (2010). Aplicación de índices de calidad de agua - ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ingeniería E Investigación*, 30(3), 86–95.
47. UNESCO, O. de las N. U. para la E. la C. y la C. (2016). Water a shared responsibility, II.
48. USEPA, U. S. E. P. A. (1983). *Methods for chemical Analysis of Water and Wastes*. (E. P. A. EPA, Ed.) (segunda Ed). Estados Unidos de América: Oficina de investigación y desarrollo Washington.
49. Vasquez, O. Reglamento Nacional de Edificaciones, Pub. L. No. OS.020 (2014). Ministerio de vivienda , construcción y Saneamiento.
50. Warden, J. H. (1982). *Treatment and disinfection of small water supplies*. (R. Research Water, Ed.) (Primera Ed). Estados Unidos de América: Departmen of the Environment.
51. White, G. C. (2010). *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*. (Black & Veatch, Eds.) *Process Safety and Environmental Protection* (Fifth Edit, Vol. 77). New York: WILEY & SONS.  
<http://doi.org/10.1002/9780470561331>

## **PÁGINAS WEBB CONSULTADAS**

1. <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/basic-information-about-your-drinking-water>.
2. <https://www.carbotecnia.info/desinfeccion-con-cloro/>
3. [http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/curso/uni\\_06/u6c4s3.htm](http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/curso/uni_06/u6c4s3.htm) (17/04/2017)
4. <http://www.hualix.com.pe>

**ANEXO 1:**

**PADRÓN COMUNAL DE USUARIOS DE LA COMUNIDAD DE  
CAPILLAPATA 2016**

PADRÓN COMUNAL CAPILLAPATA 2016

<b>N° Familia</b>	<b>NOMBRE Y APELLIDOS</b>	<b>N° Familia</b>	<b>NOMBRE Y APELLIDOS</b>
1	José Luis Fernández García	29	Alfredo Bellido Arango
2	Elisa Fernández García	30	Viviano Campos Hinostroza
3	Raúl Bellido Quicaño	31	Teodosia Tenorio Galindo
4	Walter Calderón Ramos	32	Dario Bellido Martínez
5	Alfredo Adolfo Tenorio Escalante	33	Miguel Berrocal De la Cruz
6	Melquiades Bellido Quicaño	34	Esteban Martínez Hinostroza
7	Cirila Bellido Tenorio	35	Victoriano Moreno Berrocal
8	Jhon René Escalante Quicaño	36	Prudencio Moreno Berrocal
9	Fredy Escalante Quicaño	37	Justina Moreno Berrocal
10	Roberto Garamendi Tenorio	38	Crecilio Solano Martínez
11	Nestor Moreno Berrocal	39	Leopoldo Quicaño Escalante
12	Eduardo Bellido Quicaño	40	Teresa Escalante Quicaño
13	Nivardo Quicaño Escalante	41	Alejandrina Quicaño Tenorio
14	Raúl Bellido Quicaño	42	Francisco Bellido Hinostroza
15	Karina Bellido Berrocal	43	Timoteo Bellido Arango
16	Alejandro Berrocal De la Cruz	44	Abraham Bellido Hinostroza
17	Ángel Berrocal De la Cruz	45	Modesto Quicaño Garamendi
18	Rolando Canchari Quicaño	46	Félix Bellido Hinostroza
19	Moisés Solano De la Cruz	47	Jaime Berrocal Escalante
20	Félix Tenorio Zúñiga	48	Vicente Quicaño Ramos
21	Serapio Tenorio Zúñiga	49	Dionisio Quicaño Moreno
22	Rubén Miguel Quicaño Tenorio	50	Marcelino Vega Quicaño
23	Rodolfo Bellido Quicaño	51	Leocadia Hinostroza Campos
24	Yolanda Marlene Tenorio Esclante	52	Abilio Bejar Roca
25	Jorge Bellido Quicaño	53	Zenaida Moreno Berrocal
26	Walter Quicaño Martínez	54	Julio Garamendi Quicaño
27	Valentín Fernández Galindo	55	Luis De la Cruz Vásquez
28	Bernardo Tenorio Galindo	56	CASA COMUNAL

**ANEXO 2:**

**REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO**

**HUMANO LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP)**

**D.S Nº 031- 2010 - SA/MINISTERIO DE SALUD.**

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD  
ORGANOLÉPTICA**

<b>Item</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
1.	Color	UCV <sup>8</sup> escala Pt/Co	15
2.	Turbiedad	UNT <sup>9</sup>	5
3.	Olor	----	Aceptable
4.	Sabor	----	Aceptable
5.	Iones hidronio (i)	Valor de pH	6,5 a 8,5
6.	Conductividad (25 <sup>0</sup> C)	umho/cm	1500
7.	Sulfato (ii)	mg/L como SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250
8.	Cloruro	mg/L Cl <sup>-</sup>	250
9.	Calcio (iii)	mg/L como Ca	30 – 150
10.	Magnesio	mg/L como Mg	30 -100
11.	Sodio	mg/L como Na	200
12.	Alcalinidad (iii)	mg/L como CaCO <sub>3</sub>	25
13.	Dureza total	mg/L como CaCO <sub>3</sub>	500
14.	Amoniaco	mg/L como N	1,5
15.	Sólidos Totales disueltos	mg/L	1000
16.	Aluminio (i)	mg/L como Al	0,2
17.	Hierro (i)	mg/L como Fe	0,3
18.	Manganeso (i)	mg/L como Mn	0,4
19.	Cobre (i)	mg/L como Cu	2,0
20.	Zinc (i)	mg/L como Zn	3,0

Fuente: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano del 24 de setiembre del 2010 con DS.N<sup>o</sup> 031 - 2010 - SA/Ministerio de Salud. Lima – Perú.

- (i) Parámetro no exceptuable.
- (ii) 30 mg/L o menos si el contenido de sulfato es inferior 400 mg/L. Para concentraciones de sulfato menor a 200 mg/L se acepta hasta 100 mg/L de magnesio.
- (iii) Valor mínimo para aguas con dureza menor a 100 mg/L como CaCO<sub>2</sub>.

<sup>8</sup> UCV = Unidad de Color Verdadero.

<sup>9</sup> UNT= Unidad Nefelométrica de Turbiedad

## PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

Item	Parámetro	Unidades de medida	Límite máximo permisible
1	Arsénico	mg/L como As	0,010
2.	Cadmio	mg/L como Cd	0,003
3.	Cloro (*)	mg/L	5
3.	Cianuro	mg/L como CN	0,070
4.	Cromo total	mg/L como Cr	0,050
5.	Mercurio	mg/L como Hg	0,001
6.	Plomo	mg/L como Pb	0,010
7.	Selenio	mg/L como Se	0,010
9.	Nitrato	mg/L como NO <sub>3</sub>	50,00
10.	Nitrito	mg/L como NO <sub>2</sub>	3,00
11.	Amonio	mg/L como N de NH <sub>4</sub>	0,4
12.	Bario	mg/L como Ba	0,700
13.	Flúor	mg/L como F	1,000

Fuente: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano del 24 de setiembre del 2010 con DS. N° 031- 2010 - SA/Ministerio de Salud. Lima – Perú.

\* Para una desinfección eficaz en las redes de distribución la concentración residual libre de cloro no debe ser menor de 0,5 mg/L

## LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Item	Parámetro	Unidades de medida	Límite Máximo Permissible
1.	Bacterias Coliformes totales	UFC/100 mL a 35 °C	0 (*)
2.	E.Coli	UFC/100 mL a 44,5 °C	0 (*)
3.	Bacterias Coliformes termotolerantes o Fecales	UFC/100 mL a 44,5 °C	0 (*)
4.	Bacterias heterotróficas	UFC/100 mL a 35 °C	500

Fuente: <http://www.sunass.com> - 2012

UFC = Unidad Formadora de Colonias

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

**ANEXO 3:**

**PLANO N° 02: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA RED DE  
DISTRIBUCIÓN CON LOS PUNTOS DE MUESTREO PARA LA  
INVESTIGACIÓN**





**ANEXO 4:**

**RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL MANANTIAL DE  
CAPTACIÓN (OJO DE AGUA) DE LA COMUNIDAD DE CAPILLAPATA  
EN EL LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y  
METALURGÍA**

## DATOS DE LA MUESTRA:

### LUGAR DE PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:

Comunidad de Capillapata del distrito de Los Morochucos; provincia Cangallo; departamento de Ayacucho.

FUENTE : Manantial (Ojo de agua) Huaynayacu

FECHA DE MUESTREO : 14 de enero del 2016

HORA DE MUESTREO : 7:00 a.m.

MUESTREADOR : Noemí Justina Tomaylla Berrocal

FECHA DE ANÁLISIS : Del 16 al 28 de enero del 2016

ANALISTA : Mg. Ing. Gloria Inés Barboza Palomino

TESISTA : Bach. Noemí Justina Tomaylla Berrocal

### LABORATORIO:

Laboratorio de Análisis Instrumental de la Escuela Profesional de Ingeniería Química - Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.

## RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

Parámetro analizado	Unidad	Resultado	Valores guía*
Turbidez (i)	UNT	0,57	< 5
pH	-	7,088	6,5 - 8,5
Conductividad	uS/cm	40	< 1500
Sólidos totales disueltos	mg/L	24	< 1000
Dureza total	mg/L como CaCO <sub>3</sub>	24	< 500
Cloruros	mg/L	5	< 250
Nitratos	mg/L como NO <sub>3</sub>	0.910	50
Salinidad (ii)	%	0.0	
Alcalinidad (iii)	mg/L como CaCO <sub>3</sub>	22	25
Olor	-	Aceptable	Aceptable
Sabor	-	Aceptable	Aceptable
Temperatura	°C	9	

Valores Guía: Normas Legales El Peruano del 19 de diciembre 2015 con DS. N° 015 - 2015 MINAM y su última modificatoria el 07 de junio del 2017 con D.S. N° 004 - 2017 MINAM. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ENCAA): \*Aguas de clase I, Agua de abastecimiento doméstico con desinfección simple.

- (i) Turbidez mediana debe ser menor que 1 UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad para que la desinfección sea eficaz (OMS, 2011)
- (ii) Para conductividades menores que 100 el porcentaje de salinidad es de 0,0 % y para conductividades menores que 100 hasta 300 el porcentaje de salinidad es de 0,1 % (Aurazo, 2004).
- (iii) Valor mínimo para aguas con dureza menor a 100 mg/L como CaCO<sub>3</sub> (OMS, 2011)

**ANEXO 5:**

**CAUDAL AFORADO PROMEDIO DEL MANANTIAL DE CAPTACIÓN  
(OJO DE AGUA), DEL MES DE ENERO AL MES DE DICIEMBRE 2016,  
EN LA COMUNIDAD DE CAPILLAPATA.**

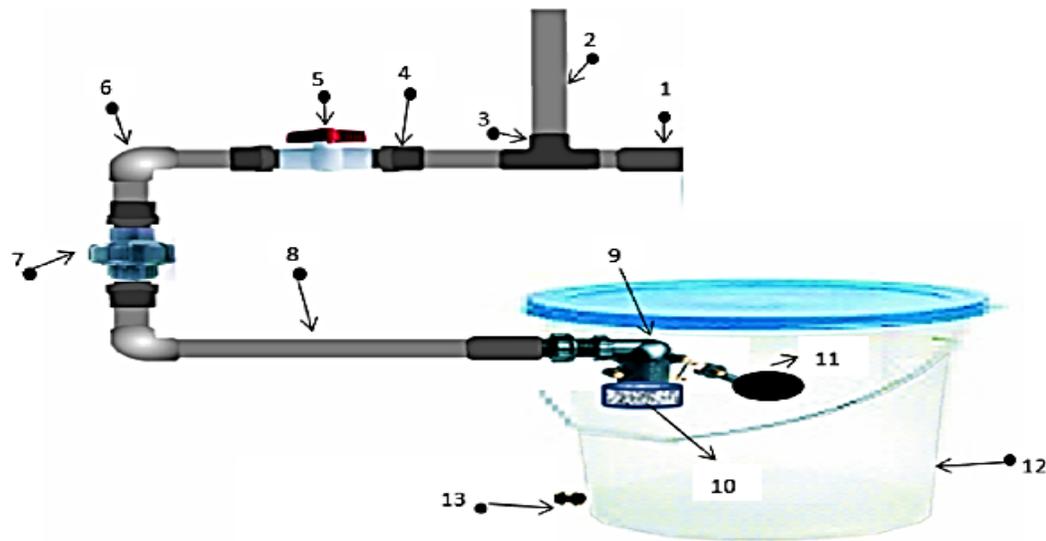
CAUDALES PROMEDIO POR MESES DE LA FUENTE DE CAPTACIÓN DE  
 HUAYNAYACU EN LA COMUNIDAD DE CAPILLAPATA 2016.

Temporada	Mes	Caudal promedio $Q_{prom}$ (L/s)
Temporada de lluvia	Enero	0,981
	Febrero	1,317
	Marzo	0,938
	Abril	0,901
Temporada de estiaje	Mayo	0,912
	Junio	0,884
	Julio	0,836
	Agosto	0,573
	Septiembre	0,697
	Octubre	0,751
	Noviembre	0,802
	Diciembre	0,823

Observación: La medición de los caudales se realizó con la participación de las autoridades de la comunidad de Capillapata.

**ANEXO 6:**

**PLANO N° 03 DISEÑO DEL TANQUE REGULADOR**

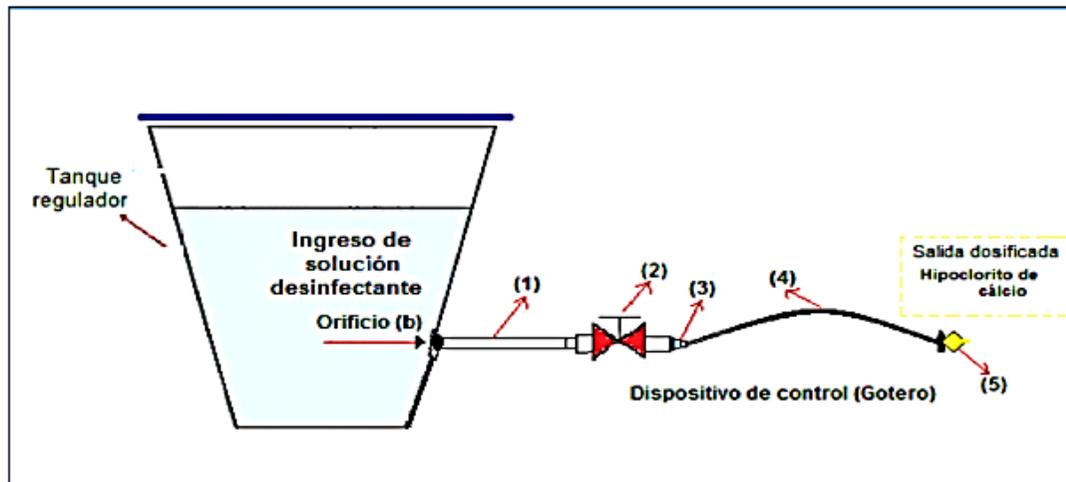


LEYENDA	
1	Multiconector
2	Tubo de ventilación
3	Te
4	Adaptador
5	Válvula bola
6	Codo
7	Unión Universal
8	Tubería
9	Válvula de llenado
10	Filtro de tela
11	Flotador
12	Tanque regulador
13	Punto de salida

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA			
TÍTULO DE LA TESIS: <b>"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEJO EN LA DESINFECCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO DE LA COMUNIDAD DE CAPILLAPATA - LOS MOROCHUCOS - CANGALLO, AYACUCHO - 2016"</b>					
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: AYACUCHO PROVINCIA: CANGALLO DISTRITO: LOS MOROCHUCOS		PLANO: <b>DISEÑO DEL TANQUE REGULADOR</b>		LÁMINA: <b>03</b>	
DIBUJO CAD: Bach. NOEMÍ JUSTINA TOMAYLLA BERROCAL		REVISIÓN: Ing. Cipriano Mendoza Rojas		ESCALA: S/E	
FECHA: DICIEMBRE 2017					

**ANEXO 7:**

**PLANO N° 04 DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE CONTROL(GOTERO)**

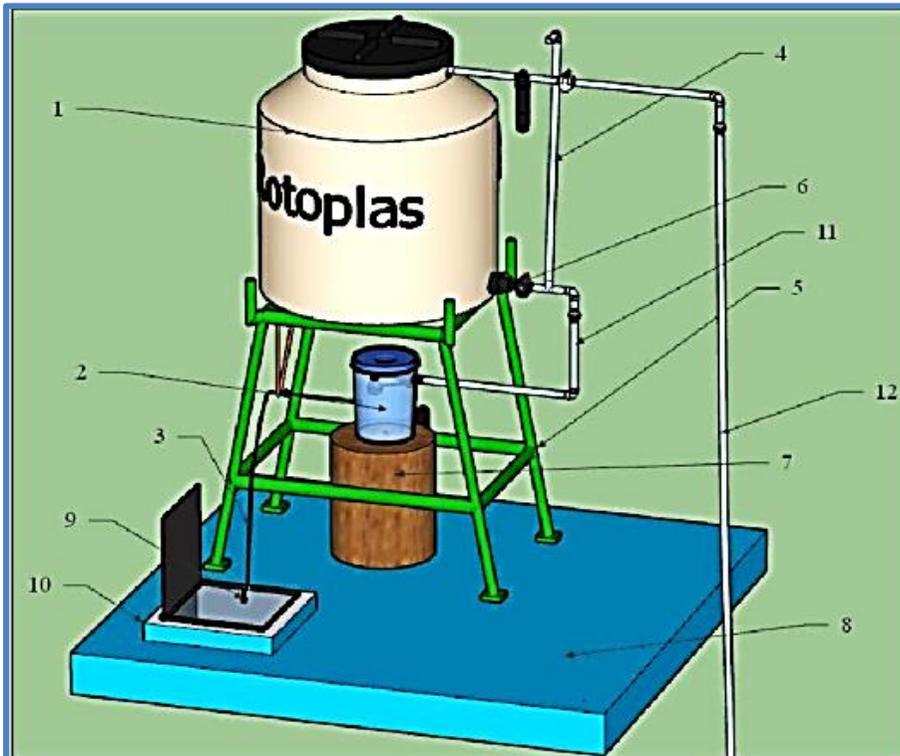


LEYENDA	
b	Tapón de goma
1	Tubería de polietileno 6mm
2	Válvula Mariposa
3	Acople bushing (diámetro de 6 mm)
4	2 metros de microtubo de polietileno de 4 mm
5	Gotero

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA			
TÍTULO DE LA TESIS: "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO EN LA DESINFECCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO DE LA COMUNIDAD DE CAPILLAPATA - LOS MOROCHUCOS - CANGALLO, AYACUCHO - 2016"					
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: AYACUCHO PROVINCIA: CANGALLO DISTRITO: LOS MOROCHUCOS		PLANO: <b>DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE CONTROL (GOTERO)</b>		LÁMINA: <b>04</b>	
DIBUJO CAD: Bach. NOEMÍ JUSTINA TOMAYLLA BERROCAL		REVISIÓN: Ing. Cipriano Mendoza Rojas		ESCALA: S/E	
				FECHA: DICIEMBRE 2017	

**ANEXO 8:**

**PLANO N° 05 DISEÑO DEL SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO**



LEYENDA	
1	Tanque de almacenamiento
2	Tanque regulador
3	Manguera de polietileno
4	Tubo de ventilación
5	Soporte del tanque de Almacenamiento
6	Multiconector
7	Soporte del tanque regulador
8	Techo del reservorio
9	Gotero
10	Entrada del reservorio
11	Tubería de ingreso de solución concentrada
12	Tubería de ingreso de agua

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> 		
<p>TÍTULO DE LA TESIS: "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEJO EN LA DESINFECCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO DE LA COMUNIDAD DE CAPILLAPATA - LOS MOROCHUCOS - CANGALLO, AYACUCHO - 2016"</p>		
<p>UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: AYACUCHO PROVINCIA: CANGALLO DISTRITO: LOS MOROCHUCOS</p>	<p>PLANO: <b>DISEÑO DEL SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEJO</b></p>	<p>LÁMINA: <b>05</b></p>
<p>DIBUJO CAD: Bach. NOEMÍ JUSTINA TOMAYLLA BERROCAL</p>	<p>REVISIÓN: Ing. Cipriano Mendoza Rojas</p>	<p>ESCALA: S/E</p> <p>FECHA: DICIEMBRE 2017</p>

**ANEXO 9:**

**ACTA DE ENTREGA DEL SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO EN  
LA COMUNIDAD DE CAPILLAPATA DEL DISTRITO DE LOS  
MOROCHUCOS 2016.**

### ACTA DE ENTREGA DEL SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO

En la localidad de Capillapata en la casa comunal, del distrito de Los morochucos, siendo las once horas del día Miércoles 18 del mes de Junio del año 2016, estando reunidos en el reservorio de 10m<sup>3</sup>, los miembros de la JASS: Sr. Presidente-Alfredo Quicño Bejar; Sr. Secretario-Sr. José Luis Fernández García; Sr. Fiscal-Sr. Leopoldo Quicño Escalante. El presidente de la comunidad Campesina de Capillapata el Sr. Fernandez Galindo, Valentín con DNI N° 28473824. Asi mismo la srta. Bachiller en ingeniería Química Noemí Justina Tomaylla Berrocal, en su condición de tesista acompañada por su señora madre comunera Felicitas Berrocal Butiérrez con DNI 28212706, en presencia de los comuneros beneficiarios del sistema de cloración por goteo; con el objeto de verificar la terminación y el cumplimiento del monitoreo de acuerdo a las normas de salud y los LMP para cloración; Entrega formalmente la tesista; Noemí Tomaylla Berrocal con DNI 46126759, el sistema de cloración por goteo con un funcionamiento óptimo a los miembros de la JASS Sr. Alfredo Quicño Bejar con DNI 45462636 presidente, y al Sr. Leopoldo Quicño Escalante con DNI 28466204 Fiscal, quienes reciben a satisfacción los trabajos consistentes en: El tanque con la solución madre (duración 30 días), soporte de acero, el balde y sus accesorios (goter comprometiendo en el mantenimiento, además del techado respectivo para garantizar su duración. Una vez inspeccionado el sistema, por los beneficiarios y habiendo verificado su funcionamiento, esta en condiciones de ser recibida.

Leída la presente por las partes y enteradas en su contenido, la ratifican y firman el mismo día a horas 3:00 pm, los miembros de la JASS y la tesista.



*Alfredo Quicño Bejar*  
Alfredo Quicño Bejar  
DNI 45462636  
PRESIDENTE

*Noemí J. Tomaylla Berrocal*

Bach. Noemí J. Tomaylla Berrocal  
ENTREGA POR LA TESISTA UNSCH

**ANEXO 10:**

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AGUA CLORADA  
DE LA COMUNIDAD DE CAPILLAPATA, REALIZADO EN EL  
LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD AYACUCHO  
(DIRESA).**



**Ministerio de Salud**  
Personas que atendemos personas



**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD AYACUCHO - DIRESA**  
**LABORATORIO DE CONTROL AMBIENTAL**



“Año de la Consolidación del Mar de Grau”

### RESULTADOS FISICO QUÍMICOS

PARÁMETRO ANALIZADO	UNIDAD	PUNTO DE MUESTREO		VALORES GUÍA*
		Captación	Última vivienda (Domicilio)	
pH	---	7,055	7,652	6,5-8,5
Temperatura	°C	9	12	---
Conductividad	uS/cm	36,8	48	<1500
Turbidez	UNT	0,41	1,04	< 5
Cloro Libre	mg/L	---	0.65	>=0,5
Sólidos totales disueltos	mg/L	21	22	<1000
Nitratos	mg/L como NO <sub>3</sub>	0,931	0,973	<50
Dureza total	mg/L como CaCO <sub>3</sub>	20	21	<500
Sulfatos	mg/L	0,089	0,095	<250
Cloruros	mg/L	4	6	<250
Salinidad	%	0.0	0.0	---
Alcalinidad	mg/L como CaCO <sub>3</sub>	20	18	<25
Aluminio	mg/L	0,002604	0,001929	<0,2
Hierro	mg/L	0,002717	0,002814	<0,3
Manganeso	mg/L	0,005368	0,004358	<0,4
Color	UCV escala Pt/Co	1	1	<15
Olor	---	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Sabor	---	Aceptable	Aceptable	Aceptable

\*Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano del 24 de setiembre del 2010 con DS.N°031- 2010 SA/Ministerio de Salud. Lima – Perú.  
UCV = Unidad de color verdadero  
UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

El presente se refiere únicamente a la muestra prototipo analizado. Válido exclusivamente para los requisitos señalados, para el programa de vigilancia de la calidad de agua para el consumo humano (PVICA). No se puede vincular implícita o explícitamente a otras características que no se indican para la muestra del producto objeto de análisis no pudiendo extenderse las conclusiones del informe a ninguna otra unidad. Resultados Válidos a la fecha de la toma de muestra

Ayacucho, 30 de Noviembre de 2016.

DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD AYACUCHO  
DIRECCIÓN DE SALUD AMBIENTAL  
LABORATORIO AMBIENTAL  
  
Edgar Lamocca Machuca  
INGENIERO QUÍMICO  
CIP 123201

## **ANEXO 11:**

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA  
CLORADA EN LA ÚLTIMA VIVIENDA Y LA CAPTACIÓN DE LA  
COMUNIDAD DE CAPILLAPATA, REALIZADO EN EL LABORATORIO  
DE LA DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD AYACUCHO (DIRESA).**



“Año de la Consolidación del Mar de Grau”

## INFORME DE ENSAYO 295- 2016

### RESULTADOS POR LA VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA

Solicitante	Centro de Salud Pampa Cangallo		
Origen de la fuente	Agua de Manantial		
Localidad-Comunidad	Capillapata	Resp.Muestreo	Noemí Tomaylla Berrocal
Distrito	Los Morochucos	Fecha de Muestreo	10/11/2016
Provincia	Cangallo	Fecha de recepción	10/11/2016
Departamento	Ayacucho	Duración de Análisis	Desde 11 hasta el 30 de noviembre del 2016

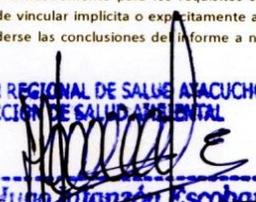
### RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Nº Muestra	Punto de Muestreo	NMP/100 mL Termotolerantes	NMP/100 mL Coliformes Totales
01	Captación	<1,8	02

Nº Muestra	Punto de Muestreo	UFC/100 mL Termotolerantes	UFC/100 mL Coliformes Totales
02	Última vivienda(Domicilio)	0	0

Método de ensayo	Método estandarizado de filtro de membrana para coliformes – 9222 B.D. Método de detección < 2
Documento de la Referencia	Método Normalizado para el Análisis de Agua Potable y residuales APHA, AWW, WPCF 20 Edition.

El presente se refiere únicamente a la muestra prototipo analizado. Válido exclusivamente para los requisitos señalados, para el programa de vigilancia de la calidad de agua para el consumo humano (PVICA). No se puede vincular implícita o explícitamente a otras características que no se indican para la muestra del producto objeto de análisis no pudiendo extenderse las conclusiones de informe a ninguna otra unidad. Resultados Válidos a la fecha de la toma de muestra

DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD AYACUCHO  
 DIRECCIÓN DE SALUD AMBIENTAL  
  
 Hugo González Escobar  
 BIÓLOGO  
 C.B.P. Nº 3622

**ANEXO 12:**

**MANUAL DE MONITOREO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

## MANUAL DE MONITOREO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los miembros de la JASS fueron capacitados, en lo que respecta a la instalación, monitoreo de cloro residual, operación y mantenimiento.

- ✓ La operación se inicia al aforar el caudal de agua cruda que ingresa al reservorio.
- ✓ Multiplicando el caudal de ingreso de agua cruda al reservorio o tanque de distribución por 4, se determina el peso del hipoclorito de calcio al 70% sólido comercial, para una duración de 31 días con el tanque de 750 L de solución concentrada lleno hasta su nivel máximo. Preparar la solución en un recipiente pequeño, mezclar hasta su disolución completa, dejar reposar una noche y luego vaciar al tanque. Tener el tanque de almacenamiento con agua limpia antes de agregar la solución concentrada, después de adicionar la solución llenar el tanque con agua hasta su capacidad máxima.
- ✓ Transcurrido 30 minutos se procede a tomar la muestra a la salida del reservorio y medir el cloro residual.
- ✓ En el mantenimiento inicial se debe verificar que el dispositivo de control disponga de una carga constante y dosifique un caudal uniforme.
- ✓ En caso de observar deficiencias en el funcionamiento del sistema (fugas, roturas de tuberías entre otros) para reducir los riesgos de contaminación y pérdida de cloro, realizar el mantenimiento correctivo. La limpieza del tanque de almacenamiento, tanque regulador y el dispositivo de control debe ser mensual.
- ✓ Aforar mensualmente el caudal de ingreso para efectuar los ajustes respectivos.
- ✓ Para el monitoreo es necesario llevar el registro de datos del cloro residual, como se muestra a continuación en el formato proporcionado por la Dirección Regional de Salud Ayacucho (DIRESA).

**CONTROL DE CALIDAD DE AGUA DE CONSUMO DE LA JASS DE LA COMUNIDAD DE CAPILLAPATA**

**CUADERNO DE MONITOREO DE CLORO LIBRE RESIDUAL**

Comunidad: CAPILLAPATA Población total de diseño: 254 habitantes N° Total de Viviendas: 56  
 Distrito: LOS MOROCHUCOS N° de Conexiones: 56  
 Provincia: CANGALLO Tipo de sistema de cloración : Goteo empleando gotero Jain Emitter

N°	Fecha	SISTEMA FUNCIONANDO		CLORO RESIDUAL POR PUNTO DE MUESTRA			Dirección	Continuidad h/día	Firma DNI. Del Usuario	
		SI	NO	1 SALIDA DEL RESERVORIO	2 VIVIENDA INTERMEDIA	3 ULTIMA CONEXIÓN.				
1	01/09/2016	X		1,90 mg/L	0,98 mg/l	0,95 mg/l	1. Leopoldo Quicaño escalante	Comunidad de Capillapata	24 horas	28466136
							2. Darío Bellido Martínez	Comunidad de Capillapata	24 horas	28460535
							3. Victoriano Moreno Berrocal	Comunidad de Capillapata	24 horas	28466294
2	02/09/2016	X		1,89 mg/L	0,96 mg/L	0,94 mg/L	1. Leopoldo Quicaño	Comunidad de Capillapata	24 horas	28461698
							2. Francisco Garamendi	Comunidad de Capillapata	24 horas	28466351
							3. Moreno Berrocal Nestor	Comunidad de Capillapata	24 horas	43912961
3	03/09/2016	X		1,59 mg/L	0,95 mg/L	0,93 mg/L	1. Roberto Garamendi Tenorio	Comunidad de Capillapata	24 horas	10484076
							2. Francisco Bellido Hinostroza	Comunidad de Capillapata	24 horas	28460097
							3. Tobihás Escalante Quicaño	Comunidad de Capillapata	24 horas	46707154
4	04/09/2016	X		1,19 mg/L	0,95 mg/L	0,93 mg/L	1. Moisés Solano De la Cruz	Comunidad de Capillapata	24 horas	43534819
							2. Marcelino Vega Quicaño	Comunidad de Capillapata	24 horas	28458160
							3. Juan Carlos Baquorrea Vega	Comunidad de Capillapata	24 horas	70224466
5	05/09/2016	X		1,16 mg/L	0,93 mg/L	0,90 mg/L	1. Tomasa Quicaño Huallanca	Comunidad de Capillapata	24 horas	28457750
							2. Justiniano Escalante Gomez	Comunidad de Capillapata	24 horas	28466268
							3. Wilfredo De La Cruz Cuadros	Comunidad de Capillapata	24 horas	40784468

**OBSERVACIONES DE ACONTECIMIENTOS QUE AFECTEN LA SEGURIDAD DEL SISTEMA:**


 COMUNIDAD CAMPESINA DE CAPILLAPATA  
*Valentín Ferrnandez Galindo*  
 Valentín Ferrnandez Galindo  
 PRESIDENTE

**Nombre y firma del Responsable del monitoreo (JASS)**

  
 Resp. ATM - de la Municipalidad

  
 RESPONSABLE DE SALUD AMBIENTAL DIRESA

**Responsable de Salud Ambiental DIRESA**

**ANEXO 13:**

**REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y  
EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO EN LA  
DESINFECCIÓN DE AGUA, MATERIALES Y EQUIPOS EMPLEADOS EN  
LA INVESTIGACIÓN**



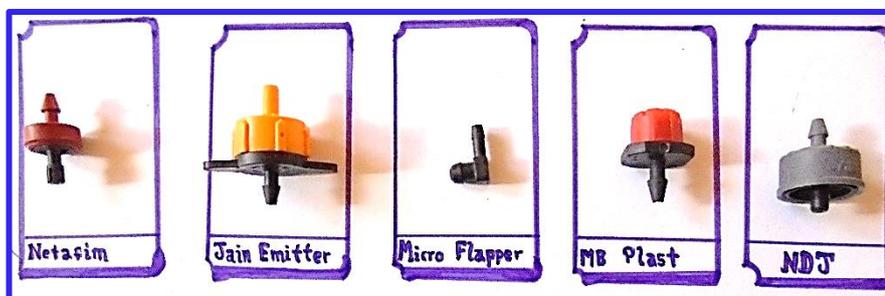
Fotografía 01. Disposición de materiales para el diseño y construcción en el taller de la UNSCH.



Fotografía 02. Instalación del sistema de cloración por goteo.



Fotografía 03. Estado anterior del sistema de cloración por difusión y el estado actual del sistema de cloración por goteo.



Fotografía 04. Goteros empleados en la investigación.



Fotografía 05. Monitoreo de cloro residual a la salida del reservorio.



Fotografía 06. Entrega del sistema de cloración por goteo a los miembros de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS) de la comunidad de Capillapata distrito de Los Morochucos 2016.



Fotografía 07. Taller de sensibilización sobre la importancia de la cloración, la operación y mantenimiento sistema de cloración por goteo a todos los beneficiarios de la comunidad de Capillapata distrito de Los Morochucos 2016.

**ANEXO 14:**

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO-ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE  
TUKEY**

## **Análisis de varianza del caudal de goteo (L/h) del sistema de cloración con tipos de gotero y niveles de carga de agua (cm)**

En la operación del gotero Jain Emitter, en el sistema de cloración por goteo, se tienen las variables de calidad del agua: temperatura (°C), pH y cloro residual (mg/L) estas son variables dependientes; mientras que la fecha de muestreo (tiempo en días) y el lugar de muestreo son las variables independientes, por lo que mediante el análisis de varianza se analizan las hipótesis de igualdad de promedios de cada variable dependiente indicadas en las fuentes de variación y que a continuación se detallan:

### **Temperatura**

★ Análisis de varianza de la temperatura del agua con el tiempo y lugar de muestreo

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>de Cuadrados medios</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Tiempo	29	57,770	1,992	8,370	<,0001
Lugar	2	0,636	0,318	1,340	0,271
Error	58	13,800	0,238		
Total	89	72,206			

Promedio de temperatura = 11,063

CV (%) = 4,409

En la tabla se observa que los promedios de la temperatura se diferencian con alta significación estadística en la fuente de variación tiempo [(Pr > F) < 0,0001]; mientras que los promedios no se diferencian significativamente en la fuente de variación lugar [(Pr > F) = 0,271]. El promedio general de la temperatura fue de 11,063 °C, el coeficiente de variación (CV) fue de 4,409 %.

★ Prueba de Tukey de promedio de la temperatura del agua en tres lugares de muestreo

<b>Lugar</b>	<b>Promedio</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Tukey 0.05</b>
Última conexión	11,138	9.410	12.890	A
Vivienda intermedia	11,106	9.450	12.680	A
Salida del reservorio	10,946	8.240	12.670	A

DSM = 0,303

Los promedios, mínimo y máximo de temperaturas en los tres lugares de muestreo se observan en la tabla, siendo la diferencia significativa mínima (DSM) = 0,303 °C, los promedios no se diferencian significativamente.

## pH

★ Análisis de varianza del pH del agua con el tiempo y lugar de muestreo

Fuente	GL	Suma de cuadrados	de Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Tiempo	29	1.215	0.042	2.640	0.0008
Lugar	2	0.046	0.023	1.440	0.2452
Error	58	0.921	0.016		
Total	89	2.182			

Promedio de pH = 7,117

CV (%) = 1,171

En la tabla, se observa que los promedios del pH se diferencian con alta significación estadística en la fuente de variación tiempo [(Pr > F) < 0.0001]; mientras que los promedios no se diferencian significativamente en la fuente de variación lugar [(Pr > F) = 0,2452]. El promedio general del pH fue de 7,117, el coeficiente de variación (CV) fue de 1,171 %.

★ Prueba de Tukey de promedios del pH del agua en tres lugares de muestreo

Lugar	Promedio	Mínimo	Máximo	Tukey 0.05
Última conexión	7.14023	6.890	7.470	a
Salida del reservorio	7.12367	6.660	7.480	a
Vivienda intermedia	7.08633	6.890	7.420	a

DSM = 0,078

Los promedios, mínimo y máximo del pH en los tres lugares de muestreo se observan en la tabla, siendo la diferencia significativa mínima (DSM) = 0,078 los promedios no se diferencian significativamente, por lo que todos tienen la misma letra. Para cumplir con los estándares, es necesario dar respuesta a la cuestión ¿el pH del agua se encuentra entre 6,5 y 8,5?, por lo que probando la hipótesis nula:  $\mu \leq 6,5$  y la hipótesis nula:  $\mu \geq 8,5$ , u observando los límites de confianza se podrá dar respuesta.

★ Prueba de t para la hipótesis nula:  $\mu \leq 6,5$  del pH del agua en tres lugares de muestreo

Lugar	GL	Promedio	T	Límite de confianza inferior	Límite de confianza superior	Pr > t
Última conexión	29	7.140	24.572	7.094	7.186	<.0001
Salida del reservorio	29	7.124	18.692	7.078	7.170	<.0001
Vivienda intermedia	29	7.086	22.594	7.040	7.132	<.0001

Mediante la prueba de t para la hipótesis nula:  $\mu \leq 6.5$  del pH del agua en tres lugares de muestreo de la tabla, se rechaza dicha hipótesis [(Pr > t) < 0.0001], por lo que se tienen evidencias que el pH del agua es mayor a 6,5.

★ Prueba de t para la hipótesis nula:  $\mu \geq 8.5$  del pH del agua en tres lugares de muestreo

Lugar	GL	Promedio	T	Límite de confianza inferior	Límite de confianza superior	Pr > t
Última conexión	29	7.140	-52.570	7.094	7.186	<.0001
Salida del reservorio	29	7.124	-41.264	7.078	7.170	<.0001
Vivienda intermedia	29	7.086	-54.475	7.040	7.132	<.0001

Mediante la prueba de t para la hipótesis nula:  $\mu \geq 8,5$  del pH del agua en tres lugares de muestreo de la tabla, se rechaza dicha hipótesis [(Pr > F) < 0.0001], por lo que se tienen evidencias que el pH del agua es menor a 8,5.

Considerando los resultados de las pruebas de hipótesis de las tablas, se tiene que el agua cumple con el estándar del pH para la calidad del agua. Este resultado también se puede corroborar observando los límites de confianza en los tres lugares, dichos límites están contenidos en el rango de 6,5 a 8,5.

### Cloro residual

★ Análisis de varianza del cloro residual del agua con el tiempo y lugar de muestreo

Fuente	GL	Suma de cuadrados	de Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Tiempo	29	3.963	0.137	7.110	<.0001
Lugar	2	0.547	0.273	14.230	<.0001
Error	58	1.114	0.019		
Total	89	5.624			

Promedio = 0,781

CV (%) = 17,753

En la tabla, se observa que los promedios del cloro residual se diferencian con alta significación estadística en las fuentes de variación tiempo y lugar [(Pr > F) < 0,0001]. El promedio general del cloro residual fue de 0,781 mg/L, el coeficiente de variación (CV) fue de 17,753 %.

**\* Prueba de Tukey de promedios del cloro residual del agua en tres lugares de muestreo**

Lugar	Promedio	Mínimo	Máximo	Tukey 0.05
Salida del reservorio	0.890	0.570	1.900	a
Vivienda intermedia	0.738	0.530	0.980	b
Última conexión	0.714	0.510	0.950	b

DSM = 0,086

Los promedios, mínimo y máximo del cloro residual en los tres lugares de muestreo se observan en la tabla, siendo la diferencia significativa mínima (DSM) = 0,086 los promedios se diferencian significativamente, por lo que el promedio a la salida del reservorio tiene una letra a y los otros promedios tienen la letra b, el mayor promedio corresponde a la salida del reservorio (0,890 mg/L) y los promedios en la vivienda intermedia y última conexión con 0,738 mg/L no se diferencian entre ellos.

Para cumplir con los estándares, es necesario dar respuesta a la cuestión ¿el cloro residual del agua es mayor a 0,5 mg/L?, por lo que probando la hipótesis nula:  $\mu \leq 0,5$ , u observando los límites de confianza se podrá dar respuesta.

**\* Prueba de t para la hipótesis nula:  $\mu \leq 0,5$  del cloro residual del agua en tres lugares de muestreo**

Lugar	GL	Promedio	T	Límite de confianza inferior	Límite de confianza superior	Pr > t
Salida del reservorio	29	0.890	6.008	0.839	0.941	<.0001
Vivienda intermedia	29	0.738	8.363	0.687	0.789	<.0001
Última conexión	29	0.714	7.513	0.663	0.765	<.0001

Mediante la prueba de t para la hipótesis nula:  $\mu \leq 0,5$  del cloro residual del agua en tres lugares de muestreo de la tabla, se rechaza dicha hipótesis [(Pr > t) < 0.0001], por lo que se tienen evidencias que el cloro residual del agua es mayor a 0,5 mg/L. Considerando este resultado se tiene que el agua cumple con el estándar de cloro residual para la calidad del agua. Este resultado también se puede corroborar observando los límites de confianza en los tres lugares, dichos límites son mayores a 0,5 mg/L.



**Ministerio de Salud**  
Personas que atendemos personas



**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD AYACUCHO - DIRESA**  
**LABORATORIO DE CONTROL AMBIENTAL**



"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

## CONSTANCIA

LOS RESPONSABLES DEL LABORATORIO AMBIENTAL DE LA DIRECCIÓN DE SALUD AMBIENTAL - DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD AYACUCHO, HACE CONSTAR QUE:

La Bach. NOEMÍ JUSTINA TOMAYLLA BERROCAL, a utilizado los equipos de la DIRESA como son: el colorímetro digital HACH para medir el cloro residual, el turbidímetro digital, el termómetro y el Pehachímetro digital debidamente calibrados desde el 01 hasta el 30 de setiembre 2016. Así mismo efectuó el análisis físico, químico y microbiológico de agua de la comunidad de Capillapata, en el laboratorio de Control Ambiental de la Dirección Regional de Salud Ayacucho, con participación del Ingeniero Químico Edgar Llamocca Machuca y el Biólogo Hugo Infanzón Escobar, el mes de Noviembre 2016, como parte del desarrollo de su tesis: **Diseño, construcción y evaluación de un sistema de cloración por goteo en la desinfección de agua para consumo de la Comunidad de Los Morochucos - Cangallo, Ayacucho - 2016.**

Durante su labor la señorita, NOEMÍ JUSTINA TOMAYLLA BERROCAL, ha mostrado eficiencia y responsabilidad.

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 30 de Noviembre de 2016.

DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD AYACUCHO  
DIRECCIÓN DE SALUD AMBIENTAL  
LABORATORIO AMBIENTAL  
  
Edgar Llamocca Machuca  
INGENIERO QUÍMICO  
CIP 123201

DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD AYACUCHO  
DIRECCIÓN DE SALUD AMBIENTAL  
  
Hugo Infanzón Escobar  
BIOLOGO  
CBP N° 3622



## COMUNIDAD CAMPESINA DE CAPILLAPATA

CREADO POR RESOLUCION DIRECTORAL REGIONAL  
N° 541-2013-GRA/DRAA/OAJ-D  
DISTRITO DE LOS MOROCHUCOS - PROVINCIA DE CANGALLO  
DEPARTAMENTO DE AYACUCHO

" Año de la consolidación del Mar de Grau "

EL PRESIDENTE Y LAS AUTORIDADES DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE CAPILLAPATA (RECONOCIDO EN LOS REGISTROS PÚBLICOS CON LA PARTIDA N°11107541, BAJO EL CONVENIO DEL ARTÍCULO 169 DE LA OIT); OTORGAMOS.

### CREDENCIAL

A la señorita Noemí Justina TOMAYLLA BERROCAL identificada con DNI: 46126759, como comunera notable y activa en nuestra comunidad, con domicilio en el barrio Berrocalpa Urqun; por lo que, presentamos ante las instancias a quien corresponda, a la bachiller egresada de la escuela de formación profesional de ingeniería química - UNSCH, a efectos de que pueda realizar los trámites que crea conveniente en su condición de comunera. Asimismo nos comprometemos apoyar y respaldar las labores que efectuará en bien de nuestra comunidad, de igual modo la joven bachiller se compromete a trabajar por la comunidad en el ejercicio de su profesión.

Se expide la presente credencial para su reconocimiento como tal.

Capillapata , 29 de enero del 2016

COMUNIDAD CAMPESINA DE CAPILLAPATA  
PRESIDENTE  
Valentín Fernández Galindo  
DNI 28473824  
PRESIDENTE

ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO  
CAPILLAPATA  
PRESIDENTE  
Alfredo Quiroz Rojas  
45462636

ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO  
CAPILLAPATA  
SECRETARIO  
42885256

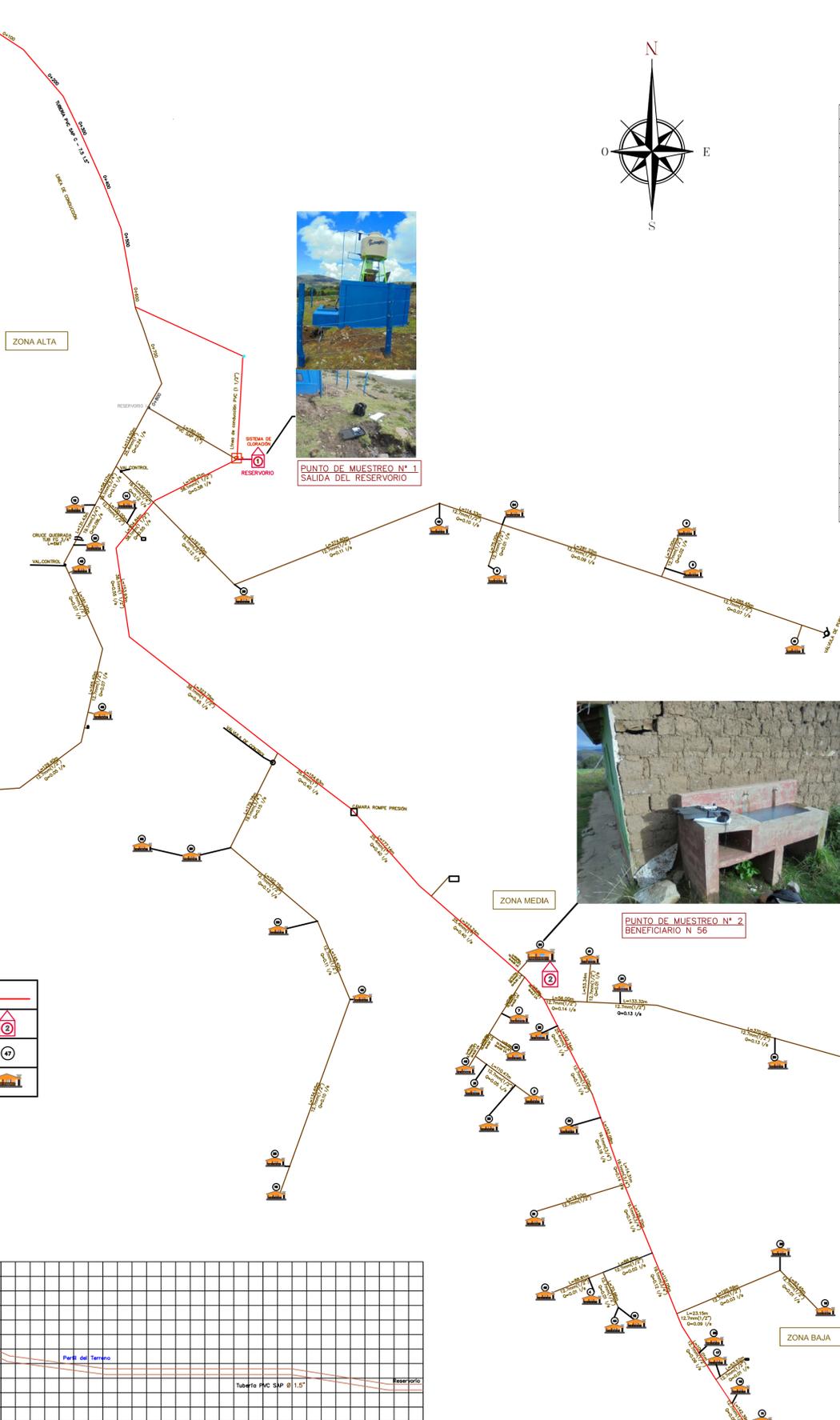
ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO  
CAPILLAPATA  
FISCAL  
28465294



RELACION DE BENEFICIARIOS

N°	NOMBRE Y APELLIDOS	LONG.CONEX	N°	NOMBRE Y APELLIDO	LONG.CONEX
1	José Luis Fernández García	2.00 m	29	Alfredo Bellido Arango	2.00 m
2	Elisa Fernández García	2.00 m	30	Viviano Campos Hinostrza	2.00 m
3	Raúl Bellido Quicaño	2.00 m	31	Teodosia Tenorio Galindo	2.00 m
4	Walter Calderón Ramos	2.00 m	32	Dario Bellido Martínez	2.00 m
5	Alfredo Adolfo Tenorio Escalante	2.00 m	33	Miguel Berrocal De la Cruz	2.00 m
6	Melquiades Bellido Quicaño	2.00 m	34	Esteban Martínez Hinostrza	2.00 m
7	Cirila Bellido Tenorio	2.00 m	35	Victoriano Moreno Berrocal	2.00 m
8	Jhon René Escalante Quicaño	2.00 m	36	Prudencio Moreno Berrocal	2.00 m
9	Fredy Escalante Quicaño	2.00 m	37	Justina Moreno Berrocal	2.00 m
10	Roberto Garamendi Tenorio	2.00 m	38	Crecilio Solano Martínez	2.00 m
11	Nestor Moreno Berrocal	2.00 m	39	Leopoldo Quicaño Escalante	2.00 m
12	Eduardo Bellido Quicaño	2.00 m	40	Teresa Escalante Quicaño	2.00 m
13	Nivardo Quicaño Escalante	2.00 m	41	Alejandrina Quicaño Tenorio	2.00 m
14	Raúl Bellido Quicaño	2.00 m	42	Francisco Bellido Hinostrza	2.00 m
15	Karina Bellido Berrocal	2.00 m	43	Timoteo Bellido Arango	2.00 m
16	Alejandro Berrocal De la Cruz	2.00 m	44	Abraham Bellido Hinostrza	2.00 m
17	Ángel Berrocal De la Cruz	2.00 m	45	Modesto Quicaño Garamendi	2.00 m
18	Rolando Canchari Quicaño	2.00 m	46	Félix Bellido Hinostrza	2.00 m
19	Moisés Solano De la Cruz	2.00 m	47	<b>Jaime Berrocal Escalante</b>	<b>2.00 m</b>
20	Félix Tenorio Zúñiga	2.00 m	48	Vicente Quicaño Ramos	2.00 m
21	Serapio Tenorio Zúñiga	2.00 m	49	Dionisio Quicaño Moreno	2.00 m
22	Rubén Miguel Quicaño Tenorio	2.00 m	50	Marcelino Vega Quicaño	2.00 m
23	Rodolfo Bellido Quicaño	2.00 m	51	Leocadia Hinostrza Campos	2.00 m
24	Yolanda Marlene Tenorio Escalante	2.00 m	52	Abilio Bejar Roca	2.00 m
25	Jorge Bellido Quicaño	2.00 m	53	Zenaida Moreno Berrocal	2.00 m
26	Walter Quicaño Martínez	2.00 m	54	Julio Garamendi Quicaño	2.00 m
27	Valentín Fernández Galindo	2.00 m	55	Luis De la Cruz Vásquez	2.00 m
28	Bernardo Tenorio Galindo	2.00 m	56	<b>CASA COMUNAL</b>	<b>2.00 m</b>

LONGITUD TOTAL PARA CONEXIONES CON TUBERIA PVC SAP C-10 Ø 1 1/2" - 175 : 00 ML



PUNTO DE MUESTREO N° 1 SALIDA DEL RESERVOIRIO

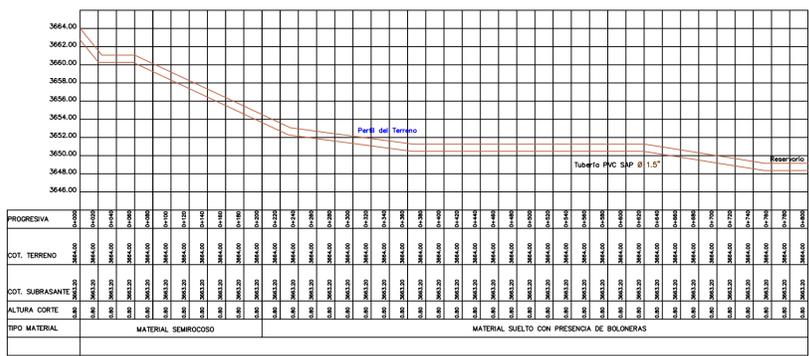


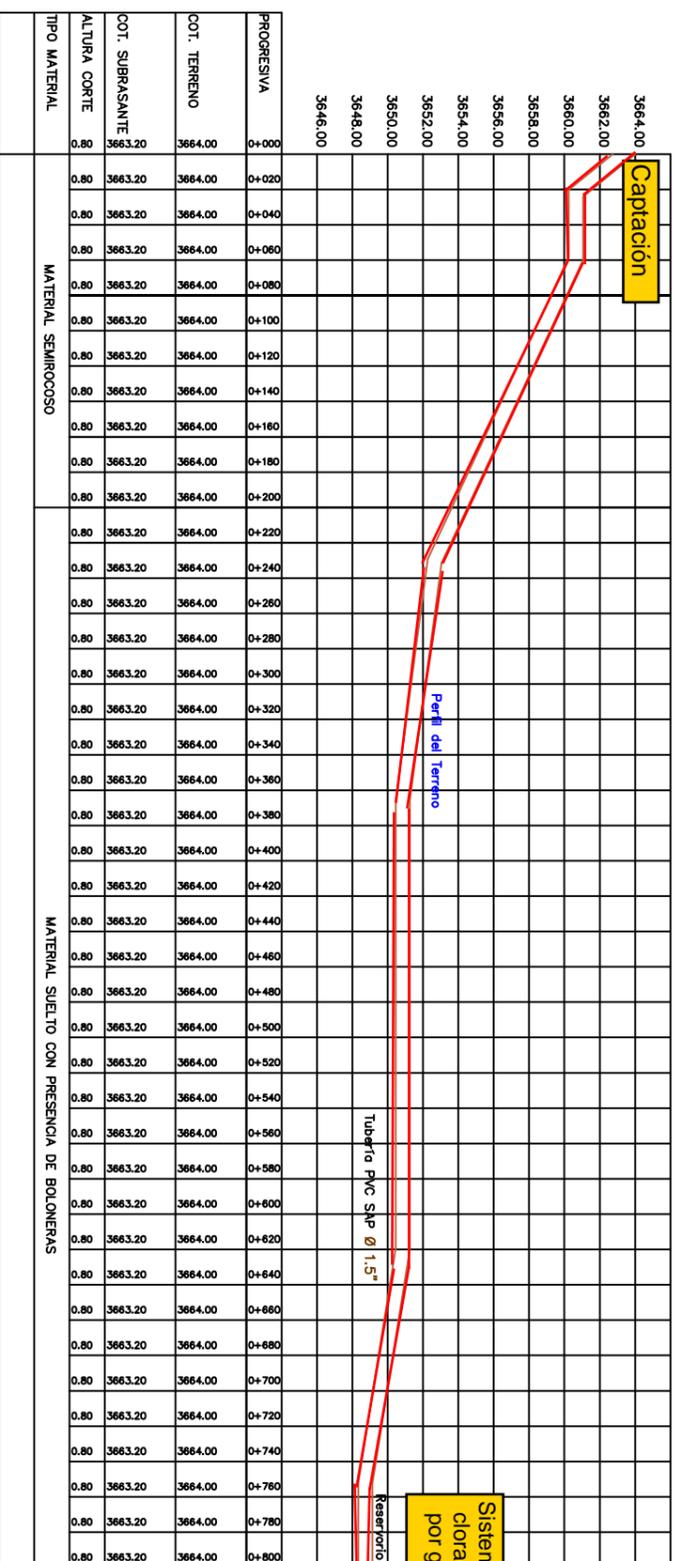
ESPECIFICACIONES DE LA TUBERIA PVC

- Tuberia PVC NTP 399.002 Ø - variable (siglo)
- Sistema de empuje Espiga Campana o Simple presión.
- Deflexión máxima tolerable 5% del diámetro nominal NTP 399.002
- Considerar las siguientes pruebas: hidráulica, de nivelación, de alineamiento, de deflexión de acuerdo a las normas NTP 399.002

LEYENDA

LÍNEA DE MUESTREO	
PUNTO DE MUESTREO	
NÚMERO DE VIVIENDAS	
VIVIENDA	





**SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO**  
**PERFIL DE CONDUCCIÓN POR GRAVEDAD**

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b>				 <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>					
<b>TÍTULO DE LA TESIS:</b> "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CLORACIÓN POR GOTEO EN LA DESINFECCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO DE LA COMUNIDAD DE CAPILLAPATA - LOS MOROCHUCOS - CANGALLO, AYACUCHO - 2016"									
<b>UBICACIÓN:</b> DEPARTAMENTO : AYACUCHO PROVINCIA : CANGALLO DISTRITO : LOS MOROCHUCOS				<b>PLANO:</b> <b>PERFIL LONGITUDINAL DE CONDUCCIÓN POR GRAVEDAD</b>				<b>LAMINA N.º:</b> <b>02-A</b>	
<b>DIBUJO CAD:</b> Bach. NOEMI JUSTINA TOMAYLLA BERROCAL		<b>REVISIÓN:</b> Ing. Cipriano Mendoza Rojas		<b>ESCALA:</b> 1/5000		<b>FECHA:</b> DICIEMBRE 2017			