

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

El agua localizada en las zonas saturadas debajo de la superficie del suelo es conocida como agua subterránea y ha jugado un papel de suma importancia desde hace mucho tiempo como sostén del crecimiento poblacional y las actividades económicas de la humanidad. Este recurso acuífero es muy particular en relación a otros, ya que a diferencia de los ríos, lagos y lagunas, las fuentes subterráneas de agua se han percibido como inagotables y exentas de contaminación, creándose así la tendencia a desestimar su manejo y protección (Martínez, 2009).

En la actualidad el uso indiscriminado de este recurso acuífero ha causado una degradación del mismo, debido a la carencia de un conocimiento claro de las distintas variables geológicas, físicas y químicas presentes en las zonas explotadas. Según Brooks (2003) “el agua subterránea es generalmente de mayor calidad que el agua superficial”. Normalmente los usuarios de las fuentes de agua subterránea ignoran aquellos contaminantes que pudiesen existir dentro de una zona de recarga o pozo determinado (Martínez, 2009).

El agua es el solvente universal. Esta misma característica la hace un canal de transporte y contención para un gran número de enfermedades incluyendo las gastrointestinales como la amebiasis, disentería bacilar (Shigelosis), el cólera y las enfermedades diarreicas como la producida por la bacteria *Escherichia Coli*. Además, a través del proceso de infiltración y percolación, ciertos químicos naturales y artificiales pueden contaminar severamente las fuentes de agua poniendo en riesgo la salud de las comunidades que de ella se abastecen (Martínez, 2009).

Las investigaciones del agua subterránea en la cuenca del Valle Central de Tarija empezaron en el año 1979 con el proyecto “Investigación de los recursos de Aguas Subterráneas en el Área de Tarija” Este proyecto perforó 28 pozos de exploración en diferentes partes de la cuenca. Estos pozos atravesaron solamente el acuífero multicapa que se encuentra en el material fluvio-lacustre no consolidado, no

investigando los materiales consolidados del basamento (MMAyA, 2012).

Este acuífero multicapa tiene la predominancia de materiales finos (arcillas y limos), existiendo variaciones faciales de tipo areno gravoso. Estas variaciones son muy comunes en las cuencas intramontañas que caracterizan la deposición de materiales en la mayoría de las cuencas del país (MMAyA, 2012).

La ubicación y profundidad de estas variaciones faciales dependen de la ubicación de las quebradas que aportaron el material para formarlas. Por esta razón la profundidad y el espesor de estos lentes de mayor granulometría son totalmente aleatorios.

El agua que se infiltra en el subsuelo aprovecha estos materiales areno gravosos para circular por ellos, constituyendo los acuíferos multicapa que son explotados en la mayoría de los pozos existentes CODETAR y algunas empresas privadas perforaron pozos para uso doméstico y de riego para lagunas poblaciones, estas captaciones explotaron el acuífero multicapa de los sedimentos fluviolacustres (MMAyA, 2012).

Posteriormente las Prefectura del departamento de Tarija mediante la Unidad de Saneamiento Básico y Vivienda, primero con la cooperación China y posteriormente con la cooperación del gobierno japonés mediante JICA perforaron pozos a mayores profundidades y atravesaron el basamento de roca consolidado encontrando en algunas perforaciones buenos resultados.

Estas perforaciones llegaron hasta el basamento (bedrock) de la cuenca y diseñando la ubicación de los filtros en estos materiales consolidados.

Este tipo de captaciones empieza la explotación de un nuevo tipo de acuífero que tiene características diferentes al acuífero multicapa explotado con anterioridad.

El acuífero explotado en rocas consolidada aprovecha dos características que presentan este tipo de formaciones, las cuales son:

- Permeabilidad primaria propia de rocas consolidadas, típica de rocas tipo arenisca cuarzosas y areniscas, este tipo de permeabilidad es el mismo que se presenta en las formaciones productoras de hidrocarburos.

- Permeabilidad secundaria que se presenta en formaciones de rocas duras que tiene planos de fracturas, estos planos son aprovechados por el agua para la circulación por los mismos.

### **1.1.1. Recarga y Descarga de los Acuíferos Subterráneos**

#### **1.1.1.1. Recarga**

La zona de recarga se encuentra en los bordes del relleno cuaternario donde la granulometría de los sedimentos es más gruesa y por lo tanto el terreno es favorable para la infiltración de aguas superficiales que son recolectadas por las subcuencas de las serranías circundantes.

Esta acumulación de sedimentos gruesos conforma la acumulación de varios conos aluviales en las diferentes quebradas que bajan hacia el centro de la cuenca.

Los conos aluviales de mejor desarrollo y de mayor extensión se encuentran a los pies de las subcuencas Tolomosa, San Andrés donde se pueden apreciar la forma muy común de abanicos también en la subcuenca del Guadalquivir ubicadas a la altura de trancas y Tomatas Grande se encuentran estos abanicos.(MMAyA, 2012).

#### **1.1.1.2. Descarga**

Por las características de los acuíferos (predominancia de sedimentos finos limo arcillosos), no se encuentran demasiados puntos donde el acuífero descargue, sin embargo al sur de la ciudad se localizan algunos puntos donde la descarga se produce naturalmente por algunos ojos de agua.

Sin embargo, las descargas de los acuíferos subterráneos se realiza de manera artificial por las perforaciones realizadas en los distintos puntos de la ciudad de Tarija (pozos de abastecimiento) en la que mediante este tipo de descargas se distribuye el agua a la población.

Las perforaciones realizadas en las cercanías de San Luís o San Blas son en su mayoría pozos surgentes que son una forma artificial de descarga de los acuíferos existentes en la cuenca. Caso excepcional es el pozo ubicado en la zona de San Blas

(finca PETROSUR) donde la presión del agua alcanza los 17 Psi. que corresponde a una columna de agua de 12 metros por encima la superficie (MMAyA, 2012).

### **1.1.2. Aprovechamiento de Aguas Subterráneas**

El aprovechamiento del agua subterránea que se tiene en la cuenca de Tarija en su mayor porcentaje está a cargo de COSAALT, la empresa de abastecimiento de agua de Tarija opera en la actualidad 47 pozos distribuidos por la ciudad de Tarija. Los datos del aprovechamiento del agua subterránea proporcionados por COSAALT pueden observarse en el anexo A-9(MMAyA, 2012).

De los datos proporcionados por COSAALT en el 2014 de estos pozos se aprovechan un total de 6.536.611 m<sup>3</sup>/año.

Los pozos privados ya sea para riego o para consumo doméstico pueden estimarse solo en un 10 % de lo aprovechado por COSAALT, ya que estos pozos no trabajan las 24 horas, ni trabajan todos los días del año.

Haciendo este ejercicio obtendremos que el aprovechamiento del agua subterránea en la cuenca del río Guadalquivir pudiera estimarse en 7.500.000 a 8.000.000 m<sup>3</sup>/año(MMAyA, 2012).

Sin embargo, algunas instituciones nacionales y departamentales ejecutan proyectos de dotación de agua sin considerar las sostenibilidad de los recursos hídricos subterráneos a futuro. Los municipios y comunidades desconocen qué zonas deberán proteger a fin de preservar la disponibilidad y pureza de sus recursos hídricos subterráneos a corto, mediano y largo plazo.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

Implementar una metodología que garantice la potabilidad y la calidad del agua subterránea distribuida a través de los pozos a los barrios periurbanos de la ciudad de Tarija.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las características fisicoquímicas, bacteriológicas y organolépticas del agua subterránea, en los pozos de los barrios periurbanos de la ciudad de Tarija.
- Identificar las posibles fuentes de contaminación para el agua subterránea en puntos de almacenamiento y distribución en los barrios periurbanos de la ciudad de Tarija.
- Categorizar los cuerpos de agua basada en su aptitud de uso en el marco de la ley 1333.
- Seleccionar la alternativa más adecuada para garantizar la potabilidad del agua subterránea a ser distribuida.
- Determinar la demanda de cloro en el agua de pozo de los barrios periurbanos.
- Predecir la decadencia del cloro aplicando un modelo matemático
- Determinar la constante de reacción del cloro con el volumen de agua.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El departamento de Tarija, posee fuentes de agua subterránea que son aprovechadas por la población. Debido al crecimiento poblacional acelerado en la actualidad, existe una presión mayor sobre los recursos de agua, resultando insuficientes los proveídos por la empresa departamental COSSALT; en este sentido, se recurre al agua del subsuelo. De acuerdo el Instituto Nacional de Estadística (2014) la población en el departamento de Tarija ha aumentado en poco más de 90000 habitantes entre los años 2001 y 2012, de modo que llegó en este último año a un poco más de quinientos mil habitantes. Los problemas incrementan a medida que este incremento poblacional conlleva a la sobreexplotación de los recursos hídricos subterráneos y paralelamente aumenta la cantidad de contaminantes que son producto de las actividades humanas e industriales.

**Tabla 1.3-1**  
**Población por Censo 1950 - 1976 -1992 - 2001- 2012**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>1950</b>	<b>1976</b>	<b>1992</b>	<b>2001</b>	<b>2012</b>
<b>TARIJA</b>	103441	187204	291407	391226	508757
Hombres	51008	94088	144632	195305	252751
Mujeres	52433	93116	146775	195921	256006

Fuente: INE

Desde la perspectiva social es igualmente viable ya que los productos a generarse son necesarios para el bienestar, presente y futuro, de las poblaciones en todo el Departamento de Tarija. La utilización adecuada de los productos permitirá a las poblaciones tener acceso a agua de buena calidad en el presente y a futuro.

Por otro lado, a medida que la población va creciendo se espera encontrar fuentes alternativas de agua, por lo que es de suma importancia conocer los cambios que se presentan en el consumo del agua subterránea del departamento de Tarija. Se hace necesario conocer, cuál es el grado de extracción actual, principales usos y usuarios del recurso así como el impacto ambiental que se genera por las actividades antrópicas de las personas que se encuentran alrededor de los acuíferos.

Junto con estas tendencias, es importante resaltar que muy poco se conoce sobre las

características del agua del subsuelo tarijeño. Desafortunadamente, casi no existen datos sistemáticos en el departamento de Tarija del volumen potencial de los principales acuíferos ni de la presión que existe sobre ellos. Este desconocimiento impide informar a las personas, que consumen el agua, sobre la calidad de estos recursos, por lo que a veces estas fuentes de agua pueden ser el medio de transmisión de enfermedades que afectan severamente la salud de la población en general.

Esta información debe complementarse con un análisis de la calidad de agua que incluya las concentraciones de los elementos pudiendo ser de origen vegetal o mineral que se encuentran disueltos en el agua, además de parámetros organolépticos y bacteriológicos en estas fuentes de agua para consumo humano que son utilizados principalmente por los barrios periurbanos y que plantean un riesgo a la salud de los consumidores. Además de implementarse sistemas de tratamiento de acuerdo a la tecnología existente en el medio para así poder garantizar la calidad de agua para consumo humano.

Se espera que la información presentada cree un camino a seguir para futuros estudios de calidad de agua subterránea en la zona y que el conocimiento generado pueda ser utilizado por las autoridades de salud y aquellas personas que se ven directa e indirectamente afectadas por las condiciones del agua en los pozos.

Finalmente, y no menos importante, es saber que con la investigación realizada en los tres barrios se pretende garantizar la potabilidad y la calidad del agua subterránea a ser distribuida en la población que se abastece de la misma.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Introducción**

El agua es un elemento escaso y vulnerable, esencial para la vida y el progreso social. Probablemente es el único recurso natural que compromete la vida humana en todos sus aspectos. En consecuencia, la supervivencia de la humanidad depende en gran medida del uso prudente, armónico, eficiente y sustentable de los recursos hídricos del planeta.

La escasez de agua dulce a nivel mundial es un problema de dramática prioridad: el agua dulce representa un porcentaje limitadísimo del agua total del planeta, aproximadamente un 3%, del cual menos del 1% es accesible. El 97% restante es agua salada, no apropiada para la mayor parte de las actividades humanas. En la actualidad, cerca del 40% de la población mundial vive en zonas con escasez de agua.

Del total de la aguas del planeta:

- 97,6 % son aguas saladas de los océanos
- 1,9 % hielos polares
- 0,5 % agua subterránea
- 0,0009 % agua dulce de los lagos, ríos y arroyos.

El agua debe ser utilizada para promover las metas económicas y sociales de desarrollo de un país pero de tal manera que no comprometa la sustentabilidad de ecosistemas vitales ni perjudique la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades de agua.

El agua es un elemento trascendental para el desarrollo sostenible. El agua es un ingrediente primordial para facilitar la subsistencia rural, el cultivo de alimentos, la producción de energía, y para promover el crecimiento de los sectores industriales y de servicios y asegurar la integridad de los ecosistemas y los bienes y servicios que estos proporcionan.

El agua también nos plantea sus propios retos de desarrollo—inundaciones, sequías y enfermedades relacionadas con el agua pueden tener un gran impacto en las comunidades y, de hecho, en las economías nacionales. (Tratamiento de aguas subterráneas, 2010)

## **2.2. Dinámica del Agua Subterránea**

Casi toda el agua subterránea existente en la tierra tiene origen en el ciclo hidrológico, que es el sistema por el cual el agua circula desde océanos y mares hacia la atmósfera y de allí hacia los continentes, donde retorna superficial o subterráneamente a los mares y océanos. Los factores que influyen en los procesos del ciclo hidrológico son fundamentalmente los factores climáticos, como la temperatura del aire, intensidad de los vientos, la humedad relativa del aire y la insolación y el tipo y densidad de la cobertura vegetal (Cantera, 2014).

Una porción del agua que cae en el suelo a través de la precipitación se infiltra y luego se percola. Estos procesos llevan a la saturación del suelo cuando en este existe la estructura necesaria para almacenar agua. Así, este proceso provee el agua subterránea de recarga que alimentara a ciertas estructuras de naturaleza geológica que contienen agua, conocidas como acuíferos. La superficie superior de la zona saturada es llamada capa freática o nivel freático (USGS, 2009). Por otro lado, se define el agua subterránea como el agua almacenada en el subsuelo en grietas de roca y en los poros de materiales geológicos que conforman la corteza de la Tierra.

En el suelo suceden un gran número de procesos que permiten muchos de los ciclos importantes para el funcionamiento de los ecosistemas; entre estos se encuentran la infiltración, que es la capacidad de un material para permitir el paso de un líquido, como el agua, a través de las rocas (USGS, 2009). Esta capacidad se ve afectada por el tipo de suelo presente en una zona específica, por ejemplo la arcilla ralentizará el paso del agua, mientras la arena facilitará que el agua se mueva a través del suelo.

Otro proceso importante es el movimiento que tiene el agua por las distintas aberturas que se presentan en el suelo o algunas rocas, este proceso se conoce como percolación. “Se asume que la percolación tiene lugar si el contenido de humedad del suelo del horizonte superior excede su capacidad de campo. La tasa de percolación de la capa superior del suelo se considera que incrementa como una función del contenido del agua en el suelo de acuerdo a una ley de poder determinada” (Liu, 2005).

Un pozo es una perforación o excavación que se realiza en el suelo y cuyo objetivo es la extracción de agua del nivel freático. Existen varios tipos de pozos siendo los más comunes los escavados o hechos a mano, estos son normalmente poco profundos y más baratos a diferencia de los perforados que son hechos por maquinaria y profesionales especializados (Brooks, 2013).

### **2.3. Agua Subterránea en Bolivia**

Históricamente ante la gran demanda de agua en el país desde 1970 se priorizó la captación de agua subterránea mediante la perforación de pozos principalmente para consumo humano doméstico (Alcócer, 2010).

Las Gobernaciones departamentales, los Municipios, ONGs, Fundaciones y Empresas privadas han perforado, construido e implementado una gran cantidad de pozos para el aprovechamiento del agua subterránea desde el año 1970 (Alcócer, 2010).

Actualmente se desconoce de la cantidad y ubicación de zonas de recarga para su protección y los lugares que se deben proteger para garantizar agua no contaminada y de buena calidad en el futuro.

Existen registros de ONGs y Cooperaciones Internacionales que donaron equipos de perforación manual a comunidades para lograr que mayor cantidad de gente tenga acceso al agua (Alcócer, 2010).

Sin embargo, se desconoce cuántos acuíferos subterráneos hay (nacionales y transfronterizos), su extensión, potencial, reservas de agua subterránea, cuantas entidades que perforan pozos existen ya sean estatales, privadas y/u ONGs, el número de pozos que existen, su profundidad, los niveles de acuíferos que interceptan, su calidad de agua, el caudal de agua que aportan, etc. (Alcócer, 2010)

A la fecha no existe legislación ni normativa respecto de las aguas subterráneas. El Ministerio de Medio Ambiente y Agua carece de información técnica que le permita tomar decisiones en cuanto a la legislación y normatividad para el uso sostenible de los recursos hídricos del país.

Actualmente existe una inclinación muy marcada del aprovechamiento del agua subterránea para satisfacer requerimientos domésticos, agropecuarios e industriales.

Entidades estatales y privadas fomentan la explotación aislada del agua subterránea como alternativa fácil y rápida de fuente de agua lo que trae problemas cuando el agua es para uso doméstico ya que se desconoce de la calidad del agua pudiendo esto provocar enfermedades diarreicas (Alcócer, 2010).

#### **2.4. Calidad de Agua**

El agua potable es aquella que cumple con un conjunto de normas establecidas por instituciones nacionales e internacionales y que se considera no ocasiona daños a la salud del consumidor.

La calidad de agua se define como un concepto complejo que implica un juicio subjetivo que es función del uso y que además incluye una relación de parámetros físicos, químicos y biológicos que define su composición, grado de alteración, y la utilidad del cuerpo hídrico (SEMARENA, 2001).

Para conocer la calidad se evalúan un gran número de parámetros que permiten analizar la condición en que se encuentra una fuente de agua en particular, en este estudio se incluyeron los más importantes entre ellos el pH, este parámetro es una medida de la acidez o basicidad de una sustancia (EPA, 2007).

El pH posee un ámbito de 0 a 14 donde 7 es el valor considerado como neutral. Cuando el valor del pH es menor de 7 es ácido, mientras que si el mismo valor esta sobre este pH es básico. El valor recomendado del pH en el agua de acuerdo a la Norma boliviana NB 512 es 6.5 a 9.

Otro parámetro analizado es la conductividad. Según(EPA, 2006) la conductividad se define como la medida de la habilidad del agua de conducir una corriente eléctrica, varios factores influyen en los datos finales cuando se mide este parámetro, por ejemplo, los compuestos orgánicos tendrán poco efecto, mientras que los aniones de fosfatos y el nitrato (compuestos inorgánicos) tendrán un efecto fuerte sobre el resultado. Además de lo anterior, una descarga de fosfatos o nitratos, al igual que alguna falla en un pozo séptico pueden aumentar la conductividad del agua subterránea. Para la conductividad el valor recomendado por la Norma boliviana NB 512 (2005) es 1500 $\mu$ s/cm.

Para evaluar la calidad de agua se debe tomar en cuenta la turbidez, la misma es una

característica física que causa la interrupción de la luz por las partículas presentes, normalmente materia suspendida o impurezas que interfieren con la claridad del agua. Las aguas negras y la escorrentía son conocidas como fuentes típicas de turbidez. La Norma boliviana NB 512 establece como valor recomendado para la turbidez 1 UNT y para el valor máximo admisible 5 UNT (EPA, 2007).

El análisis de nutrientes juega un papel muy importante en la calidad de agua, especialmente los nitratos y nitritos. Existen diversas fuentes de nitratos, incluyendo la fijación por plantas y bacterias, las aguas residuales y la incorporación de materia orgánica al suelo para fines de fertilización, siendo los residuos de esta última actividad transportados normalmente por la escorrentía a las aguas cercanas. De acuerdo con (Brooks, 2013) las fuentes de nitrógeno incluyen la fijación de gas por ciertas bacterias y plantas, además de la incorporación de materia orgánica a fuentes de agua y pequeñas cantidades que provienen del desgaste de las rocas. El nitrógeno orgánico se convierte en amonio, el cual eventualmente se oxida convirtiéndose en  $\text{NO}_3\text{-N}$ , una forma disponible para las plantas. En ausencia de oxígeno, el proceso de desnitrificación puede volver a convertir el nitrato en amonio y gas de nitrógeno.

Los nitratos están normalmente asociados a zonas de ganadería intensiva, fertilización elevada o problemas relacionados al manejo inadecuado de las aguas de residuales. Según la Organización mundial de la salud (OMS, 2007) la presencia de este químico puede ocasionar metahemoglobinemia, conocida como enfermedad del bebé azul, si las concentraciones de nitratos sobrepasan los 50 mg/l. “El nitrógeno también puede conducir a la metahemoglobinemia en infantes y más recientemente ha creado alarma acerca de linfoma de no-Hodgkin”(David Mark B, 2000). Cuando el nitrito está presente junto con el nitrato el riesgo es aún mayor, debido a que este es un precursor más potente de dicha enfermedad. La Norma boliviana NB 512 (2005) recomienda para el nitrato ( $\text{NO}_3$ ) 45 mg/L como valor máximo admisible, en el caso del nitrito ( $\text{NO}_2$ ) el valor máximo admisible es de 0.1 mg/l.

Así como con los nitratos y nitritos conocer sobre posibles concentraciones de fósforo en el agua es esencial. El fósforo es un compuesto necesario para el desarrollo de la agricultura tal y como se conoce en la actualidad. Este elemento es utilizado

principalmente en los fertilizantes agrícolas y también se encuentra de forma natural en los ecosistemas y otras veces como contaminante.

La urbanización y la agricultura son fuentes importantes de fósforo para los acuíferos. Según la ESA (1998) entre los años de 1950 y 1995, cerca de 600 millones de toneladas de fertilizantes compuestos por fósforo fueron aplicados sobre la superficie de toda la tierra, esto principalmente sobre tierras cultivadas. El fósforo se está acumulando en los suelos agrícolas del mundo. La Norma boliviana NB 512 recomienda un valor máximo permisible de 1 mg/l para las concentraciones de fósforo.

El nitrógeno amoniacal es también una sustancia química que aunque no afecta de forma directa la salud de las personas, puede comprometer la eficacia del cloro para desinfectar en el agua. Según la Organización mundial de la salud (OMS, 2007) cuando el amoníaco está presente en el agua significa que la misma está contaminada con aguas residuales o desechos de zonas ganaderas. El amoniaco puede presentarse naturalmente en el agua subterránea con sedimentos orgánicos, o en cuerpos de agua superficiales lentos o estancados que contienen materia orgánica y son mal ventilados. De acuerdo a Ersoy *et al.* (2006) las sales de amoníaco, los nitratos y ortofosfatos se originan en zonas agrícolas y residenciales cultivadas. En el caso del amonio, la Norma boliviana NB 512 establece como valor máximo admisible 0.5 mg/l.

Así también las bacterias representan la causa de varias enfermedades gastrointestinales en los seres humanos. La Organización mundial de la salud (OMS, 2007) menciona que diversas enfermedades causadas por estos microorganismos son transmitidas dentro de los miembros de una misma especie; sin embargo, existen bacterias que pueden pasar esta frontera biológica, por ejemplo, a través de las heces de los animales. Entre estas bacterias una de las más conocidas es *Escherichia Coli*. Esta particularidad le brinda una alta movilidad, impactando la salud de los seres humanos expuestos al agua contaminada con estiércol.

De acuerdo a la Norma boliviana NB 512 (2005) el abastecimiento con agua entubada tiene un valor máximo admisible de 0 UFC/100 ml para coliformes totales. Por otro

lado, ambos valores deben ser 0 UFC/100 ml para los coliformes fecales. Las aguas subterráneas que no se encuentran conectadas a un sistema de distribución se encuentran por ley dentro de esta categoría.

#### **2.4.1. Parámetros de Calidad del Agua**

La ley que regula los parámetros de calidad del agua es la ley 1333 del Medio ambiente “Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica”. La institución encargada de los parámetros de calidad del agua en Bolivia es el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA), mediante la Norma Boliviana NB 512, la cual establece los valores máximos aceptables de los diferentes parámetros, que especifican la calidad del agua destinada al consumo humano.

**Tabla 2.4.1-1**  
**Parámetros de Calidad del Agua**

<b>Parámetros</b>	<b>Parámetros Ley 1333-RMCH Max. Permitido</b>	<b>Parámetros NB-512 Max. Permitido</b>
Temperatura Ambiente	Sin Referencia	Sin Referencia
Temperatura del Agua	+/- 3°C de receptor	Sin Referencia
Aspecto	Sin Referencia	Sin Referencia
Olor	Sin Referencia	Ninguno
Sabor	Sin Referencia	Ninguno
pH ( , °C)	6.0 - 8.5	6.5-9.0
Conductividad ( , °C )	S/R	1500
Turbiedad	<10	5
Color Aparente	<10	15
Cloruros	250c. Cl	250
Alcalinidad Total	Sin Referencia	370
Dureza Total	Sin Referencia	500.0 mg/l CaCO <sub>3</sub>
Dureza de Calcio	Sin Referencia	Sin Referencia
Dureza de Magnesio	Sin Referencia	Sin Referencia
Sólidos Disueltos Totales	1000	1000
Manganeso	0.5c. Mn	0.1
Hierro Total	0.3c. Fe	0.3
Nitratos	20.0c. NO <sub>3</sub>	45
Nitritos	<1.0c. N	0.1
Sulfatos	300c SO <sub>4</sub>	400
Cromo Total (Hexavalente)	0.05c. Cr Total	0.05
Fósforo Reactivo	0.15	Sin Referencia
Nitrógeno Amoniacal	Sin Referencia	0.5
Amoniaco	0.05c. NH <sub>3</sub>	0.5
Coliformes Totales	0	0
Escherichia Coli	0	0

**Fuente:** Elaboración propia

**Nota:** Los datos fueron extraídos del le ley 1333 del medio ambiente y la norma boliviana NB-512.

#### **2.4.1.1. Potencial de Hidrogeno-pH**

Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua. Se debe prestar mucha atención al control del pH en todas las fases del tratamiento del agua para garantizar que su clarificación y desinfección sean satisfactorias. Para que la desinfección con cloro sea eficaz, es preferible que el pH sea menor que 8; no obstante, el agua con un pH más bajo será probablemente corrosiva. El pH del agua que entra en el sistema de distribución debe controlarse para reducir al mínimo la corrosión del sistema de fontanería en las instalaciones domésticas.

El control de la alcalinidad y del contenido de calcio también contribuye a la estabilidad del agua y a controlar su capacidad corrosiva de tuberías y electrodomésticos. (OMS, 2006)

#### **2.4.1.2. Color**

Idóneamente, el agua de consumo no debe tener ningún color apreciable. Generalmente, el color en el agua de consumo se debe a la presencia de materia orgánica coloreada (principalmente ácidos húmicos y fúlvicos) asociada al humus del suelo. Asimismo, la presencia de hierro y otros metales, bien como impurezas naturales o como resultado de la corrosión, también tiene una gran influencia en el color del agua. También puede proceder de la contaminación de la fuente de agua con vertidos industriales y puede ser el primer indicio de una situación peligrosa. Si el agua de un sistema de abastecimiento tiene color, se debe investigar su origen, sobre todo si se ha producido un cambio sustancial.

La mayoría de las personas puede percibir niveles de color mayores que 15 unidades de color verdadero (UCV) en un vaso de agua. Los consumidores suelen considerar aceptable niveles de color menores que 15 TCU, pero la aceptabilidad puede variar. Un nivel de color alto también puede indicar una gran propensión a la generación de subproductos en los procesos de desinfección. No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el color en el agua de

consumo (OMS, 2006).

#### **2.4.1.3. Sabor, olor y aspecto**

El sabor y el olor del agua pueden tener su origen en contaminantes químicos naturales, orgánicos e inorgánicos, y fuentes o procesos biológicos (por ejemplo, microorganismos acuáticos), o en la contaminación debida a sustancias químicas sintéticas, o pueden ser resultado de la corrosión o del tratamiento del agua (por ejemplo, la cloración). También pueden desarrollarse durante el almacenamiento y la distribución sabores y olores debidos a la actividad microbiana.

Los sabores u olores del agua de consumo puede revelar la existencia de algún tipo de contaminación, o el funcionamiento deficiente de algún proceso durante el tratamiento o la distribución del agua. Por lo tanto, puede indicar la presencia de sustancias potencialmente dañinas. Se debe investigar la causa y consultar a las autoridades de salud pertinentes, sobre todo si el cambio experimentado es substancial o repentino. Los consumidores también pueden percibir en el agua de consumo turbiedad, color, partículas u organismos visibles, lo que afecta a su aceptabilidad y puede generar preocupación por su calidad (OMS, 2006).

#### **2.4.1.4. Turbiedad**

La turbidez en el agua de consumo está causada por la presencia de partículas de materia, que pueden proceder del agua de origen, como consecuencia de un filtrado inadecuado, o debido a la resuspensión de sedimentos en el sistema de distribución. También puede deberse a la presencia de partículas de materia inorgánica en algunas aguas subterráneas o al desprendimiento de biopelículas en el sistema de distribución. El aspecto del agua con una turbidez menor que 5 UNT suele ser aceptable para los consumidores, aunque esto puede variar en función de las circunstancias locales.

Las partículas pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y pueden estimular la proliferación de bacterias. Siempre que se someta al agua a un tratamiento de desinfección, su turbidez debe ser baja, para que el tratamiento sea eficaz. Además, la turbidez también es un parámetro operativo

importante en el control de los procesos de tratamiento, y puede indicar la existencia de problemas, sobre todo en la coagulación y sedimentación y en la filtración.

No se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la turbidez; idóneamente, sin embargo, la turbidez mediana debe ser menor que 0,1 UNT para que la desinfección sea eficaz, y los cambios en la turbidez son un parámetro importante de control de los procesos (OMS, 2006).

#### **2.4.1.5. Conductividad**

La conductividad es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones disueltos, sus concentraciones absolutas y relativas, su movilidad y su valencia y de la temperatura y la viscosidad de la solución. Este parámetro sirve para estimar el contenido total de constituyentes iónicos. La medición física practicada en una determinación en el laboratorio suele ser de resistencia medida en ohmios. En el Sistema Internacional de Unidades el recíproco del ohmio es el siemens (S) y la conductividad se expresa en mS/m, siendo la correspondencia  $1\text{mS/m}=10\text{ mhos/cm}$  (OMS, 2006).

#### **2.4.1.6. Temperatura**

El agua fría tiene, por lo general, un sabor más agradable que el agua tibia, y la temperatura repercutirá en la aceptabilidad de algunos otros componentes inorgánicos y contaminantes químicos que pueden afectar al sabor. La temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión (OMS, 2006).

#### **2.4.1.7. Alcalinidad**

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y es la suma de todas las bases titulables. Por lo general se debe fundamentalmente a su contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos aunque otras sales o bases también contribuyen a la alcalinidad. Su valor puede variar significativamente con el pH del punto final. La muestra se valora con una solución de ácido mineral fuerte hasta pH 8.3 y 4-5.

Estos puntos finales determinados visualmente mediante indicadores adecuados, son los puntos de equivalencia seleccionados para la determinación de los tres componentes fundamentales. Con el indicador de fenolftaleína, el pH 8.3 está próximo al punto de equivalencia para las concentraciones de carbonato y dióxido de carbono y representa la valoración de todo el hidróxido y la mitad del carbonato, mientras que el pH inferior (4-5) está próximo al punto de equivalencia para el ión hidrógeno y el bicarbonato y permite determinar la alcalinidad total.

#### **2.4.1.8.Durezas**

La dureza del agua, derivada de la presencia de calcio y magnesio, generalmente se pone de manifiesto por la precipitación de restos de jabón y la necesidad de utilizar más jabón para conseguir la limpieza deseada. La aceptabilidad por la población del grado de dureza del agua puede variar en gran medida de una comunidad a otra, en función de las condiciones locales. Los consumidores, en particular, notarán probablemente los cambios de la dureza del agua.

El valor del umbral gustativo del ión calcio se encuentra entre 100 y 300 mg/l, dependiendo del anión asociado, mientras que el del magnesio es probablemente menor que el del calcio. En algunos casos, los consumidores toleran una dureza del agua mayor que 500 mg/l.

El agua con una dureza mayor que aproximadamente 200 mg/l, en función de la interacción de otros factores, como el pH y la alcalinidad, puede provocar la formación de incrustaciones en las instalaciones de tratamiento, el sistema de distribución, y las tuberías y depósitos de los edificios. Otra consecuencia será el consumo excesivo de jabón y la consiguiente formación de restos insolubles de jabón. Las aguas duras, al calentarlas, forman precipitados de carbonato cálcico. Por otra parte, las aguas blandas, con una dureza menor que 100 mg/l, pueden tener una capacidad de amortiguación del pH baja y ser, por tanto, más corrosivas para las tuberías.

No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la

dureza del agua de consumo (OMS, 2006).

#### **2.4.1.9. Cloruros**

Las altas concentraciones de cloruro confieren un sabor salado al agua y las bebidas. Hay diversos umbrales gustativos para el anión cloruro en función del catión asociado: los correspondientes al cloruro sódico, potásico y cálcico están en el intervalo de 200 a 300 mg/l. A concentraciones superiores a 250 mg/l es cada vez más probable que los consumidores detecten el sabor del cloruro, pero algunos consumidores pueden acostumbrarse al sabor que produce en concentraciones bajas. No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el cloruro en el agua de consumo (OMS, 2006).

#### **2.4.1.10. Sólidos Disueltos Totales**

La potabilidad del agua con una concentración de SDT menor que 600 mg/l suele considerarse buena, pero a concentraciones mayores que aproximadamente 1000 mg/l la palatabilidad del agua de consumo disminuye significativa y progresivamente. Los consumidores también pueden considerar inaceptable la presencia de concentraciones altas de SDT debido a que genera excesivas incrustaciones en tuberías, calentadores, calderas y electrodomésticos. No se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para los SDT (OMS, 2006).

#### **2.4.1.11. Nitratos**

Los nitratos son medidos por ultravioleta a una longitud de onda de 220 nm, pero a esta misma longitud de onda, la materia orgánica presente en las muestras, también puede absorber, por lo que se mide a una longitud de onda de 275 nm para corregir el valor de nitrato. Sin embargo, esta corrección es empírica, dado que las concentraciones de materia orgánica pueden variar de un agua a otra.

#### **2.4.1.12. Sulfatos**

La presencia de sulfato en el agua de consumo puede generar un sabor apreciable y en niveles muy altos provocar un efecto laxante en consumidores no habituados. El deterioro del sabor varía en función de la naturaleza del catión asociado; se han

determinado umbrales gustativos que van de 250 mg/l, para el sulfato de sodio, a 1000 mg/l, para el sulfato de calcio. Por lo general, se considera que el deterioro del sabor es mínimo cuando la concentración es menor que 250 mg/l. No se ha calculado ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el sulfato (OMS, 2006).

#### **2.4.1.13. Cromo Hexavalente**

El cromo se puede presentar en las aguas, tanto en forma hexavalente como trivalente, aunque esta última forma rara vez existe en aguas potables.

El método colorimétrico se basa en la reacción del cromo hexavalente con 1,5-difenilcarbazida en medio ácido, lo que produce la formación de un compuesto desconocido de color rojo violeta. Éste puede ser medido espectrofotométricamente a una longitud de onda de 540 nm y la absorbancia es proporcional a la concentración de cromo en la muestra.

Para determinar cromo total, la muestra debe ser sometida a digestión ácida y oxidación con permanganato de potasio, previo a la reacción con la difenilcarbazida.

#### **2.4.1.14. Fosfatos**

En las aguas naturales y residuales, el fósforo se presenta mayoritariamente en forma de fosfatos. Estos son clasificados en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y otros polifosfatos) y fosfatos enlazados orgánicamente. Se encuentran en solución, en partículas o detritus o en cuerpos de organismos acuáticos y pueden provenir de diversas fuentes.

#### **2.4.1.15. Nitritos**

Este método llamado de Zambelli, se basa en la reacción del ácido sulfanílico, en medio clorhídrico y en presencia de ion amonio y fenol, con el grupo  $\text{NO}_2^-$ , lo que da lugar a la aparición de un compuesto de color amarillo-pardo. Este puede ser medido espectrofotométricamente a una longitud de onda de 425 nm y la absorbancia es proporcional a la concentración de nitritos en la muestra.

#### **2.4.1.16. Hierro**

En las aguas subterráneas anaerobias puede haber concentraciones de hierro ferroso de hasta varios miligramos por litro sin que se manifieste alteración alguna del color ni turbidez al bombearla directamente desde un pozo. Sin embargo, al entrar en contacto con la atmósfera, el hierro ferroso se oxida a férrico, tiñendo el agua de un color marrón rojizo no deseable.

El hierro también potencia la proliferación de bacterias ferruginosas, que obtienen su energía de la oxidación del hierro ferroso a férrico y que, en su actividad, depositan una capa viscosa en las tuberías.

En niveles por encima de 0.3 mg/l, el hierro mancha la ropa lavada y los accesorios de fontanería. Por lo general, no se aprecia ningún sabor en aguas con concentraciones de hierro menores que 0.3 mg/l, aunque pueden aparecer turbidez y coloración. No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el hierro (OMS, 2006).

#### **2.4.1.17. Manganeseo**

La presencia de manganeseo a concentraciones mayores que 0.1 mg/l en sistemas de abastecimiento de agua produce un sabor no deseable en bebidas y mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios. Al igual que sucede con el hierro, la presencia de manganeseo en el agua de consumo puede dar lugar a la acumulación de depósitos en el sistema de distribución. Las concentraciones menores que 0.1 mg/l suelen ser aceptables para los consumidores. Incluso en una concentración de 0.2 mg/l, el manganeseo formará con frecuencia una capa en las tuberías, que puede desprenderse en forma de precipitado negro. El valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el manganeseo es cuatro veces mayor que el mencionado umbral de aceptabilidad de 0.1 mg/l (OMS, 2006).

#### **2.4.1.18. Amoniaco**

La concentración correspondiente al umbral olfativo del amoniaco a pH alcalino es de aproximadamente 1,5 mg/l, y se ha sugerido un umbral gustativo de 35 mg/l para el

cación amonio. Estas concentraciones de amoniaco no tienen repercusión directa sobre la salud y no se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud (OMS, 2006).

#### **2.4.1.19. Parámetros Bacteriológicos**

Al hacer el análisis de las aguas no buscamos tal o cual microorganismo patógeno, es decir, no aislamos o identificamos los microorganismos patógenos del agua, sino que averiguamos si esta tiene o no contaminación de origen fecal.

Los microorganismos existentes pueden proceder:

- de la propia agua.
- del aire y la tierra.
- de las heces.

##### **2.4.1.19.1. Coliformes Totales**

Los coliformes totales son ampliamente utilizados a nivel mundial como indicadores de potabilidad por ser fáciles de detectar y cuantificar. El término abarca bacterias de tipo bacilos, Gram negativas que crecen en presencia de sales biliares o de otros compuestos con propiedades similares de inhibición. Esta definición aplica aún cuando en la práctica ha sido modificada parcialmente por el empleo de técnicas más modernas de detección.

La prueba detecta tanto especies de agua contaminada como otras abundantes en la naturaleza que se multiplican fácilmente en agua de buena calidad, por lo que en realidad no sirve como indicador definitivo de un agua inapropiada para consumo humano ni de patógenos. Así mismo, los coliformes totales sirven para establecer si un agua ha sido adecuadamente potabilizada si arroja resultados negativos a la salida de una planta, de la misma forma que los coliformes fecales lo pueden hacer.

Los coliformes totales son eliminados del agua mediante procesos de desinfección como la cloración, radiación UV y ozonización (OMS, 2006).

#### **2.4.1.19.2. Coliformes Fecales**

Los coliformes fecales son todos los bacilos cortos que difieren del grupo coliforme total por su capacidad para crecer a una temperatura de 44 a 45 °C.

De ellos, solo “E. Coli” es específicamente de origen fecal y se encuentra siempre presente en las heces de humanos, otros mamíferos y gran número de aves. Los coliformes fecales no se encuentran en aguas y suelos que no han estado sujetos a contaminación fecal. Por ello desde el punto de vista de la salud, el grupo coliforme fecal es mucho más útil que el total, pues se relaciona con la probabilidad de encontrar patógenos excretados (OMS, 2006).

Las ventajas de este grupo como indicador son:

- El 95 % dan una respuesta positiva a la prueba de temperatura.
- Pueden estar ausentes, si la contaminación no es de origen fecal.
- Sobreviven menos tiempo en la naturaleza que los totales por lo que permiten suponer contaminación reciente si se encuentran en altas concentraciones.
- Son más exigentes que los coliformes totales para reproducirse en el ambiente.

#### **2.4.1.20. Demanda de Cloro (Breakpoint)**

Es una medida del contenido en materia orgánica de un agua, obtenida al añadir cloro. Inicialmente se forman compuestos de cloro con la materia orgánica, pero que se van destruyendo al aumentar la adición. El breakpoint, o punto de ruptura, corresponde al inicio de la destrucción de los compuestos clorados originalmente formados.

No tiene interés en la caracterización de aguas subterráneas, pero sí para las aguas superficiales.

Es importante en el tratamiento de aguas potables para determinar la cantidad de desinfectante a añadir. Se mide en ppm de  $\text{Cl}_2^-$  (Lapeña, 1990).

### **2.5. Contaminación de Agua Subterránea**

Los acuíferos se contaminan desde la superficie. El agua que se infiltra lixivia los

contaminantes que haya sobre el suelo llevándolos hasta la capa de agua subterránea. La contaminación puede ser localizada o difusa. En el primer caso se produce principalmente por el lavado de todas aquellas fuentes de contaminantes mal impermeabilizadas como pueden ser: vertederos de residuos urbanos o industriales, fosas sépticas, depósitos de hidrocarburos subterráneos, materiales producidos durante las labores mineras (enriquecimiento mineral, escombreras de estériles, etc.), sales utilizadas para el deshielo de carreteras, etc. (UCM, 2006).

La contaminación difusa o dispersa (Newman, Nixon, & Rees, 1994) procede del uso indiscriminado de productos agrícolas tales como fertilizantes químicos (nitratos, fosfatos, etc), productos fitosanitarios (plaguicidas, pesticidas, insecticidas, etc.) purines y otros abonos orgánicos, enmiendas de suelos). Todos aquellos compuestos que no son absorbidos por las plantas u otros seres vivos o quede fijado/adsorbido por las partículas sólidas del suelo pasarán a formar parte del agua subterránea.

La mayor o menor probabilidad de que los contaminantes puedan llegar a incorporarse al ciclo del agua dependerá de su solubilidad y de las características físico-químicas del suelo tales como capacidad de intercambio iónico, pH, temperatura del agua, etc. (Baptista, 2000).

En la actualidad es prácticamente imposible descontaminar una fuente de agua subterránea.

## **2.6. Desinfección del Agua Subterránea**

El primer requisito que debe cumplir el agua para el consumo humano es estar libre de microorganismos que puedan transmitir enfermedades. La desinfección eficaz del agua se lleva a cabo solamente si la exposición de los microorganismos al desinfectante ocurre en dosis y tiempos de contacto adecuados.

Por lo que se requiere una concentración mínima del desinfectante durante un tiempo o período de contacto para destruir el 99% de los microorganismos y mantener un cloro residual para asegurar la calidad microbiológica del agua a través del sistema de distribución (OMS, 2007).

### **2.6.1. Evaluación y Selección del Desinfectante**

El propósito de evaluar y seleccionar un desinfectante es obtener eficacia máxima del desinfectante sobre la variedad más amplia de condiciones microbiológicas esperadas; mejor economía general; efectos indeseables mínimos sobre el agua que se va a tratar; y fiabilidad máxima, con el fin de obtener los mayores beneficios para la salud. En circunstancias normales, ningún desinfectante alcanzará todas estas metas. Es por lo tanto una buena idea considerar primero la importancia jerárquica de los objetivos para la aplicación específica, y luego establecer un equilibrio razonable entre las prioridades de desempeño. Esto requiere un buen entendimiento de las propiedades y características de los diferentes desinfectantes; el conocimiento de los microorganismos objeto de la desinfección; información integral sobre las condiciones existentes (físicas y socioeconómicas), y un buen conocimiento de los desinfectantes y del equipo de desinfección. (OPS, 2007)

### **2.6.2. Proceso de Desinfección**

El proceso de desinfección está diseñado para la reducción aleatoria de un número de microorganismos patógenos. Algunos otros procesos en el tratamiento de agua, como filtración, coagulación, floculación, y sedimentación, pueden remover patógenos, pero esa no es su función principal (OMS, 2006).

### **2.6.3. Velocidad de la Desinfección**

El proceso de desinfección del agua no es instantáneo sino que se realiza progresivamente, con más o menos velocidad a través del tiempo. El proceso se considera terminado cuando el 100% de los organismos que se tratan de destruir han muerto. La forma como este proceso se realiza puede describirse matemáticamente, considerando que se trata de una reacción de primer orden y que por tanto el número de organismos destruidos en la unidad de tiempo es proporcional al número de organismos remanentes en el tiempo  $t$  considerado. En otras palabras, si  $n$  es el número de organismos y  $k$  la constante de la velocidad de destrucción o muerte de los microorganismos como lo explica la ecuación (MERCHÁN, 2002):

$$-\frac{dn}{dt} = kn \quad (1)$$

Esta es la ley de Chick.

Integrando el primer término de esta expresión entre  $n$  (número de organismos en el tiempo  $t=0$ ) y  $n$  (número de organismos en el tiempo  $t=t$ ) y el segundo, entre  $t=0$  y  $t=t$ , se obtiene:

$$\int_0^n \frac{dn}{n} = k \int_0^t dt \quad (2)$$

$$\ln n - \ln n_0 = kt \quad (3)$$

$$\frac{n}{n_0} = e^{-kt} \quad (4)$$

Tomando logaritmos:

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{n_0}{n} \quad (5)$$

Por tanto, según este modelo, el tiempo necesario para eliminar un determinado número de organismos con un desinfectante es directamente proporcional al logaritmo de la relación de organismos remanente ( $n$ ) sobre organismos iniciales ( $n_0$ ).

Sin embargo, no siempre el proceso de destrucción de microorganismos es una reacción de primer orden, y por tanto, se presentan frecuentemente desviaciones en la ley de Chick. Por ejemplo, la eliminación de quistes de *E. histolítica* con cloro libre y yodo, tiene una cinética de primer orden, pero la supervivencia de bacterias entéricas, así como de algunos virus no sigue dicho comportamiento, pues la tasa de destrucción ( $\log n/n_0$ ) aumenta o disminuye con el tiempo debido a diferentes factores como presencia de otras sustancias, errores experimentales, entre otros (MERCHÁN, 2002).

Por tanto, la Ley de Chick tiene más que todo valor de referencia para evaluar el comportamiento de un determinado proceso de desinfección, donde se conoce  $n/n_0$  y se requiere calcular la constante de desinfección ( $k$ ) (MERCHÁN, 2002).

#### 2.6.4. Factores Determinantes en el proceso de Desinfección

##### 2.6.4.1. Relación Concentración – Tiempo

La eficiencia de la reacción depende de la relación entre el tiempo de contacto y la cantidad de desinfectante dosificado. Según el tipo de desinfectante decrecerá más o menos rápidamente el poder bactericida, a medida que se va disminuyendo la concentración. Para encontrar el tiempo de contacto  $t$  necesario para matar un determinado número de organismos se utiliza la expresión de Watson (Quirós, 2005):

$$t = \frac{k}{C^n} \quad (6)$$

$k$  = constante de la desinfección

$C$  = concentración del desinfectante en mg/l

$n$  = coeficiente que expresa la eficiencia del bactericida del desinfectante (coeficiente de disolución).

##### 2.6.4.2. Temperatura

Dado que las bacterias pueden vivir solo a determinadas temperaturas, es lógico que la desinfección sea afectada por este factor. Las altas temperaturas en el agua, generan mayor eficiencia y rapidez en el proceso de desinfección, lo que produce un mayor  $k$  (Quirós, 2005).

La siguiente ecuación relaciona la constante de desinfección con la temperatura:

$$k = k_{20} (1 + \theta)^{T-20} \quad (7)$$

$k$  = constante de desinfección a  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$k_{20}$  = Constante a  $20^{\circ}\text{C}$ .

$T$  = temperatura en °C.

$\theta$  = factor que varía entre 0.06 y 0.08. (E. Coli, Giardia Lamblia)

#### **2.6.4.3.Potencial Hidrogeno-pH**

Así como la temperatura, el pH es determinante en las bacterias, ya que éstas son altamente susceptibles a este. Potenciales muy altos o muy bajos pueden resultar fatales por lo que el pH óptimo de los organismos se encuentra alrededor de 7 el pH del agua también es decisivo en la eficiencia de los desinfectantes, ya que la mayoría de estos poseen rangos de pH para los cuales se logra la máxima efectividad bactericida (Quirós, 2005).

#### **2.6.4.4.Número y Tipos de Microorganismos**

El número de organismos no es relevante en el proceso de desinfección si el pH y la temperatura se mantienen iguales. Por otro lado, el tipo de organismo si influye en el proceso, ya que cada organismo tiene características propias que lo hacen más o menos vulnerable a un determinado desinfectante (Quirós, 2005).

### **2.7. Desinfección del Agua con Cloro**

La cloración es el proceso de desinfección que reúne mayores ventajas: es eficiente, fácil de aplicar y deja efecto residual que se puede medir por dos sistemas muy simples y al alcance de todos. Tiene la desventaja de ser corrosivo y especialmente, en algunos casos, formar subproductos posiblemente peligrosos para la salud y producir un sabor desagradable en el agua.

El cloro y sus compuestos son usados en el proceso de desinfección en forma de gas comprimido bajo presión o disueltos en agua, soluciones de hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio. Las tres formas son equivalentes químicamente debido al equilibrio que existe entre gas molecular disuelto y los productos disociados de los compuestos de hipoclorito (Quirós, 2005).

#### **2.7.1.Características Físicas del Cloro**

En la Tabla se presentan algunas de las características del cloro libre y algunos de

sus compuestos:

**Tabla 2.7.1-1**  
**Características físicas del Cloro**

<b>Símbolo o Formula</b>	<b>Cl<sub>2</sub></b>	<b>Cl<sub>2</sub></b>	<b>NaOCl</b>	<b>Ca(OCl)<sub>2</sub></b>
<b>Peso Molecular</b>	70.9	70.9	74.45	142.99
<b>Estado</b>	Gas	Líquido	Líquido	Sólido
<b>Color</b>	Verde	Verde	Amarillo	Blanco
<b>Peso Específico (aire=1, agua=1)</b>	2.48	1.41	1.2	0.8
<b>Punto de Congelación</b>		-100.98		
<b>Punto de Licuefacción</b>	-34.5	-35.5		
<b>Forma de Empaque</b>	Cilindros	Cilindros	Botellas	Bolsas
<b>Materiales que Resistan el Ataque</b>	Seco: hierro negro, cobre y acero. Húmedo: vidrio, plata, caucho.	Seco: hierro negro, cobre y acero. Húmedo: PVC, teflón, polietileno.	Cerámica, vidrio, plástico o caucho	Cerámica, vidrio, plástico o caucho

Fuente: QuimiNet

### 2.7.2. Reacciones de Cloro en Agua

La química de la cloración es bastante; al agregar cloro al agua, lo primero que ocurre es que este se hidroliza reaccionando con el H<sub>2</sub>O, luego se combina con el amoníaco presente y con la materia orgánica, así como con ciertas sustancias químicas para producir una gran diversidad de compuestos, algunos de los cuales tienen propiedades desinfectantes y otros no. Se pueden considerar reacciones de hidrólisis y de óxido-reducción (Quirós, 2005).

#### 2.7.2.1. Reacciones Hidrolíticas

En la hidrólisis el cloro reacciona con la molécula de agua para producir ácido

hipocloroso (HOCl) e ion hipoclorito (OCl<sup>-</sup>). A estos compuestos se les llama cloro libre (Quirós, 2005).

El cloro residual se forma en dos etapas:

1. Hidrólisis, que se efectúa en fracciones de segundo:



$$K_H = \frac{[H^+][HOCl][Cl^-]}{[Cl_2]_{aq}} \quad (8)$$

2. Disociación, en que el ácido hipocloroso, inestable parcialmente, se ioniza así:



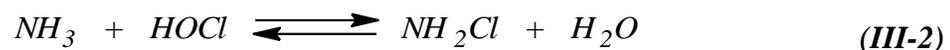
Queda entonces en el agua parte del cloro residual como HOCl y otra como OCl<sup>-</sup> que resulta de la ionización del ácido hipocloroso. La proporción en que existe uno y otro depende directamente del pH y tiene mucha importancia por cuanto el HOCl es un bactericida poderoso, mientras que el OCl<sup>-</sup> es un bactericida muy pobre (Quirós, 2005).

$$K_a = \frac{[H^+][OCl^-]}{[HOCl]} \quad (9)$$

El cloro libre total es igual a:

$$C_t = [HOCl] + [OCl^-] \quad (10)$$

Reemplazando en la fórmula anterior tenemos:



$$C_t = [\text{HOCl}] \left( 1 + \frac{K_a}{[\text{H}^+]} \right) \quad (11)$$

Tomándose como valor típico para pKa, o  $-\log K_a$  de 7,6.

### 2.7.3. Reacciones del Cloro con Elementos Presentes en el Agua

Como el cloro es un fuerte oxidante puede reaccionar con muchas sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua y en especial con los compuestos nitrogenados.

En esta serie de reacciones, el cloro puede perder o ganar electrones, y según suceda una u otra cosa, los productos que se forman son utilizables como desinfectantes o no. (Lapeña, 1990).

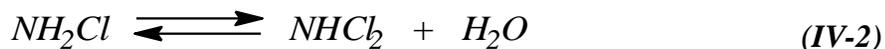
#### 2.7.3.1. Reacciones de Oxido-Reducción

##### 2.7.3.1.1. Reacciones del Cloro con el Nitrógeno Amoniacal

El cloro reacciona con nitrógeno amoniacal para formar cloraminas. Las más frecuentes son las monocloraminas ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ) y dicloraminas ( $\text{NHCl}_2$ ). Ambas tienen poco poder bactericida, menos al del ácido hipocloroso, pero en cambio son mucho más estables y por lo tanto su efecto dura más tiempo en el agua. En ciertas condiciones puede aparecer tricloruro de nitrógeno o tricloramina. Las cloraminas son tóxicas para los peces y pueden ser perjudiciales para algunas personas, por ejemplo, para pacientes en diálisis. (Lapeña, 1990).

Las reacciones serían las siguientes:

A partir de la monocloramina se forma la dicloramina como muestra la reacción (4):



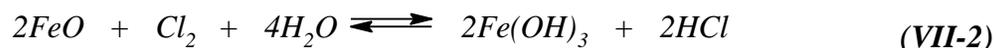
Y a partir de la dicloramina se forma la tricloramina sí:



La distribución en el agua entre uno y otro tipo de cloramina depende del pH, de la temperatura y de la proporción que existe entre el cloro y el amoníaco expresado como nitrógeno.

### 2.7.3.1.2. Reacciones del Cloro con el Hierro y Manganeseo

A continuación se indican las principales reacciones de oxidación del hierro y manganeseo con el Cloro (desinfectante) generalmente empleado en el tratamiento del agua (Lapeña, 1990).



$$0.63 \cdot \frac{mgCl_2}{mgFe}$$



$$1.27 \cdot \frac{mgCl_2}{mgMn^{++}}$$

## 2.8. Demanda de Cloro y Breakpoint

La cantidad de cloro que debe utilizarse para la desinfección del agua, se determina generalmente mediante el método de la demanda de cloro y el de breakpoint (Quirós, 2005).

Al incorporar el cloro al agua reacciona con las sustancias que ésta contiene, quedando menos cloro en disposición de actuar como desinfectante. Entre estas sustancias destacan el manganeso, hierro, nitritos, sulfhídrico y diferentes materias orgánicas, las cuales, además de consumir cloro, producen compuestos orgánicos clorados que pueden ser la causa de olores y sabores desagradables. Otra sustancia presente a veces en el agua y que reacciona de una forma muy particular con el cloro es el amoníaco. En este caso, se forman compuestos denominados cloraminas, las cuales poseen poder desinfectante, aunque en menor grado que el cloro.

Si se continúa añadiendo cloro en exceso, de manera que reaccione con todas las sustancias presentes, llegará un momento en que el cloro sobrante aparecerá como cloro residual libre, que es el que realmente actúa ahora como agente desinfectante.

La demanda de cloro es la diferencia entre la dosis de cloro añadida y el contenido de cloro residual, al cabo de un tiempo de contacto, suficiente para completar las reacciones antes expuestas (Quirós, 2005).

El control perfecto de la desinfección, se efectúa mediante los correspondientes exámenes bacteriológicos del agua, pero para un control más rápido del contenido en cloro libre y combinado de un agua tratada, se determina la concentración de cloro residual mediante el método del DPD, o bien por yodometría y valoración con tiosulfato sódico; también, en instalaciones importantes suelen emplearse instrumentos automáticos de medida permanente, mediante determinaciones colorimétricas o determinaciones amperométricas (Quirós, 2005).

El cloro presente en el agua tratada, que se conoce como «cloro residual», puede presentarse como «cloro residual libre» o como «cloro residual combinado».

El cloro residual libre está constituido esencialmente por el ácido hipocloroso y el ión hipoclorito, y el cloro residual combinado lo forman generalmente las cloraminas.

Para que el cloro residual libre esté presente en un agua tratada con cloro, después del suficiente tiempo de contacto, es necesario que la cloración se lleve a cabo mediante una dosis lo suficientemente elevada de cloro, hecho conocido como «dosificación con cloro sobrante», «cloración por el punto crítico» o «cloración al breakpoint», con lo cual el cloro oxidará todas las sustancias que estén en disposición de ser oxidadas, se combinará, destruirá y eliminará otras, como por ejemplo las cloraminas, y después de todo esto, aún quedará un exceso de cloro libre residual (Quirós, 2005).

La dosis de cloro a la cual comienza a aparecer el cloro libre residual es la llamada dosis de breakpoint. Indicaremos ahora, y después ampliaremos, que algunas de las sustancias orgánicas cloradas formadas con el cloro libre son causa de preocupación desde el punto de vista sanitario (Quirós, 2005).

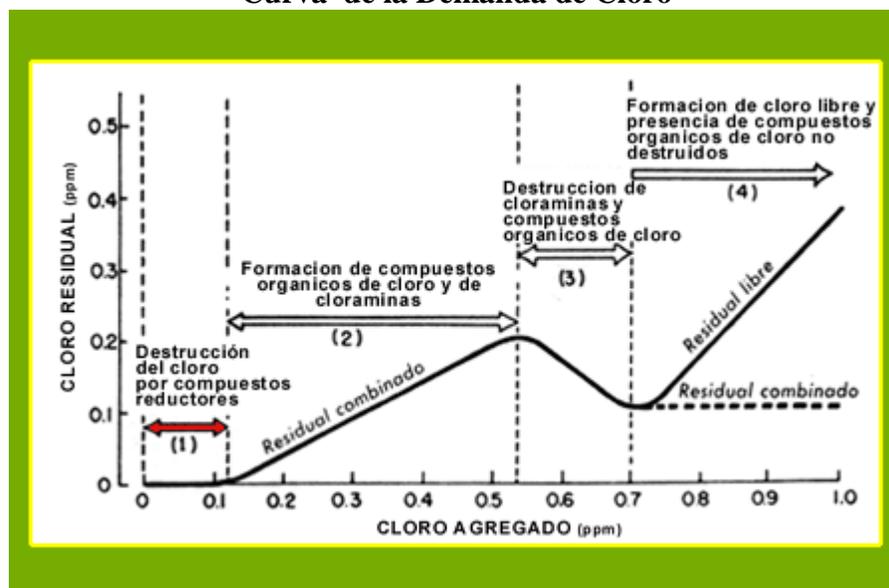
Teóricamente, en un agua totalmente pura, al ir adicionando cloro, la concentración residual medida del mismo sería igual al cloro incorporado. Pero esto no ocurre así en aguas que no son completamente puras, que es el caso general. Entonces, al ir adicionando cloro y después de haberse oxidado las diversas sustancias que ya indicamos y formado las cloraminas, si había presente amoníaco y otros compuestos clorados de adición, si medimos ahora el cloro residual, se observará que éste no corresponde al añadido, sino que es menor, llegando incluso a un punto en que, en lugar de ir aumentando la concentración de cloro residual, ésta disminuye. La explicación de este descenso se justifica por el hecho de que una vez formados los diversos derivados orgánicos del cloro y las cloraminas, llegan a destruirse mediante la adición de más cloro, formándose otros compuestos que no suministran cloro residual (Quirós, 2005).

Cuando se han destruido estos compuestos clorados, comienza a aparecer el cloro residual libre y, a medida que se añade cloro al agua, aumenta la concentración de cloro residual libre, pudiendo subsistir a la vez una pequeña concentración de cloro residual combinado, debido a compuestos que no han sido destruidos totalmente. Se

considera que cuando el 85% o más del cloro residual del agua está en forma libre, la desinfección se ha realizado al breakpoint (Quirós, 2005).

En la figura 2.8-1, queda mostrado de forma clara lo anteriormente expuesto. El breakpoint es la dosis correspondiente al mínimo de la curva. Este punto no lo presentan claramente las aguas con poca materia orgánica o compuestos nitrogenados (Quirós, 2005).

**Figura 2.8-1**  
**Curva de la Demanda de Cloro**



Fuente: [http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/curso/uni\\_06/u6c4s3.htm](http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/curso/uni_06/u6c4s3.htm)

### 2.8.1. Dosis

La dosis de cloro se compone en:

$$Dosis_{cloro} = Demanda_{cloro} + Residual_{cloro} \quad (12)$$

Donde la dosis se define como la cantidad de cloro agregado.

### 2.8.2. Demanda

Es la diferencia entre la dosis de cloro que se aplica y el cloro residual libre que existe al finalizar el tiempo de contacto. También se define como la cantidad de cloro

consumido en reacción química (mg/l). Cuando la demanda sea satisfecha, no será usado más cloro del necesario, ya que la cantidad de cloro agregada de más formará un residual.

### **2.8.3. Residual**

Se define como la cantidad sobrante después de que la demanda es satisfecha. El cloro residual constituye un factor importante ya que es el encargado de hacer el proceso de la desinfección.

Existen tres diferentes tipos de cloro residual; a continuación se describirá cada uno de ellos.

### **2.8.4. Combinado**

El cloro combinado con compuestos de nitrógeno forma las “cloraminas”. La cantidad de cada especie de cloraminas producidas depende de la cantidad relativa de ácido hipocloroso y amoníaco, del pH y la temperatura.

Se le denomina cloro residual combinado.

Normalmente los residuales combinados permanecen en el agua; sin embargo, tienen propiedades de desinfección limitadas.

## **2.9. Decadencia de Cloro en Sistemas de Distribución de Agua**

La desinfección de cloro requiere un nivel mínimo de desinfectante constante en todas las partes de un sistema de distribución. Por lo tanto, los factores que influyen en la decadencia de cloro deben ser identificados y los modelos que pueden predecir de forma fiable los niveles residuales de cloro en el agua tratada y distribuida deben desarrollarse. Con el fin de lograr un equilibrio entre una dosis de cloro y la calidad bacteriológica del agua, es necesario comprender el mecanismo de la descomposición de cloro en los sistemas de distribución de agua y los factores que la afectan. El cloro desaparece debido a sus reacciones con compuestos presentes en el agua, que en la mayoría de los casos se desconoce. En el sistema de distribución de agua, el cloro reacciona también con la pared del tubo. Por estas razones, la mayoría de los modelos

cinéticos que describen la descomposición de cloro se han establecido empíricamente o de forma semiempírica.

Un problema básico del uso de las ecuaciones de desintegración es la determinación de las constantes de desintegración, que pueden variar con la calidad de la fuente de agua, su temperatura, el número de Reynolds y las propiedades del material de las tuberías de agua. Por lo tanto, la constante de desintegración total ( $k$ ) se expresa a menudo por la descomposición debido a la demanda de cloro de la tubería.

El tiempo de residencia del agua en cualquier sistema de distribución cambia la calidad del agua, porque los valores de muchos parámetros disminuyen o aumentan como resultado de reacciones químicas y biológicas que dependen sobre el medio ambiente en el sistema de distribución.

Un número de modelos se han desarrollado para predecir la caída de cloro en el agua potable (BEATA KOWALSKA, 2006).

### 2.9.1. Modelo de Decaimiento de Cloro de Primer Orden

El modelo más popular es el modelo de decaimiento de primer orden en el que se supone que la concentración de cloro a decaer exponencialmente:

$$-\int_{C_0}^C \frac{dC}{kC} = \int_0^t dt \quad (13)$$

$$\ln C - \ln C_0 = -kt \quad (14)$$

$$C = C_0 \cdot e^{-kt} \quad (15)$$

Donde:

$C$  es la concentración de cloro en el momento  $t$  en mg/l,

$C_0$  es una concentración de cloro inicial en mg/l.

$k$  es la tasa de decaimiento en  $h^{-1}$ ,

$t$  es el tiempo en h.

### **2.9.2. Decaimiento del Cloro con el Volumen de Agua**

La rapidez con la cual el cloro residual libre desaparece se expresa por la tasa de la reacción (tasa de decaimiento) cloro-agua, que se da por la ecuación cinética de esa reacción. La reacción de la sustancia con el volumen del agua se debe principalmente a los siguientes factores: temperatura (Hua, *et al*, 1999; Beatty *et al*, 1996), pH, contenido de materia orgánica e inorgánica, cloraminas y compuestos organoclorados, presencia de metales como, hierro ( $Fe^{++}$ ), manganeso ( $Mn^{++}$ ), ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), corrosión, entre otras sustancias; además no se deberá olvidar que la obtención del tiempo de residencia del agua dentro de las tuberías (edad del agua) será un factor fundamental durante los procesos de reacción.

Actualmente los modelos de calidad del agua aplicados a redes de distribución hasta ahora utilizan una ecuación cinética de primer orden, donde el coeficiente  $k$  se obtiene por medio de un ajuste exponencial a los datos medidos (BEATA KOWALSKA, 2006).

**CAPÍTULO III**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

### **3. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **3.1. Metodología Empleada en el Proyecto**

Los conceptos y el procedimiento metodológico que se indica en el presente documento están basados en las Normas Bolivianas NB 496, NB 512, así como en las Guías de Calidad de Agua de la Organización Mundial de la Salud y la guía de AWWA Standard Disinfecting Water Mains.

Este procedimiento consta de las siguientes etapas:

- Definición de los Barrios objeto de estudio.
- Planificación e identificación de las características básicas del sistema de abastecimiento de agua
- Planificación
- Ejecución
- Garantía de calidad de la información
- Procesamiento de la información
- Elaboración de informes
- Acciones correctivas

##### **3.1.1. Definición de los Barrios Objeto de Estudio**

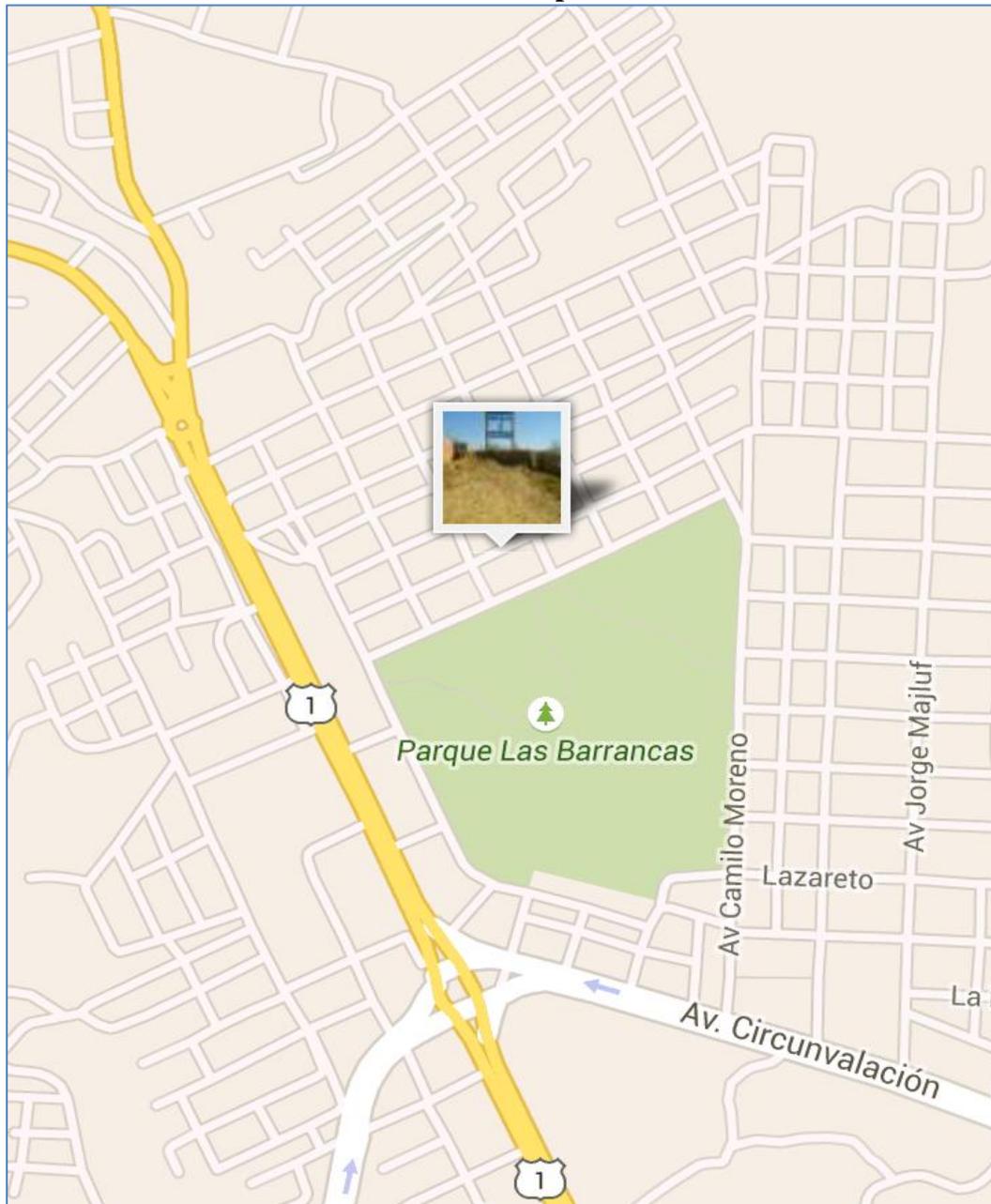
Para la presente investigación se tomara tres barrios objeto de estudio que estará centrado generalmente en barrios periurbanos que cuentan con un sistema de agua que no tiene ningún tratamiento.

Los barrios a ser estudiados son los siguientes:

- Barrio Nueva Esperanza
- Barrio Fortaleza
- Barrio 26 de Agosto

A continuación se indica su ubicación y coordenadas geográficas:

**Figura 3.1.1-1**  
**Barrio Nueva Esperanza**



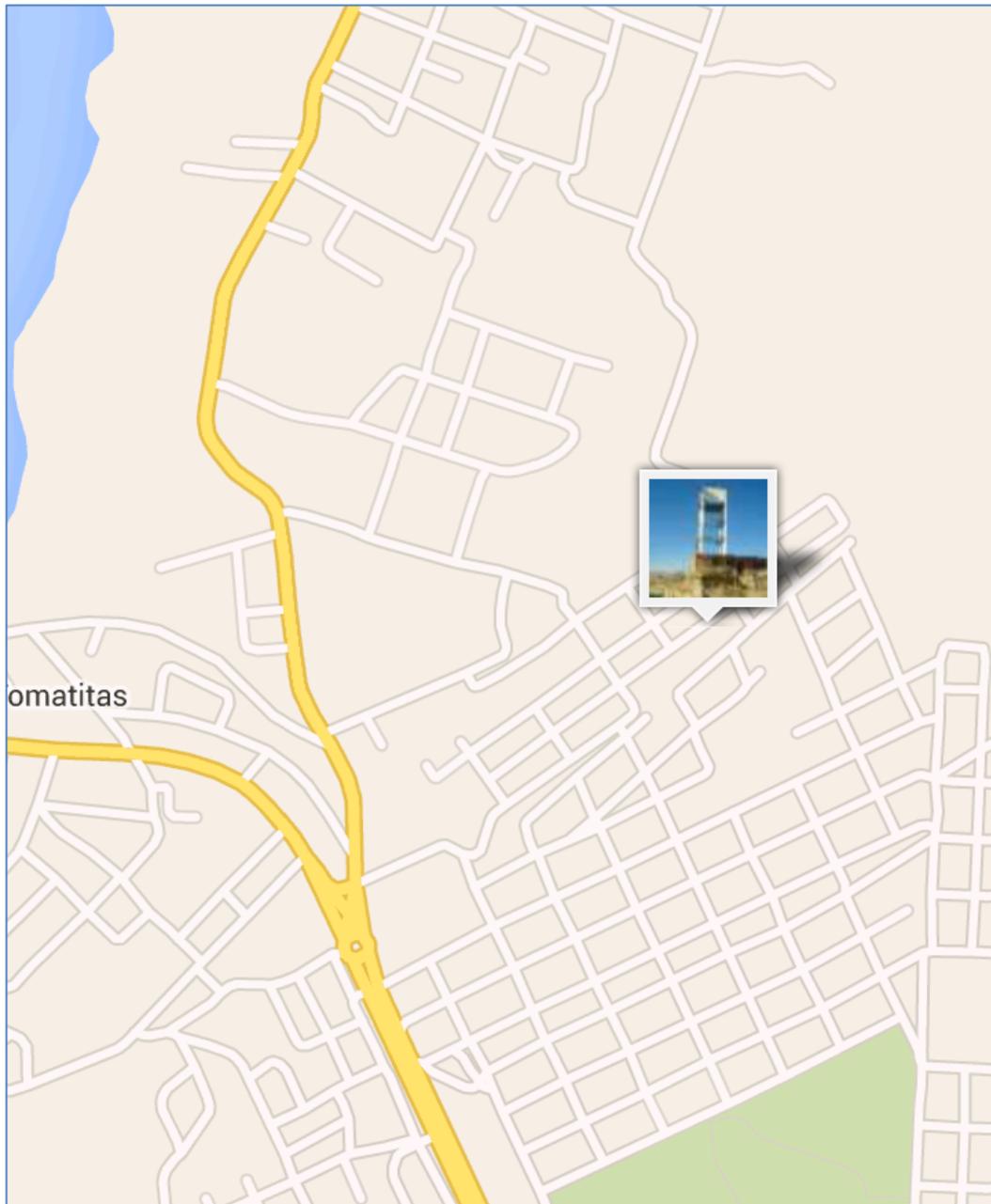
Fuente: Google Maps

**Latitud:** 21°30'15.74" S

**Longitud:** 64°44'51.09" W

**Altitud:** 1931 msnm

**Figura 3.1.1-2**  
**Barrio Fortaleza**



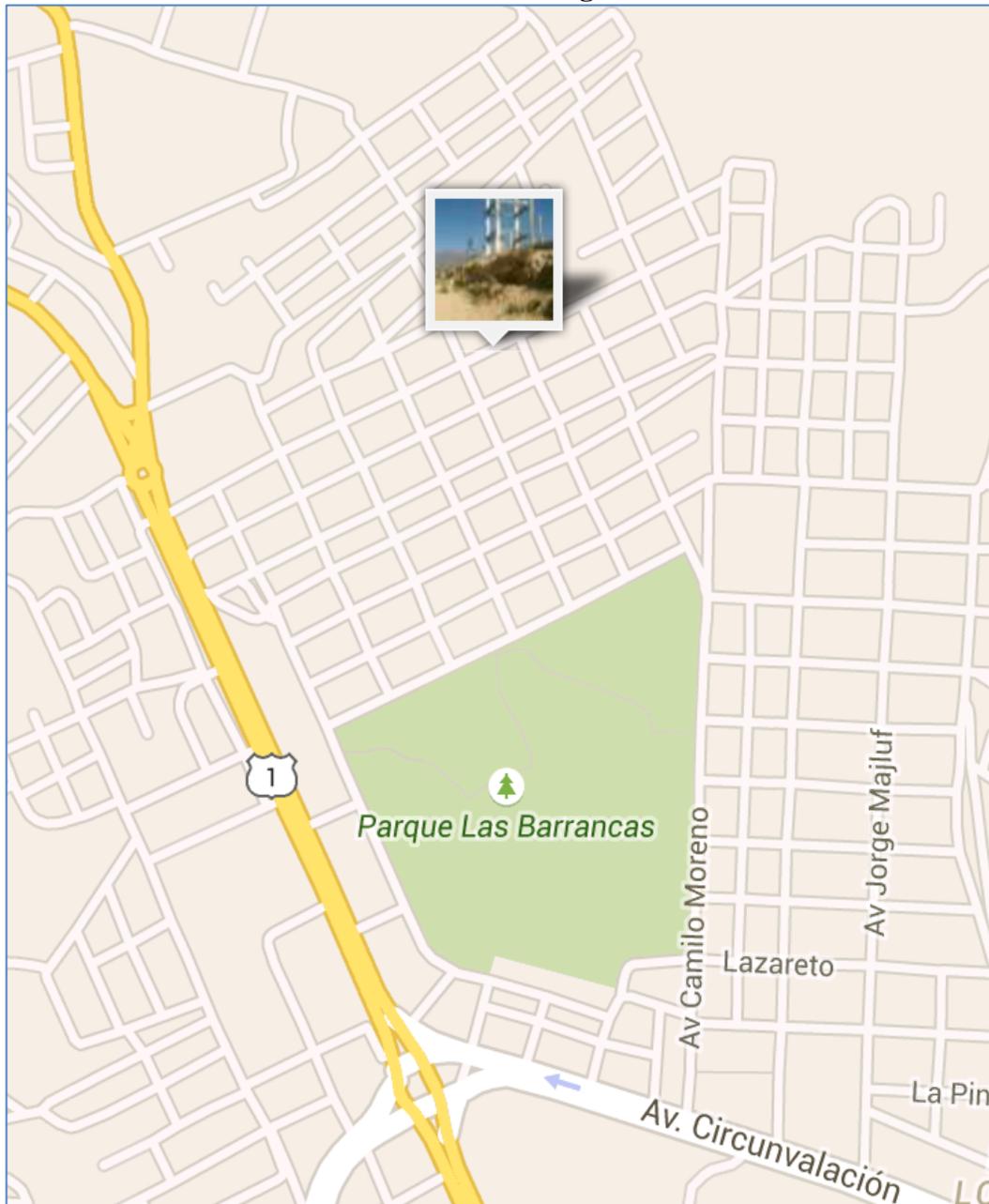
**Fuente:** Google Maps

**Latitud:** 21°29'52.91" S

**Longitud:** 64°44'48.37" W

**Altitud:** 1948 msnm

**Figura 3.1.1-3**  
**Barrió 26 de Agosto**



Fuente: Google Maps

**Latitud:** 21°30'3.31" S

**Longitud:** 64°44'49.25" W

**Altitud:** 1939msnm

### **3.1.2. Identificación de las Características Básicas del Sistema de Abastecimiento de Agua**

Previo a cualquier actividad de control de la calidad del agua de consumo humano fue necesario conocer a la perfección el sistema de abastecimiento de agua que va desde la fuente hasta la atención a los consumidores. En este aspecto se debe identificar todas las características físicas que conforma el sistema de abastecimiento de agua, para proceder a la planificación de las actividades dirigidas al control de calidad del agua.

### **3.1.3. Planificación**

La planificación comprendió:

- Identificación de las zonas de abastecimiento de agua de los barrios.
- Definición de los puntos de muestreo y criterios de muestreo.
- Selección de las determinaciones analíticas de mayor impacto.
- Frecuencia de muestreo e identificación del número de determinaciones a ser realizadas.

#### **3.1.3.1. Identificación de las Zonas de Abastecimiento de Agua de los Barrios**

La Norma Boliviana NB 496 indica que en sistemas con más de una fuente de agua, los puntos de muestreo deberán ser ubicados teniendo en cuenta el número de habitantes servidos por cada fuente, es decir, que de alguna manera u otra está haciendo referencia a la presencia de zonas de abastecimiento dentro del sistema de distribución de agua.

#### **3.1.3.2. Definición de los Puntos de Muestreo y Criterios de Muestreo**

La Organización Mundial de la Salud y la Norma Boliviana NB 496 indican los criterios a ser aplicados en la selección de los puntos de muestreo. Estos criterios han sido adaptados en la presente propuesta, teniendo en cuenta el concepto de zona de abastecimiento de agua. De esta forma, los puntos de muestreo deben:

- Ser representativos de la zona de abastecimiento de agua.

- Estar uniformemente distribuido en toda la zona de abastecimiento de agua.
- Ser proporcional al número de habitantes en cada zona de abastecimiento.

**Ubicadas:**

- A la salida de la planta de agua, reservorios de distribución o pozos.
- Red primaria de distribución.
- Red secundaria de distribución.
- Sistemas comunales de distribución.

En lo que respecta a las características del punto de muestreo, ninguno de los documentos indicados anteriormente, hace referencia alguna. Tradicionalmente, se ha considerado, que a fin de reducir los problemas inherentes a la representatividad de la muestra de agua en el sistema de distribución, los puntos de muestreo deben estar conformados por instalaciones dedicadas específicamente a este fin.

Sin embargo, se reconoce que la instalación de estos puntos de muestreo y el mantenimiento de los mismos es una carga económica adicional para el abastecedor. Por estos motivos, hoy en día se considera la existencia de puntos fijos y variables.

Los puntos de muestreo fijos están conformados por grifos o caños instalados en puntos determinados de la red primaria de distribución y a la salida de la planta de tratamiento de agua, pozos, reservorios, estaciones de bombeo, etc. En el caso de los pozos de abastecimiento de agua, se hace necesaria la instalación de dos puntos de muestreo, uno para determinar la calidad del agua del acuífero y otro, para la evaluación de la calidad del agua abastecida a la población.

Los puntos de muestreo variables se ubican a nivel de la red secundaria y podrán estar conformados por el primer grifo o caño situado al interior de la vivienda y que esté conectado directamente a la red de distribución y libre de la influencia del almacenamiento intradomiciliario.

**3.1.3.3. Selección de las Determinaciones Analíticas de Mayor Impacto**

En la tabla3-1se presenta una lista de determinaciones analíticas con los parámetros de control básico que se establecen en la ley 1333 Reglamento de Contaminación

Hídrica:

**Tabla 3-3.1.3.3-1**  
**Parámetros de Control Básico**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>	<b>Referencia</b>
Cromo Total (Hexavalente)	mg/l Cr <sup>+6</sup>	<b>Colorimétrico</b>	Ley 1333
Fosforo Reactivo	mg/l PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	<b>Colorimétrico</b>	Ley 1333

**Fuente:** Elaboración propia

En las tablas 3-2 y 3-3 se presenta una lista de determinaciones analíticas con los requisitos Físicos y Organolépticos y requisitos Químicos establecidos en la Norma Boliviana NB 512:

**Tabla 3-3.1.3.3-2**  
**Requisitos Físicos y Organolépticos**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>	<b>Referencia</b>
Aspecto		<b>Sensorial</b>	NB 512/2004
Olor		<b>Sensorial</b>	NB 512/2004
Sabor		<b>Sensorial</b>	NB 512/2004
Turbiedad	UNT	<b>Nefelométrico</b>	NB 512/2004
Color Aparente	UCV	<b>Colorimétrico</b>	NB 512/2004
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	<b>Colorimétrico</b>	NB 512/2004

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3-3.1.3.3-3  
Requisitos Químicos**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>	<b>Referencia</b>
Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	<b>Volumétrico</b>	NB 512/2004
Dureza de Calcio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	<b>Volumétrico</b>	NB 512/2004
pH		<b>Potencimétrico</b>	NB 512/2004
Dureza de Magnesio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	<b>Calculo</b>	NB 512/2004
Manganeso	+mg/l Mn	<b>Colorimétrico</b>	NB 512/2004
Cloruros	mg/l Cl <sup>-</sup>	<b>Volumétrico</b>	NB 512/2004
Hierro Total	mg/l Fe	<b>Colorimétrico</b>	NB 512/2004
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>Colorimétrico</b>	NB 512/2004
Nitritos	mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<b>Colorimétrico</b>	NB 512/2004
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	<b>Colorimétrico</b>	NB 512/2004
Nitrógeno Amoniacal	mg/l NH <sub>3</sub> -N	<b>Neslerizacion</b>	NB 512/2004
Amoniaco	mg/l NH <sub>3</sub>	<b>Neslerizacion</b>	NB 512/2004

**Fuente:** Elaboración propia

En las tablas 3-4 y 3-5 las determinaciones analíticas con los requisitos Microbiológicos y los Parámetros de Control que se establecen en la Norma Boliviana NB 512:

**Tabla 3-3.1.3.3-4  
Requisitos Microbiológicos**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>	<b>Referencia</b>
Coliformes Totales	UFC/100 ml	<b>Membrana Filtrante</b>	NB 512/2004
Escherichia Coli	UFC/100 ml	<b>Membrana Filtrante</b>	NB 512/2004

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3-3.1.3.3-5  
Parámetros de Control**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>	<b>Norma de ref.</b>
Conductividad	μS/cm	<b>Potenciométrico</b>	NB 512/2004
Alcalinidad Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	<b>Volumétrico</b>	NB 512/2004

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.1.3.4. Frecuencia de Muestreo

La Norma Boliviana es muy clara en lo que respecta a la frecuencia de muestreo en función a la densidad de población en la tabla 3.1.3.4-1 se muestra la frecuencia de muestreo según la NB 496:

**Tabla 3.1.3.4-1  
Número de muestras a ser analizadas en la red de distribución**

<b>Población (hab.)</b>	<b>Cantidad</b>
≤ 1000	1/trimestral
1001 a 2000	1/bimensual
2001 a 5000	1/mes
5001 a 10000	(1 c/5000 hab.)/mes
10001 a 20000	(1 c/5000 hab.)/mes
20001 a 30000	(1 c/5000 hab.)/mes
30001 a 50000	(1 c/5000 hab.)/mes
50001 a 100000	(1 c/5000 hab.)/mes
100001 a 500000	(10 + 1 c/5000 hab.)/mes
> 500000	(10 + 1 c/5000 hab.)/mes

**Fuente:** Norma Boliviana NB 496

Para esta investigación se aplicó la metodología mencionada en la Norma Boliviana pero para barrios los barrios que tengan una densidad de poblaciones menores a 2000 se procedió a un muestreo cada mes.

Para fines investigativos en este proyecto se realizó una frecuencia de muestreo mensual durante tres meses continuos para así poder conocer el comportamiento y el cambio que estas aguas presentan durante la época de estiaje y época de lluvia para determinar la calidad de las aguas entorno a este cambio.

#### **3.1.4. Ejecución**

En esta etapa se procedió con el monitoreo en los barrios para llevar a cabo este fin se aplicó lo establecido en la Norma Boliviana NB 496; posteriormente, se realizó las determinaciones de los parámetros seleccionados de acuerdo con la Norma Boliviana NB 512 ambas etapas también están referenciadas por las Guías de Calidad de Agua de la Organización Mundial de la Salud.

#### **3.1.5. Garantía de Calidad de la Información**

Para garantizar la calidad y confiabilidad de la información obtenida las determinaciones que se llevó a cabo en el laboratorio estas se realizaron por un laboratorio equipado para la realización de las determinaciones propuestas en este proyecto.

#### **3.1.6. Procesamiento de la Información**

Una vez obtenida la información se procedió a la generación de una base de datos georeferenciada y un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

#### **3.1.7. Elaboración de Informes**

La elaboración de informes se realizó en función del análisis estadístico de los resultados obtenidos.

## **3.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

### **3.2.1. Análisis de Laboratorio**

#### **3.2.1.1. Análisis de Parámetros In Situ**

Para evaluar los parámetros in situ se utilizó el método del potenciómetro por medio de un equipo multiparametros el cual se describe en el anexo.

#### **3.2.1.2. Análisis de Parámetros Fisicoquímicos**

Para evaluar las trazas de metales se usó el método de espectrofotometría y en la evaluación de alcalinidad, durezas, y cloruros el método volumétrico.

#### **3.2.1.3. Análisis de Parámetros Bacteriológicos**

Los parámetros bacteriológicos se evaluaron por el método de filtro de membrana para la determinación de coliformes totales y coliformes termotolerantes (*Escherichia Coli*).

### **3.2.2. Selección de la alternativa más adecuada para garantizar la potabilidad del agua subterránea a ser distribuida.**

La primera etapa fue la determinación de las condiciones actuales del agua, para lo cual se tomaron muestras en cada uno de los pozos. Esto se hizo durante tres meses que abarcan la salida de la época de estiaje y la entrada a la época de las lluvias, a razón de una toma por mes, de manera aleatoria, para determinar que las condiciones de cada pozo a lo largo del tiempo de estudio.

A partir de los resultados de los análisis, se realizó la selección de la alternativa más idónea para garantizar la potabilidad del agua.

### **3.2.3. Estandarización de Solución de Tiosulfato de Sodio**

Para la estandarización de tiosulfato de sodio se utilizó el método yodométrico.

#### **Reactivos**

- Disolución de tiosulfato sódico 0.1N. Prepararla disolviendo, aproximadamente, 25 g de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada recién hervida y aforar a 1 litro.
- Disolución de dicromato potásico 0.1N. Prepararla disolviendo 4.9036 g de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , secados a  $110^\circ\text{C}$ , en agua destilada y aforar a 1 litro.
- Yoduro potásico sólido.
- Ácido sulfúrico concentrado.
- Disolución de almidón.

#### Procedimiento:

A 80ml de agua añadir, agitando constantemente, 1 ml de ácido sulfúrico concentrado (resbalándolo por las paredes del matraz), 10 ml de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0.100N y 1g de KI. Mantener durante 6 min en la obscuridad y titular con  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0.1N hasta un color amarillo paja; añadir 1 ml de solución indicadora de almidón y continuar la titulación hasta el vire del color azul a verde tenue.

#### 3.2.4. Determinación de Cloro Activo en Hipocloritos

Para la determinación de cloro activo se realizó el siguiente procedimiento.

#### Materiales

- Balanza analítica
- Espátula
- Mortero de vidrio o porcelana
- Pizeta o frasco lavador
- Balón volumétrico de 1000 ml (1 L)
- Pipetas volumétricas de 25 ml
- Pipetas de Mohr de 25 ml
- Bureta graduada
- Soporte y pinzas para bureta

#### Reactivos

- Cristales de yoduro de potasio, calidad reactivo

- Solución de tiosulfato de sodio 0.1 N
- Ácido acético glacial
- Solución indicadora de almidón
- Agua destilada

#### **3.2.4.1. Determinación de Cloro Activo en Hipoclorito de Calcio**

Para la determinación de cloro activo en hipoclorito de calcio se utilizó el método yodométrico.

Procedimiento:

- Se colocan 5 g hipoclorito de calcio en un mortero de vidrio o porcelana.
- Se humedece el polvo con una pequeña cantidad de agua destilada y se mezcla con la mano del mortero.
- Por medio de una pizeta o frasco lavador se transfiere el material a un balón volumétrico de 1 L y se completa con el agua destilada a la marca
- Se agita y se mezcla.
- Se miden 25 ml de la solución en un frasco de Erlenmeyer de 250 ml
- Se agrega 1 g de cristales de yoduro de potasio.
- Se acidifica con 4 ml de ácido acético glacial.
- Se titula con la solución de tiosulfato de sodio 0.1 N hasta que el color amarillo desaparezca.
- Para afinar el “punto de vire”, se agrega 1 ml de la solución de almidón soluble y se continúa la titulación hasta que el color azul (azul oscuro) desaparezca completamente.

#### **3.2.5. Determinación de la Demanda de Cloro**

Se realizaron 3 demandas de cloro por el método que se describe a continuación:

- Determinar la concentración de la solución de cloro.
- A partir de esta solución preparar 8 muestras de 500 ml cada una tomando valores entre 0.2 mg/l a 1.6 mg/l.
- Dejar actuar el cloro por un tiempo de contacto de 30 minutos.

- Al final del periodo de contacto determinar el cloro residual libre.

### **3.2.5.1. Determinación de Cloro Residual**

Se evaluó los resultados de la demanda de cloro por medio del análisis de cloro residual libre por el método de DPD que se describe a en el anexo A-8:

### **3.2.6. Estimación de la Constante de Reacción del Cloro con el Volumen de Agua “k”**

Para obtener la constante de reacción del cloro con el volumen de agua, se empleó el siguiente procedimiento:

- Se tomó las muestras de agua almacenándolas en frascos de un medio litro, este volumen obedece al elevado número de toma muestras por frasco a través del tiempo.
- Posteriormente, a intervalos de tiempo, se tomó la concentración del cloro del agua de las muestras.
- Con lo anterior, se obtuvo el decaimiento del cloro con relación a la reacción con el agua (se excluyó la reacción de la pared con el tubo).

Por último, se procesaron los datos de las mediciones con la herramienta Estadística Descriptiva de SPSS Statistics, esto con el objetivo de construir una curva de decaimiento. El ajuste se deberá realizar del tipo exponencial. El coeficiente de reacción con el agua,  $k$ , será el exponente antes de “t”.

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Determinación de la Calidad Del Agua**

La información obtenida de los análisis organolépticos, Fisicoquímicos, y Microbiológicos, se muestran a continuación en las tablas 4-1, 4-2, 4-3,4-4, 4-5, 4-6,4-7, 4-8, 4-9.

**Tabla 4.1-1**  
**Análisis de Agua 15/12/14 Barrio Nueva Esperanza**

Parámetro	Unidad	Metoto	Valor Obtenido	Valor Max Permitido	Norma de Referencia	Ley de Referencia
Temperatura Ambiente	°C	Potenciometria	19	Sin Referencia		
Temperatura del Agua	°C	Potenciometria	15.5	+/-3°C de receptor		Ley 1333-RMCH
Aspecto		Comparacion visual	Cristalino	Sin Referencia		
Olor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
Sabor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
pH ( 15.5 °C)		Electrometrico	7.20	6.0 - 9.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Conductividad ( 15.5°C )	µS/cm	Electrometrico	56.7	1500	NB-512	Ley 1333-RMCH
Turbiedad	UNT	Nefelometria	<0.01	5	NB-512	Ley 1333-RMCH
Color Aparente	UCV	APHA Pt-Co	4	15	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cloruros	mg/l Cl <sup>-</sup>	Reduccion con Nitrato de mercurio	1.2	250	NB-512	Ley 1333-RMCH
Alcalinidad Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Fenoltaleina	26	370	NB-512	
Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	17.7	500	NB-512	
Dureza de Calcio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	12.8	<500	NB-512	
Dureza de Magnesio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Calculo	4.2	<500	NB-512	
Solidos Disueltos Totales	mg/l	Colorimetrico	<0.01	1000	NB-512	Ley 1333-RMCH
Manganeso Disuelto	mg/l Mn	Método PAN	0.1	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Hierro Total Disuelto*	mg/l Fe	FerroVer	0.02	0.3	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Reducción de cadmio	7.2	45	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitritos	mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Método de diazotización	0.01	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	SulfáVer 4	2.0	400	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cromo Hexavalente Disuelto	mg/l Cr <sup>+6</sup>	Método de la Difénilcarbácida	<0.01	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Fosforo Reactivo	mg/l PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	PhosVer 3	<0.06	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitrógeno Amoniacal	mg/l NH <sub>3</sub> -N	Nesslerizacion	<0.06	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Amoniac	mg/l NH <sub>3</sub>	Nesslerizacion	<0.06	0.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Coliformes Totales	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	4	0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Escherichia Coli	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	0	0	NB-512	Ley 1333-RMCH

\*Corresponde a Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>

**NOTA:** (<) representa los valores menores al límite estimado de detección del equipo para cada método. Los métodos de análisis están referenciados en el Standard Methods for the Examination of Water and wastewater, libro de métodos de referencia publicado conjuntamente por la American Public Health Association (APHA), la American Water Works Association (AWWA) y la Water Environment Federation (WEF).

**Tabla 4.1-2**  
**Análisis de Agua 12/01/14 Barrio Nueva Esperanza**

Parámetro	Unidad	Metodo	Valor Obtenido	Valor Max Permitido	Norma de Referencia	Ley de Referencia
Temperatura Ambiente	°C	Potenciometria	19	Sin Referencia		
Temperatura del Agua	°C	Potenciometria	15.4	+/-3°C de receptor		Ley 1333-RMCH
Aspecto		Comparacion visual	Cristalino	Sin Referencia		
Olor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
Sabor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
pH ( 15.4 °C)		Electrometrico	7.23	6.0 - 9.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Conductividad ( 15.4°C )	µS/cm	Electrometrico	56.7	1500	NB-512	Ley 1333-RMCH
Turbiedad	UNT	Nefelometria	<0.01	5	NB-512	Ley 1333-RMCH
Color Aparente	UCV	APHA Pt-Co	4	15	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cloruros	mg/l Cl <sup>-</sup>	Reduccion con Nitrato de mercurio	1.2	250	NB-512	Ley 1333-RMCH
Alcalinidad Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Fenolftaleina	28	370	NB-512	
Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	17.7	500	NB-512	
Dureza de Calcio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	12.8	<500	NB-512	
Dureza de Magnesio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Calculo	4.2	<500	NB-512	
Solidos Disueltos Totales	mg/l	Colorimetrico	<0.01	1000	NB-512	Ley 1333-RMCH
Manganeso Disuelto	mg/l Mn	Método PAN	0.1	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Hierro Total Disuelto*	mg/l Fe	FerroVer	0.02	0.3	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Reducción de cadmio	7.2	45	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitritos	mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Método de diazotización	0.01	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	SulfaVer 4	2.0	400	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cromo Hexavalente Disuelto	mg/l Cr <sup>+6</sup>	Método de la Difenilcarbocida	<0.01	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Fosforo Reactivo	mg/l PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	PhosVer 3	0.08	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitrógeno Amoniacal	mg/l NH <sub>3</sub> -N	Nesslerizacion	<0.06	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Amoniac	mg/l NH <sub>3</sub>	Nesslerizacion	<0.06	0.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Coliformes Totales	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	5	0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Escherichia Coli	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	0	0	NB-512	Ley 1333-RMCH

\*Corresponde a Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>

**NOTA:** (<) representa los valores menores al limite estimado de deteccion del equipo para cada metodo.

Los metodos de analisis estan referenciados en el Standard Methods for the Examination of Water and wastewater, libro de metodos de referencia publicado conjuntamente por la American Public Health Association (APHA), la American Water Works Association (AWWA) y la Water Environment Federation (WEF).

**Tabla 4.1-3**  
**Análisis de Agua 2/02/14 Barrio Nueva Esperanza**

Parámetro	Unidad	Metoto	Valor Obtenido	Valor Max Permitido	Norma de Referencia	Ley de Referencia
Temperatura Ambiente	°C	Potenciometria	19	Sin Referencia		
Temperatura del Agua	°C	Potenciometria	15.6	+/-3°C de receptor		Ley 1333-RMCH
Aspecto		Comparacion visual	Cristalino	Sin Referencia		
Olor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
Sabor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
pH ( 15.6 °C)		Electrometrico	7.22	6.0 - 9.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Conductividad ( 15.6°C )	µS/cm	Electrometrico	56.7	1500	NB-512	Ley 1333-RMCH
Turbiedad	UNT	Nefelometria	<0.01	5	NB-512	Ley 1333-RMCH
Color Aparente	UCV	APHA Pt-Co	4	15	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cloruros	mg/1 CL <sup>-</sup>	Reduccion con Nitrato de mercurio	1.2	250	NB-512	Ley 1333-RMCH
Alcalinidad Total	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Fenoltaleina	25	370	NB-512	
Dureza Total	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	17.7	500	NB-512	
Dureza de Calcio	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	12.8	<500	NB-512	
Dureza de Magnesio	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Calculo	4.2	<500	NB-512	
Solidos Disueltos Totales	mg/1	Colorimetrico	<0.01	1000	NB-512	Ley 1333-RMCH
Manganeso Disuelto	mg/1 Mn	Método PAN	0.1	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Hierro Total Disuelto*	mg/1 Fe	FerroVer	0.02	0.3	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitratos	mg/1 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Reducción de cadmio	7.2	45	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitritos	mg/1 NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Método de diazotización	0.01	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Sulfatos	mg/1 SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	SulfáVer 4	2.0	400	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cromo Hexavalente Disuelto	mg/1 Cr <sup>+6</sup>	Método de la Difénilcarbácida	<0.01	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Fosforo Reactivo	mg/1 PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	PhosVer 3	0.08	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitrógeno Amoniacal	mg/1 NH <sub>3</sub> -N	Nesslerizacion	<0.06	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Amoniacal	mg/1 NH <sub>3</sub>	Nesslerizacion	<0.06	0.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Coliformes Totales	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	2	0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Escherichia Coli	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	0	0	NB-512	Ley 1333-RMCH

\*Corresponde a Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>

**NOTA:** (<) representa los valores menores al limite estimado de deteccion del equipo para cada metodo. Los metodos de analisis estan referenciados en el Standard Methods for the Examination of Water and water and wastewter, libro de metodos de referencia publicado conjuntamente por la american public Health Association (APHA), la American Water Works Association (AWWA) y la Water Environment Federation (WEF).

La metodología seguida para el análisis de los datos en cada uno de los pozos, es que se muestran los resultados de tres muestreos y se procede al análisis conjunto para ver si existe variación de los parámetros medidos en el período de muestreo.

Para el Barrio Nueva Esperanza durante los tres meses de muestreo, el análisis de olor y sabor que se efectuó mediante los sentidos del gusto y el olfato dio como resultado que no se detectaron ningún sabor ni olor en el agua del pozo analizado, por lo que cumple con los requerimientos exigidos por la normativa.

A simple vista, el agua del pozo se nota sin color y sin turbiedad, se ve completamente transparente; sin embargo, se realizó el análisis instrumental de color y turbiedad obteniendo resultados que cumplen con holgura con los valores de calidad establecidos por la ley 1333 del medio ambiente y la Norma boliviana NB 512. La conductividad eléctrica del pozo en los tres muestreos se mantiene constante y se encuentra dentro de los límites aceptables.

Se determinaron las siguientes características fisicoquímicas: conductividad eléctrica, contenido de cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, hierro, manganeso, cromo hexavalente, nitrógeno, fosfatos, sólidos totales, alcalinidad, dureza total, temperatura, pH.

Los valores de pH obtenidos en el pozo se mantuvieron en el rango de 7.20 y 7.23 unidades para los diferentes muestreos realizados, lo cual significa que los valores para esta variable están dentro de los establecidos por la normativa boliviana; la alcalinidad estuvo variando en cada uno de los muestreos el valor mínimo encontrado fue de 25 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , y el valor más alto fue de 28 mg/l  $\text{CaCO}_3$  estos valores se encuentran dentro de los límites aceptables de acuerdo a la normativa boliviana.

Con respecto a los sólidos totales, el agua del barrio Nueva Esperanza tiene un valor de  $<0.01\text{mg/l}$ , estos valores se encuentran dentro de los límites aceptables de acuerdo a la normativa boliviana.

En general, todos los parámetros fisicoquímicos del agua analizados, se encuentran dentro de los límites aceptables según la ley 1333 del medio ambiente “reglamento

de contaminación hídrica” y norma boliviana NB 512.

El conteo de coliformes totales a nivel general sobrepasó el límite de calidad establecido en la ley 1333 y la NB 512, lo que posiblemente indica algunos niveles de contaminación en las tuberías de transporte o accesorios que se tienen.

Los resultados obtenidos no muestran la presencia de E. coli en la mayoría de los puntos durante los meses de estudio.

**Tabla 4.1-4**  
**Análisis de Agua 15/12/15 Barrio Fortaleza**

Parámetro	Unidad	Metodo	Valor Obtenido	Valor Max Permitido	Norma de Referencia	Ley de Referencia
Temperatura Ambiente	°C	Potenciometria	28	Sin Referencia		
Temperatura del Agua	°C	Potenciometria	24.7	+/-3°C de receptor		Ley 1333-RMCH
Aspecto		Comparacion visual	Cristalino	Sin Referencia		
Olor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
Sabor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
pH ( 24.7 °C)		Electrometrico	6.86	6.0 - 9.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Conductividad ( 24.7°C )	µS/cm	Electrometrico	53	1500	NB-512	Ley 1333-RMCH
Turbiedad	UNT	Nefelometria	<0.01	5	NB-512	Ley 1333-RMCH
Color Aparente	UCV	APHA Pt-Co	4	15	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cloruros	mg/1 CL <sup>-</sup>	Reduccion con Nitrato de mercurio	1.2	250	NB-512	Ley 1333-RMCH
Alcalinidad Total	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Fenolftaleina	23	370	NB-512	
Dureza Total	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	18	500	NB-512	
Dureza de Calcio	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	11	<500	NB-512	
Dureza de Magnesio	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Calculo	7	<500	NB-512	
Solidos Disueltos Totales	mg/l	Colorimetrico	<0.01	1000	NB-512	Ley 1333-RMCH
Manganeso Disuelto	mg/l Mn	Método PAN	0.1	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Hierro Total Disuelto*	mg/l Fe	FerroVer	0,04	0.3	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitratos	mg/1 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Reducción de cadmio	6.4	45	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitritos	mg/1 NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Método de diazotización	0.015	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Sulfatos	mg/1 SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	SulfaVer 4	5	400	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cromo Hexavalente Disuelto	mg/1 Cr <sup>+6</sup>	Método de la Difénilcarbocida	0.01	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Fosforo Reactivo	mg/1 PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	PhosVer 3	0.18	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitrógeno Amoniacal	mg/1 NH <sub>3</sub> -N	Nesslerizacion	<0.06	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Amoniac	mg/1 NH <sub>3</sub>	Nesslerizacion	<0.06	0.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Coliformes Totales	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	12	0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Escherichia Coli	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	0	0	NB-512	Ley 1333-RMCH

\*Corresponde a Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>

**NOTA:** (<) representa los valores menores al limite estimado de deteccion del equipo para cada metodo. Los metodos de analisis estan referenciados en el Standard Methods for the Examination of Water and water and wastewter, libro de metodos de referencia publicado conjuntamente por la american public Health Association (APHA), la American Water Works Association (AWWA) y la Water Environment Federation (WEF).

**Tabla 4.1-5**  
**Análisis de Agua 12/01/15 Barrio Fortaleza**

Parámetro	Unidad	Metodo	Valor Obtenido	Valor Max Permitido	Norma de Referencia	Ley de Referencia
Temperatura Ambiente	°C	Potenciometria	28	Sin Referencia		
Temperatura del Agua	°C	Potenciometria	27.4	+/-3°C de receptor		Ley 1333-RMCH
Aspecto		Comparacion visual	Cristalino	Sin Referencia		
Olor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
Sabor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
pH ( 27.4 °C)		Electrometrico	6.94	6.0 - 9.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Conductividad ( 27.4°C )	µS/cm	Electrometrico	53	1500	NB-512	Ley 1333-RMCH
Turbiedad	UNT	Nefelometria	<0.01	5	NB-512	Ley 1333-RMCH
Color Aparente	UCV	APHA Pt-Co	4	15	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cloruros	mg/l Cl <sup>-</sup>	Reduccion con Nitrato de mercurio	1.2	250	NB-512	Ley 1333-RMCH
Alcalinidad Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Fenolftaleina	26	370	NB-512	
Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	18	500	NB-512	
Dureza de Calcio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	11	<500	NB-512	
Dureza de Magnesio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Calculo	7	<500	NB-512	
Solidos Disueltos Totales	mg/l	Colorimetrico	<0.01	1000	NB-512	Ley 1333-RMCH
Manganeso Disuelto	mg/l Mn	Método PAN	0.1	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Hierro Total Disuelto*	mg/l Fe	FerroVer	0.04	0.3	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Reducción de cadmio	6.4	45	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitritos	mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Método de diazotización	0.015	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	SulfaVer 4	5.00	400	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cromo Hexavalente Disuelto	mg/l Cr <sup>+6</sup>	Método de la Difénilcarbocida	0.01	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Fosforo Reactivo	mg/l PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	PhosVer 3	0.18	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitrógeno Amoniacal	mg/l NH <sub>3</sub> -N	Nesslerizacion	<0.06	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Amoniac	mg/l NH <sub>3</sub>	Nesslerizacion	<0.06	0.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Coliformes Totales	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	13	0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Escherichia Coli	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	0	0	NB-512	Ley 1333-RMCH

\*Corresponde a Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>

**NOTA:** (<) representa los valores menores al limite estimado de deteccion del equipo para cada metodo. Los metodos de analisis estan referenciados en el Standard Methods for the Examination of Water and water and wastewter, libro de metodos de referencia publicado conjuntamente por la american public Health Association (APHA), la American Water Works Association (AWWA) y la Water Environment Federation (WEF).

**Tabla 4.1-6**  
**Análisis de Agua 2/02/15 Barrio Fortaleza**

Parámetro	Unidad	Metodo	Valor Obtenido	Valor Max Permitido	Norma de Referencia	Ley de Referencia
Temperatura Ambiente	°C	Potenciometria	28	Sin Referencia		
Temperatura del Agua	°C	Potenciometria	27.2	+/-3°C de receptor		Ley 1333-RMCH
Aspecto		Comparacion visual	Cristalino	Sin Referencia		
Olor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
Sabor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
pH ( 27.2 °C)		Electrometrico	6.93	6.0 - 9.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Conductividad ( 27.2°C )	µS/cm	Electrometrico	53	1500	NB-512	Ley 1333-RMCH
Turbiedad	UNT	Nefelometria	<0.01	5	NB-512	Ley 1333-RMCH
Color Aparente	UCV	APHA Pt-Co	4	15	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cloruros	mg/l Cl <sup>-</sup>	Reduccion con Nitrato de mercurio	1.2	250	NB-512	Ley 1333-RMCH
Alcalinidad Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Fenolftaleina	24	370	NB-512	
Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	18	500	NB-512	
Dureza de Calcio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	11	<500	NB-512	
Dureza de Magnesio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Calculo	7	<500	NB-512	
Solidos Disueltos Totales	mg/l	Colorimetrico	<0.01	1000	NB-512	Ley 1333-RMCH
Manganeso Disuelto	mg/l Mn	Método PAN	0.1	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Hierro Total Disuelto*	mg/l Fe	FerroVer	0.04	0.3	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Reducción de cadmio	6.4	45	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitritos	mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Método de diazotización	0.015	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	SulfaVer 4	5	400	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cromo Hexavalente Disuelto	mg/l Cr <sup>+6</sup>	Método de la Difénilcarbocida	0.01	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Fosforo Reactivo	mg/l PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	PhosVer 3	0.18	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitrógeno Amoniacal	mg/l NH <sub>3</sub> -N	Nesslerizacion	<0.06	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Amoniacal	mg/l NH <sub>3</sub>	Nesslerizacion	<0.06	0.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Coliformes Totales	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	12	0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Escherichia Coli	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	0	0	NB-512	Ley 1333-RMCH

\*Corresponde a Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>

**NOTA:** (<) representa los valores menores al limite estimado de deteccion del equipo para cada metodo. Los metodos de analisis estan referenciados en el Standard Methods for the Examination of Water and water and wastewter, libro de metodos de referencia publicado conjuntamente por la american public Health Association (APHA), la American Water Works Association (AWWA) y la Water Environment Federation (WEF).

Para el Barrio Fortaleza durante los tres meses de muestreo el análisis de olor y sabor que se efectuó mediante los sentidos del gusto y el olfato dio como resultado que no se detectaron ningún sabor ni olor en el agua del pozo, analizado por lo que cumple con los requerimientos exigidos por la normativa.

A simple vista, el agua del pozo se nota sin color y sin turbiedad, se ve completamente transparente; sin embargo, se realizó el análisis instrumental de color y turbiedad obteniendo resultados que cumplen con holgura con los valores de calidad establecidos por la ley 1333 del medio ambiente y la Norma boliviana NB 512. La conductividad eléctrica del pozo en los tres muestreos se mantiene constante y se encuentra dentro de los límites aceptables.

Se determinaron las características fisicoquímicas siguientes: conductividad eléctrica, contenido de cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, hierro, manganeso, cromo hexavalente, nitrógeno, fosfatos, sólidos totales, alcalinidad, dureza total, temperatura, pH.

Los valores de pH obtenidos en el pozo se mantuvieron en el rango de 6.86 y 6.94 unidades para los diferentes muestreos realizados, lo cual significa que los valores para esta variable están dentro de los establecidos por la normativa boliviana, la alcalinidad estuvo variando en cada uno de los muestreos; el valor mínimo encontrado es de 23 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , y el valor más alto fue de 26mg/l  $\text{CaCO}_3$  estos valores se encuentran dentro de los límites aceptables de acuerdo a la normativa boliviana.

Con respecto a los sólidos totales, el agua del barrio Fortaleza tiene un valor de <0.01mg/l; estos valores se encuentran dentro de los límites aceptables de acuerdo a la normativa boliviana.

En general, todos los parámetros fisicoquímicos del agua analizados, se encuentran dentro de los límites aceptables según la ley 1333 del medio ambiente “reglamento de contaminación hídrica” y norma boliviana NB 512.

El conteo de coliformes totales a nivel general sobrepasó el límite de calidad

establecido en la ley 1333 y la NB 512, lo que posiblemente indica algunos niveles de contaminación en las tuberías de transporte o accesorios que se tienen.

Los resultados obtenidos no muestran la presencia de *E. coli* en la mayoría de los puntos durante los meses de estudio.

**Tabla 4.1-7**  
**Análisis de Agua 15/1215 Barrio26 de Agosto**

Parámetro	Unidad	Metoto	Valor Obtenido	Valor Max Permitido	Norma de Referencia	Ley de Referencia
Temperatura Ambiente	°C	Potenciometria	29	Sin Referencia		
Temperatura del Agua	°C	Potenciometria	21	+/-3°C de receptor		Ley 1333-RMCH
Aspecto		Comparacion visual	Cristalino	Sin Referencia		
Olor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
Sabor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
pH ( 21 °C)		Electrometrico	7.46	6.0 - 9.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Conductividad ( 21°C )	µS/cm	Electrometrico	54	1500	NB-512	Ley 1333-RMCH
Turbiedad	UNT	Nefelometria	<2	5	NB-512	Ley 1333-RMCH
Color Aparente	UCV	APHA Pt-Co	4	15	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cloruros	mg/1 CL <sup>-</sup>	Reduccion con Nitrato de mercurio	2	250	NB-512	Ley 1333-RMCH
Alcalinidad Total	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Fenoltaleina	3	370	NB-512	
Dureza Total	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	184	500	NB-512	
Dureza de Calcio	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	90	<500	NB-512	
Dureza de Magnesio	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Calculo	94	<500	NB-512	
Solidos Disueltos Totales	mg/l	Colorimetrico	15	1000	NB-512	Ley 1333-RMCH
Manganeso Disuelto	mg/l Mn	Método PAN	0.1	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Hierro Total Disuelto*	mg/l Fe	FerroVer	0.1	0.3	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitratos	mg/1 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Reducción de cadmio	2.1	45	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitritos	mg/1 NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Método de diazotización	0.008	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Sulfatos	mg/1 SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	SulfaVer 4	1	400	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cromo Hexavalente Disuelto	mg/1 Cr <sup>+6</sup>	Método de la Difénilcarbácida	0,01	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Fosforo Reactivo	mg/1 PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	PhosVer 3	0.14	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitrógeno Amoniacal	mg/1 NH <sub>3</sub> -N	Nesslerizacion	<0.06	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Amoniac	mg/1 NH <sub>3</sub>	Nesslerizacion	<0.06	0.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Coliformes Totales	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	8	0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Escherichia Coli	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	0	0	NB-512	Ley 1333-RMCH

\*Corresponde a Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>

**NOTA:** (<) representa los valores menores al limite estimado de deteccion del equipo para cada metodo. Los metodos de analisis estan referenciados en el Standard Methods for the Examination of Water and water and wastewter, libro de metodos de referencia publicado conjuntamente por la american public Health Association (APHA), la American Water Works Association (AWWA) y la Water Environment Federation (WEF).

**Tabla 4.1-8**  
**Análisis de Agua 12/01/15 Barrio26 de Agosto**

Parámetro	Unidad	Metoto	Valor Obtenido	Valor Max Permitido	Norma de Referencia	Ley de Referencia
Temperatura Ambiente	°C	Potenciometria	29	Sin Referencia		
Temperatura del Agua	°C	Potenciometria	22	+/-3°C de receptor		Ley 1333-RMCH
Aspecto		Comparacion visual	Cristalino	Sin Referencia		
Olor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
Sabor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
pH ( 22 °C)		Electrometrico	7.40	6.0 - 9.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Conductividad ( 22°C )	µS/cm	Electrometrico	54	1500	NB-512	Ley 1333-RMCH
Turbiedad	UNT	Nefelometria	2	5	NB-512	Ley 1333-RMCH
Color Aparente	UCV	APHA Pt-Co	4	15	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cloruros	mg/l Cl <sup>-</sup>	Reduccion con Nitrato de mercurio	2	250	NB-512	Ley 1333-RMCH
Alcalinidad Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Fenoltaleina	4	370	NB-512	
Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	184	500	NB-512	
Dureza de Calcio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	90	<500	NB-512	
Dureza de Magnesio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Calculo	94	<500	NB-512	
Solidos Disueltos Totales	mg/l	Colorimetrico	15	1000	NB-512	Ley 1333-RMCH
Manganeso Disuelto	mg/l Mn	Método PAN	0.1	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Hierro Total Disuelto*	mg/l Fe	FerroVer	0.1	0.3	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Reducción de cadmio	2.1	45	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitritos	mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Método de diazotización	0.008	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	SulfaVer 4	1	400	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cromo Hexavalente Disuelto	mg/l Cr <sup>+6</sup>	Método de la Difénilcarbácida	0.01	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Fosforo Reactivo	mg/l PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	PhosVer 3	0.14	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitrógeno Amoniacal	mg/l NH <sub>3</sub> -N	Nesslerizacion	<0.06	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Amoniac	mg/l NH <sub>3</sub>	Nesslerizacion	<0.06	0.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Coliformes Totales	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	8	0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Escherichia Coli	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	0	0	NB-512	Ley 1333-RMCH

\*Corresponde a Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>

**NOTA:** (<) representa los valores menores al limite estimado de deteccion del equipo para cada metodo. Los metodos de analisis estan referenciados en el Standard Methods for the Examination of Water and water and wastewter, libro de metodos de referencia publicado conjuntamente por la american public Health Association (APHA), la American Water Works Association (AWWA) y la Water Environment Federation (WEF).

**Tabla 4.1-9**  
**Análisis de Agua 2/02/15 Barrio 26 de Agosto**

Parámetro	Unidad	Metoto	Valor Obtenido	Valor Max Permitido	Norma de Referencia	Ley de Referencia
Temperatura Ambiente	°C	Potenciometria	29	Sin Referencia		
Temperatura del Agua	°C	Potenciometria	18	+/-3°C de receptor		Ley 1333-RMCH
Aspecto		Comparacion visual	Cristalino	Sin Referencia		
Olor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
Sabor		Sensorial	Ninguno	Ninguno		Ley 1333-RMCH
pH ( 18 °C)		Electrometrico	7.43	6.0 - 9.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Conductividad ( 18°C )	µS/cm	Electrometrico	54	1500	NB-512	Ley 1333-RMCH
Turbiedad	UNT	Nefelometria	2	5	NB-512	Ley 1333-RMCH
Color Aparente	UCV	APHA Pt-Co	4	15	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cloruros	mg/1 CL <sup>-</sup>	Reduccion con Nitrato de mercurio	2	250	NB-512	Ley 1333-RMCH
Alcalinidad Total	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Fenoltaleina	2	370	NB-512	
Dureza Total	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	184	500	NB-512	
Dureza de Calcio	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Titulometrico de EDTA	90	<500	NB-512	
Dureza de Magnesio	mg/1 CaCO <sub>3</sub>	Calculo	94	<500	NB-512	
Solidos Disueltos Totales	mg/l	Colorimetrico	15	1000	NB-512	Ley 1333-RMCH
Manganeso Disuelto	mg/l Mn	Método PAN	0.1	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Hierro Total Disuelto*	mg/l Fe	FerroVer	0,1	0.3	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitratos	mg/1 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Reducción de cadmio	2.1	45	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitritos	mg/1 NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Método de diazotización	0.008	0.1	NB-512	Ley 1333-RMCH
Sulfatos	mg/1 SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	SulfaVer 4	1	400	NB-512	Ley 1333-RMCH
Cromo Hexavalente Disuelto	mg/1 Cr <sup>+6</sup>	Método de la Difénilcarbácida	0,01	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Fosforo Reactivo	mg/1 PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	PhosVer 3	0.14	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Nitrógeno Amoniacal	mg/1 NH <sub>3</sub> -N	Nesslerizacion	<0.06	0.05	NB-512	Ley 1333-RMCH
Amoniac	mg/1 NH <sub>3</sub>	Nesslerizacion	<0.06	0.0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Coliformes Totales	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	6	0	NB-512	Ley 1333-RMCH
Escherichia Coli	UFC/100 ml	Filtrado de membrana	0	0	NB-512	Ley 1333-RMCH

\*Corresponde a Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>

**NOTA:** (<) representa los valores menores al limite estimado de deteccion del equipo para cada metodo. Los metodos de analisis estan referenciados en el Standard Methods for the Examination of Water and water and wastewter, libro de metodos de referencia publicado conjuntamente por la american public Health Association (APHA), la American Water Works Association (AWWA) y la Water Environment Federation (WEF).

Para el Barrio 26 de Agosto durante los tres meses de muestreo el análisis de olor y sabor que se efectuó mediante los sentidos del gusto y el olfato dio como resultado que no se detectó ningún sabor ni olor en el agua del pozo analizado por lo que cumple con los requerimientos exigidos por la normativa.

A simple vista, el agua del pozo se nota sin color y sin turbiedad, se ve completamente transparente; sin embargo se realizó el análisis instrumental de color y turbiedad obteniendo resultados que cumplen con holgura con los valores de calidad establecidos por la ley 1333 del medio ambiente y la Norma boliviana NB 512. La conductividad eléctrica del pozo en los tres muestreos se mantiene constante y se encuentra dentro de los límites aceptables.

Se determinaron las características fisicoquímicas siguientes: conductividad eléctrica, contenido de cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, hierro, manganeso, cromo hexavalente, nitrógeno, fosfatos, sólidos totales, alcalinidad, dureza total, temperatura, pH.

Los valores de pH obtenidos en el pozo se mantuvieron en el rango de 7.40 y 7.46 unidades para los diferentes muestreos realizados, lo cual significa que los valores para esta variable están dentro de los establecidos por la normativa boliviana; la alcalinidad estuvo variando en cada uno de los muestreos; el valor mínimo encontrado fue de 2 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , y el valor más alto fue de 28 mg/l  $\text{CaCO}_3$  estos valores se encuentran dentro de los límites aceptables de acuerdo a la normativa boliviana.

Con respecto a los sólidos totales, el agua del barrio 26 de Agosto tiene un valor constante de 15 mg/l; estos valores se encuentran dentro de los límites aceptables de acuerdo a la normativa boliviana.

En general, todos los parámetros fisicoquímicos del agua analizados, se encuentran dentro de los límites aceptables según la ley 1333 del medio ambiente “reglamento de contaminación hídrica” y norma boliviana NB 512.

El conteo de coliformes totales a nivel general sobrepasó el límite de calidad

establecido en la ley 1333 y la NB 512, lo que posiblemente indica algunos niveles de contaminación en las tuberías de transporte o accesorios que se tienen.

Los resultados obtenidos no muestran la presencia de *E. coli* en la mayoría de los puntos durante los meses de estudio.

En el marco teórico pág. 15 y el anexo A-1 se encuentran las especificaciones físicas, químicas y bacteriológicas para el agua potable, definidas por la Ley 1333 de medio ambiente (Reglamento en materia de contaminación hídrica) y la Norma Boliviana NB 512. Estos valores se comparan con los correspondientes obtenidos en los análisis efectuados en el agua de los 3 pozos y que se presentan en las tablas 4.1-1, 4.1-2, 4.1-3, 4.1-4, 4.1-5, 4.1-6, 4.1-7, 4.1-8, 4.1-9.

#### **4.2. Identificación de las Posibles Fuentes de Contaminación de del Agua Subterránea de los Barrios**

Si bien no se logró evidenciar físicamente fuentes de contaminación puntual y/o difusa en los pozos de abastecimiento, según los análisis de laboratorio realizados para el agua de los tres pozos, se han identificado niveles reducidos de contaminación microbiológica, pero en general se tiene que el agua proveniente de los acuíferos es de buena calidad, requiriendo un tratamiento antiséptico para garantizar su potabilidad.

Sin embargo, existe una alerta en la distribución del agua por la red debido a que se tienen que mejorar los procesos de manipulación, control y seguimiento a la calidad del agua para consumo, por cuanto según los análisis bacteriológicos realizados, estos indican la presencia de Coliformes totales, lo cual puede ser resultado de la formación de biopelículas en la red, con algún grado mínimo de contaminación, las cuales podrían estar asilando a este tipo de microorganismos

#### **4.3. Categorización de los Cuerpos de Agua Subterránea de los Barrios**

Luego de tener todos los valores de las características químicas más importantes para la determinación de la calidad del agua para consumo humano se procedió a la clasificación de los cuerpos de agua comparando los valores obtenidos con los

valores máximos admisibles con la propuesta de la ley 1333 del medio ambiente “reglamento en materia de contaminación hídrica”. Tanto los resultados como los parámetros establecidos por la ley 1333 se presentan en las tablas 4.3-1, 4.3-2, 4.3-3 de esta sección.

**Tabla 4.3-1**  
**Clasificación de Cuerpos de Agua Barrio Nueva Esperanza**

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido 1 muestreo	Valor Obtenido 2 muestreo	Valor Obtenido 3 muestreo	Parámetros máximos admisibles Agua clase “A”
Temperatura del Agua	°C	15,5	15.4	15.6	+/-3 °C de C. Receptor
pH (°C) *		7,20	7.23	7.22	6.0 a 8.5
Turbiedad	UNT	0.01	0.01	0.01	< 10
Color Aparente	UCV	4	4	4	< 11
Cloruros	mg/l Cl <sup>-</sup>	1.2	1.2	1.2	250
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	1000
Manganeso Disuelto	mg/l Mn	0.1	0.1	0.1	0.5
Hierro Total Disuelto**	mg/l Fe	0.02	0.02	0.02	0.3
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7.2	7.2	7.2	20
Nitritos	mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.01	0.01	0.01	1
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2	2	2	300
Cromo Hexavalente Disuelto	mg/l Cr <sup>+6</sup>	0	0	0	0.05
Fósforo Reactivo	mg/l PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0.08	0.08	0.08	0.4
Nitrógeno Amoniacal	mg/l NH <sub>3</sub> -N	0	0	0	5
Amoniaco	mg/l NH <sub>3</sub>	0	0	0	0.05
Coliformes Totales	UFC/100 ml	4	5	2	0
Escherichia Coli	UFC/100 ml	0	0	0	0

\* pH medido a temperatura del agua.

\*\* Corresponde a Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>

**Nota:** los valores referenciados son tomados de la ley 1333 del Medio Ambiente “Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica” Límites Máximos Admisibles de Parámetros en Cuerpos Receptores.

De acuerdo a los valores de la Tabla 4.3-1, tenemos que las aguas del pozo que abastece al Barrio Nueva Esperanza, luego de la eliminación de los coliformes presentes, corresponden a la categoría A.

**Tabla 4.3-2**  
**Clasificación de Cuerpos de Agua Barrio Fortaleza**

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido 1 muestreo	Valor Obtenido 2 muestreo	Valor Obtenido 3 muestreo	Parámetros máximos admisibles Agua clase "A"
Temperatura del Agua	°C	24.7	28.4	27.2	+/-3 °C de C. Receptor
pH (°C) *		6.94	7.23	6.93	6.0 a 8.5
Turbiedad	UNT	<0.01	<0.01	<0.01	< 10
Color Aparente	UCV	4	4	4	< 11
Cloruros	mg/l Cl <sup>-</sup>	1.2	1.2	1.2	250
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	1000
Manganeso Disuelto	mg/l Mn	0.1	0.1	0.1	0.5
Hierro Total Disuelto**	mg/l Fe	0.04	0.04	0.04	0.3
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6.4	6.4	6.4	20
Nitritos	mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.015	0.015	0.015	1
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	5	5	5	300
Cromo Hexavalente Disuelto	mg/l Cr <sup>+6</sup>	0.01	0.01	0.01	0.05
Fósforo Reactivo	mg/l PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0.18	0.18	0.18	0.4
Nitrógeno Amoniacal	mg/l NH <sub>3</sub> -N	0	0	0	5
Amoniaco	mg/l NH <sub>3</sub>	0	0	0	0.05
Coliformes Totales	UFC/100 ml	12	13	12	0
Escherichia Coli	UFC/100 ml	0	0	0	0

\* pH medido a temperatura del agua.

\*\* Corresponde a Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>

**Nota:** los valores referenciados son tomados de la ley 1333 del Medio Ambiente "Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica" Límites Máximos Admisibles de Parámetros en Cuerpos Receptores.

De acuerdo a los valores de la Tabla 4.3-2, tenemos que las aguas del pozo que abastece al Barrio Nueva Fortaleza, luego de la eliminación de los coliformes presentes, corresponden a la categoría A.

**Tabla 4.3-3**  
**Clasificación de Cuerpos de Agua Barrio 26 de Agosto**

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido 1 muestreo	Valor Obtenido 2 muestreo	Valor Obtenido 3 muestreo	Parámetros máximos admisibles Agua clase "A"
Temperatura del Agua	°C	21	22	18	+/-3 ° C de C. Receptor
pH (°C) *		7.46	7.40	7.43	6.0 a 8.5
Turbiedad	UNT	<2	2	2	< 10
Color Aparente	UCV	4	4	4	< 11
Cloruros	mg/l Cl <sup>-</sup>	2	2	2	250
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	15	15	15	1000
Manganeso Disuelto	mg/l Mn	0.1	0.1	0.1	0.5
Hierro Total Disuelto**	mg/l Fe	0.1	0.1	0.1	0.3
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.1	2.1	2.1	20
Nitritos	mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.008	0.008	0.008	1
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1	1	1	300
Cromo Hexavalente Disuelto	mg/l Cr <sup>+6</sup>	0.01	0.01	0.01	0.05
Fósforo Reactivo	mg/l PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0.14	0.14	0.14	0.4
Nitrógeno Amoniacal	mg/l NH <sub>3</sub> -N	0	0	0	5
Amoniaco	mg/l NH <sub>3</sub>	0	0	0	0.05
Coliformes Totales	UFC/100 ml	4	5	4	0
Escherichia Coli	UFC/100 ml	0	0	0	0

\* pH medido a temperatura del agua.

\*\* Corresponde a Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>

**Nota:** los valores referenciados son tomados de la ley 1333 del Medio Ambiente "Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica" Límites Máximos Admisibles de Parámetros en Cuerpos Receptores.

De acuerdo a los valores de la Tabla 4.3-3, tenemos que las aguas del pozo que abastece al Barrio Nueva Fortaleza, luego de la eliminación de los coliformes presentes, corresponden a la categoría A.

Durante los tres muestreos realizados a cada barrio en diferentes épocas se puede apreciar que no existen cambios significativos en la composición química y bacteriológica del agua; de acuerdo a la comparación con los parámetros fijados por la ley 1333 se puede apreciar que el agua de los tres barrios en estudio son de clase “A” ya que los valores obtenidos están debajo de los máximos permitidos para una clasificación de agua tipo “A”

#### **4.4. Selección de la alternativa más adecuada para garantizar la potabilidad del agua subterránea a ser distribuida.**

La primera etapa fue la determinación de las condiciones actuales del agua, para lo cual se tomaron muestras en cada uno de los pozos. Esto se hizo durante tres meses que abarcan la salida de la época de estiaje y la entrada a la época de las lluvias, a razón de una toma por mes, de manera aleatoria; en consecuencia, se logró determinar que las condiciones de cada pozo fueron casi constantes a lo largo del tiempo de estudio.

A partir de los resultados de los análisis, se realizó la selección de la alternativa más idónea para garantizar la potabilidad del agua.

Según la ley 1333 del Medio Ambiente “reglamento en materia de contaminación hídrica” Capítulo III establece lo siguiente:

CLASE “A” Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos verificados por laboratorio.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la caracterización del agua cruda de los pozos en estudio, se obtuvo que estos cumplen con los parámetros fisicoquímicos establecidos en la en la Ley 1333 del Medio Ambiente “Reglamento en materia de contaminación hídrica” para un agua de clase A por lo que para garantizar la

potabilidad en su distribución es necesaria una previa desinfección.

#### **4.5. Elección del tipo de desinfección y del desinfectante**

Se optó por la cloración porque es un mecanismo de desinfección de mayor aplicación en los sistemas de abastecimiento de agua, debido a que:

- Es accesible
- Es económico en relación a otros productos
- Es eficaz.
- Es manipulable por la población beneficiaria
- Tiene alta capacidad oxidante que es el mecanismo de destrucción de la materia orgánica
- Tiene potencia germicida de espectro amplio
- Tiene propiedades residuales.
- El equipo para su dosificación es usualmente sencillo, confiable y de bajo costo.
- Además, en el ámbito de pequeñas comunidades hay varios dosificadores de “tecnología apropiada” que resultan fáciles de usar y de aceptar por los operadores locales.
- Los productos basados en el cloro se consiguen fácilmente

La elección del desinfectante se realizó utilizando los siguientes criterios:

- Disponibilidad del desinfectante
- Accesibilidad económica
- Efectividad
- Facilidad de Manejo

De acuerdo a estos criterios, se optó por el hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ) o lavandina común, porque es el más accesible y de bajo costo en el mercado local.

#### **4.6. Cloración**

Para realizar la valoración de la efectividad del cloro como desinfectante, en el laboratorio se realizó el siguiente procedimiento metodológico:

- i. Estandarización de solución de tiosulfato de sodio
- ii. Cálculo del Factor Volumétrico para el Tiosulfato de Sodio

- iii. Determinación de Cloro Activo en Hipoclorito de Calcio
- iv. Determinación de la Demanda de Cloro
- v. Estimación de la Constante de Reacción del Cloro con el Volumen de Agua “k”
- vi. Cloración en Línea

#### 4.6.1. Estandarización de Solución de Tiosulfato de Sodio

Durante la estandarización de solución de tiosulfato de sodio se realizó cinco titulaciones obteniéndose los datos que se muestran en la tabla 4.6.1-1:

**Tabla 4.6.1-1**  
**Volumen gastado en la titulación de Estandarización de la Solución de Tiosulfato de Sodio**

N	V <sub>Gastado</sub> (ml)
1	8.90
2	8.90
3	8.80
4	8.90
5	8.90

FUENTE: Elaboración Propia

Con la herramienta Estadística Descriptiva de SPSS Statistics se verificó el promedio obtenido manualmente de la estandarización y se conocieron algunas variables estadísticas relacionadas con el método que se muestran en la tabla 4.6.1-2:

**Tabla 4.6.1-2**  
**VARIABLES ESTADÍSTICAS DE LA ESTANDARIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE TIOSULFATO DE SODIO**

<b>Estandarización de solución de Tiosulfato de sodio</b>	
Medidas Válidas	5.000
Medidas Perdidas	0.000
Media	8.880
Mediana	8.900
Moda	8.900
Desviación típica	0.045
Varianza	0.002
Rango	0.100
Mínimo	8.800
Máximo	8.900

FUENTE: Elaboración Propia

#### 4.6.1.1. Cálculo del Factor Volumétrico para el Tiosulfato de Sodio

Tomando el volumen del valor medio como el volumen de tiosulfato gastado en la valoración:

$$V_{\text{medio}} = 8.88 \text{ ml}$$

Aplicando la ecuación:

$$N_{\text{Real}} = \frac{1}{V} \quad (13)$$

$$f = \frac{N_{\text{Real}}}{N_{\text{Supuesta}}} \quad (14)$$

$f$  = Factor volumétrico de la solución

$V$  = Volumen de tiosulfato gastado en la valoración en ml

Donde se tiene el factor volumétrico:

$$f=1.1261$$

#### 4.6.2. Determinación de Cloro Activo en Hipoclorito de Calcio

En la determinación de cloro activo en hipoclorito de calcio al igual que en la estandarización de solución de tiosulfato de sodio se realizó cinco titulaciones obteniéndose los datos que se muestran en la tabla 4.6.2-1:

**Tabla 4.6.2-1**  
**Volumen gastado en la titulación para la Determinación de Cloro Activo en Hipoclorito de Calcio**

N	V <sub>Gastado</sub> (ml)
1	17.90*
2	19.20
3	19.40
4	19.60
5	19.50

FUENTE: Elaboración Propia

**Nota:** \* se depuró el dato por diferencia con otras medidas.

Con la herramienta Estadística Descriptiva de SPSS Statistics se verificó el promedio para la determinación de cloro activo en HTH y se conocieron algunas variables estadísticas relacionadas con el método. Debido a que el primer valor de la titulación se encuentra disperso se lo eliminó de tal manera de tener una mejor exactitud y precisión en los datos que se muestran en la tabla 4.6.2-2:

**Tabla 4.6.2-2**  
**Variables estadísticas de la Determinación de Cloro Activo en HTH**

<b>Determinación de Cloro Activo en HTH</b>	
Medidas Válidas	4.000
Medidas Perdidas	0.000
Media	19.425
Mediana	19.450
Moda	19.200
Desviación típica	0.1708
Varianza	0.0292
Rango	0.4000
Mínimo	19.200
Máximo	19.600

**FUENTE:** Elaboración Propia

Tomando el volumen del valor medio como el volumen gastado en la titulación:

$$V_{\text{medio}} = 19.425 \text{ ml}$$

Aplicando la ecuación:

$$\%_{\text{Cloro-Activo}} = \frac{V \cdot N \cdot 40 \cdot 0.03545}{m_{\text{Muestra}}} \cdot 100 \quad (15)$$

$$\%_{\text{Cloro Activo}} = 62.04$$

Con el porcentaje cloro activo determinado se procede a preparar soluciones de hipoclorito de calcio de 100 mg/l.

#### **4.6.3. Demanda de Cloro**

Se realizaron 3 demandas de cloro tomando concentraciones desde 0.2 mg/L hasta 1.6 mg/L y a cada dosis se le hizo un promedio de cloro residual libre cuyos resultados se observan en las tablas 4.6.3-1, 4.6.3-2, 4.6.3-3:

**Tabla 4.6.3-1**  
**Demanda de Cloro Barrio Fortaleza**

<b>Cloro Añadido (mg/l)</b>	<b>Cloro residual (mg/l)</b>	<b>Demanda de Cloro (mg/l)</b>	<b>Olor</b>	<b>Sabor</b>
0.00	0.00	0.00	no	no
0.20	0.05	0.15	no	no
0.40	0.20	0.20	no	no
0.60	0.18	0.42	no	no
0.80	0.63	0.17	no	no
1.00	0.82	0.18	no	no
1.20	1.16	0.04	no	sí
1.40	1.36	0.04	no	sí
1.60	1.53	0.07	sí	sí

**FUENTE:** Elaboración Propia

**Nota:** el valor de cloro residual libre en el punto de quiebre es 0.18 mg/l.

**Tabla 4.6.3-2**  
**Demanda de Cloro Barrio Nueva Esperanza**

<b>Cloro Añadido (mg/l)</b>	<b>Cloro residual (mg/l)</b>	<b>Demanda de Cloro (mg/l)</b>	<b>Olor</b>	<b>Sabor</b>
0.00	0.00	0.00	no	no
0.20	0.04	0.16	no	no
0.40	0.23	0.17	no	no
0.60	0.22	0.38	no	no
0.80	0.62	0.18	no	no
1.00	0.91	0.09	no	no
1.20	1.09	0.11	no	sí
1.40	1.31	0.09	no	sí
1.60	1.52	0.08	sí	sí

**FUENTE:** Elaboración Propia

**Nota:** el valor de cloro residual libre en el punto de quiebre es 0.22 mg/l.

**Tabla 4.6.3-3**  
**Demanda de Cloro Barrio 26 de Agosto**

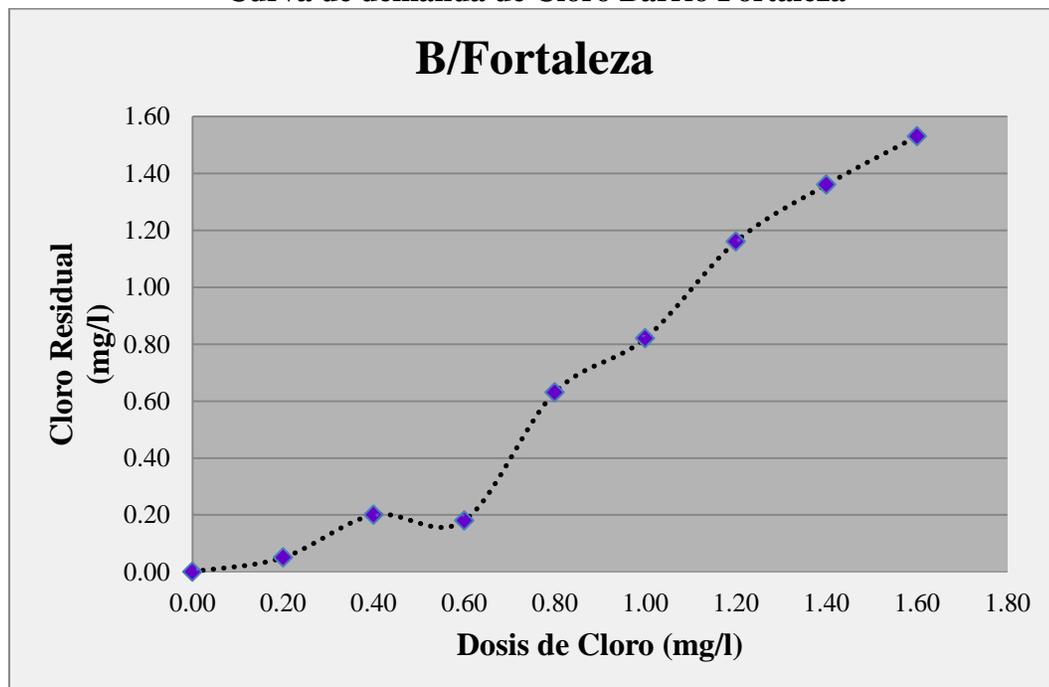
Cloro Añadido (mg/l)	Cloro residual (mg/l)	Demanda de Cloro (mg/l)	Olor	Sabor
0.00	0.00	0.00	no	no
0.20	0.03	0.17	no	no
0.40	0.08	0.32	no	no
0.60	0.15	0.45	no	no
0.80	0.38	0.42	no	no
1.00	0.61	0.39	no	no
1.20	0.81	0.39	no	no
1.40	0.97	0.43	no	no
1.60	1.16	0.44	sí	sí

FUENTE: Elaboración Propia

Nota: el valor de cloro residual libre en el punto de quiebre se obtendrá por ajuste de curvas.

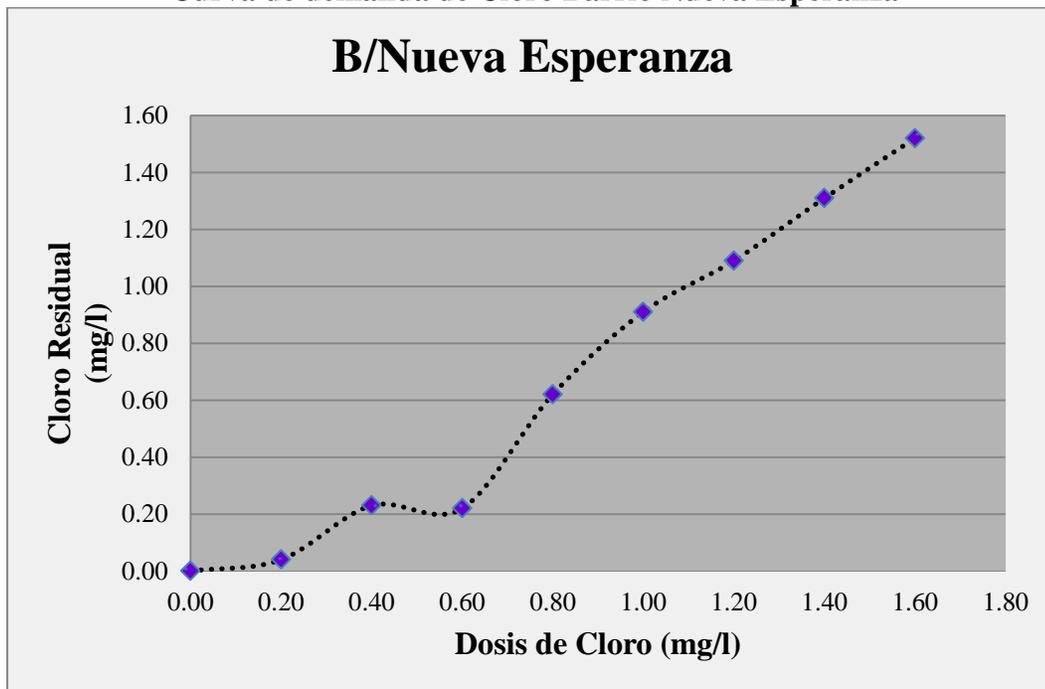
Con estos datos se construyó las gráficas que se muestran en las figuras 4.6.3-1, 4.6.3-2, 4.6.3-3:

**Gráfico 4.6.3-1**  
**Curva de demanda de Cloro Barrio Fortaleza**



FUENTE: Elaboración Propia

Gráfico 4.6.3-2  
Curva de demanda de Cloro Barrio Nueva Esperanza



FUENTE: Elaboración Propia

Gráfico 4.6.3-3  
Curva de demanda de Cloro Barrio 26 de Agosto



FUENTE: Elaboración Propia

El agua de los barrios en estudio presenta buenas características físicas (turbiedad, color, sabor y olor) lo cuál permiten inferir que la demanda de cloro sea baja.

En la curva de demanda de cloro ideal el cloro empieza oxidando los agentes reductores, después se observa un incremento debido a que el cloro reacciona con todo el amoniaco y las aminos orgánicas presentes para formar un residual de cloro combinado. Al terminar esta reacción se empieza a producir residual de cloro libre el cual oxida las cloraminas generando un descenso en la curva, a partir de este momento todo el cloro agregado desarrolla un residual de cloro libre presentando otro incremento. Este punto se conoce como punto de quiebre siendo el punto en el cual la oxidación de los productos del amoniaco es completa, es decir, es el punto donde se determina la demanda de cloro.

En el gráfico 4.6.3-3, la curva de demanda de cloro tiende a un comportamiento lineal, diferente al comportamiento ideal descrito anteriormente, esto pudo ser ocasionado por los bajos niveles de amoniaco y aminos orgánicas presentes en el agua lo que genera poco cloro combinado y por lo tanto no se observe el incremento característico en la curva y no se pueda determinar el punto de quiebre que permite obtener la demanda de cloro. Por lo cual, esta se obtuvo realizando el promedio de las demandas obtenidas en la tabla 4.6.3-3, teniendo en cuenta que los datos no están muy alejados entre ellos. De acuerdo a esto la demanda de cloro fue 0.35 mg/l.

Con la herramienta Estadística Descriptiva SPSS Statistics se verificó el promedio obtenido manualmente de la demanda y se conocieron algunas otras variables estadísticas relacionadas con el método.

**Tabla 4.6.3-4**  
**Variables estadísticas datos Barrio 26 de Agosto**

<b>Estadísticos</b>		
<b>VOLUMEN</b>		
<b>N°</b>	<b>Válidos</b>	5
	<b>Perdidos</b>	0
<b>Media</b>		0.350
<b>Error típ. de la media</b>		0.049
<b>Mediana</b>		0.390
<b>Moda</b>		0.170
<b>Desv. Estándar</b>		0.112
<b>Varianza</b>		0.012
<b>Rango</b>		0.280
<b>Mínimo</b>		0.170
<b>Máximo</b>		0.450

FUENTE: Elaboración Propia

La determinación de la demanda de cloro permite calcular la cantidad de cloro para diferentes caudales y residuales.

#### **4.6.4. Estimación de la Constante de Reacción del Cloro con el Volumen de Agua “k”**

En la tabla 4.6.4-1 se se muestran los resultados del decaimiento del cloro en función del tiempo.

**Tabla 4.6.4-1**  
**Decaimiento de cloro en una muestra de agua tomada de Red de distribución**

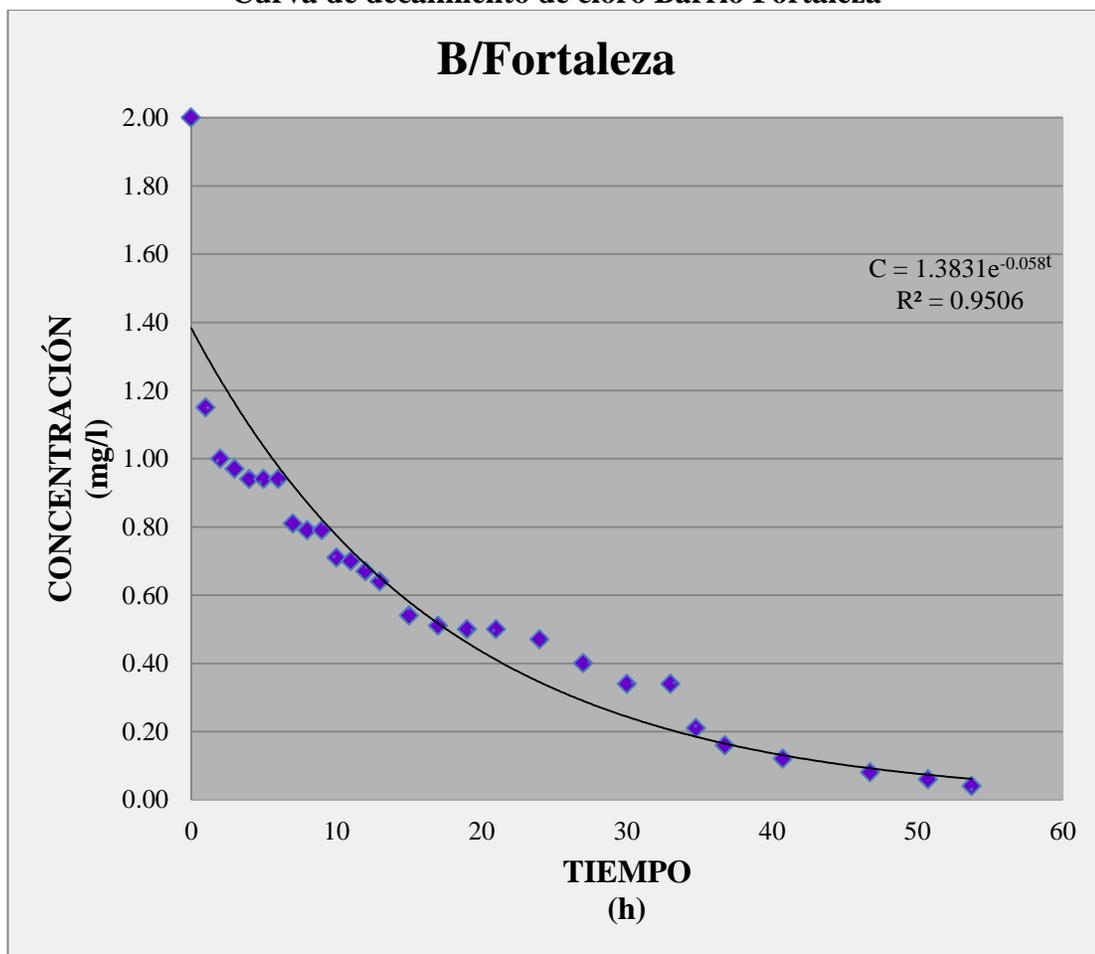
HORA DE MEDICIÓN	TIEMPO h	B/FORTALEZA	B/N. ESPERANZA	B/26 DE AGOSTO
		CONCENTRACIÓN mg/l	CONCENTRACIÓN mg/l	CONCENTRACIÓN mg/l
10:15	0	2.00	2.00	2.00
11:15	1	1.15	1.09	0.79
12:15	2	1.00	0.98	0.75
13:15	3	0.97	0.95	0.73
14:15	4	0.94	0.93	0.72
15:15	5	0.94	0.92	0.65
16:15	6	0.94	0.91	0.61
17:15	7	0.81	0.85	0.55
18:15	8	0.79	0.80	0.52
19:15	9	0.79	0.78	0.50
20:15	10	0.71	0.69	0.47
21:15	11	0.70	0.67	0.47
22:15	12	0.67	0.67	0.41
23:15	13	0.64	0.60	0.40
01:15	15	0.54	0.57	0.39
03:15	17	0.51	0.54	0.39
05:15	19	0.50	0.53	0.39
07:15	21	0.50	0.49	0.36
10:15	24	0.47	0.45	0.33
13:15	27	0.40	0.42	0.30
16:15	30	0.34	0.30	0.28
23:15	33	0.34	0.27	0.24
01:00	34.75	0.21	0.18	0.19
03:00	36.75	0.16	0.14	0.15
07:00	40.75	0.12	0.09	0.07
13:00	46.75	0.08	0.05	0.04
17:00	50.75	0.06	0.03	0.01
20:00	53.75	0.04	0.02	0.01

**FUENTE:** Elaboración Propia

A partir de lo anterior, se obtiene la tasa de decaimiento del cloro debido a la reacción con el volumen del agua (se excluye la reacción de la pared del tubo). Por último, se procesan los datos de las mediciones realizadas, a través de un programa de ajuste de curvas.

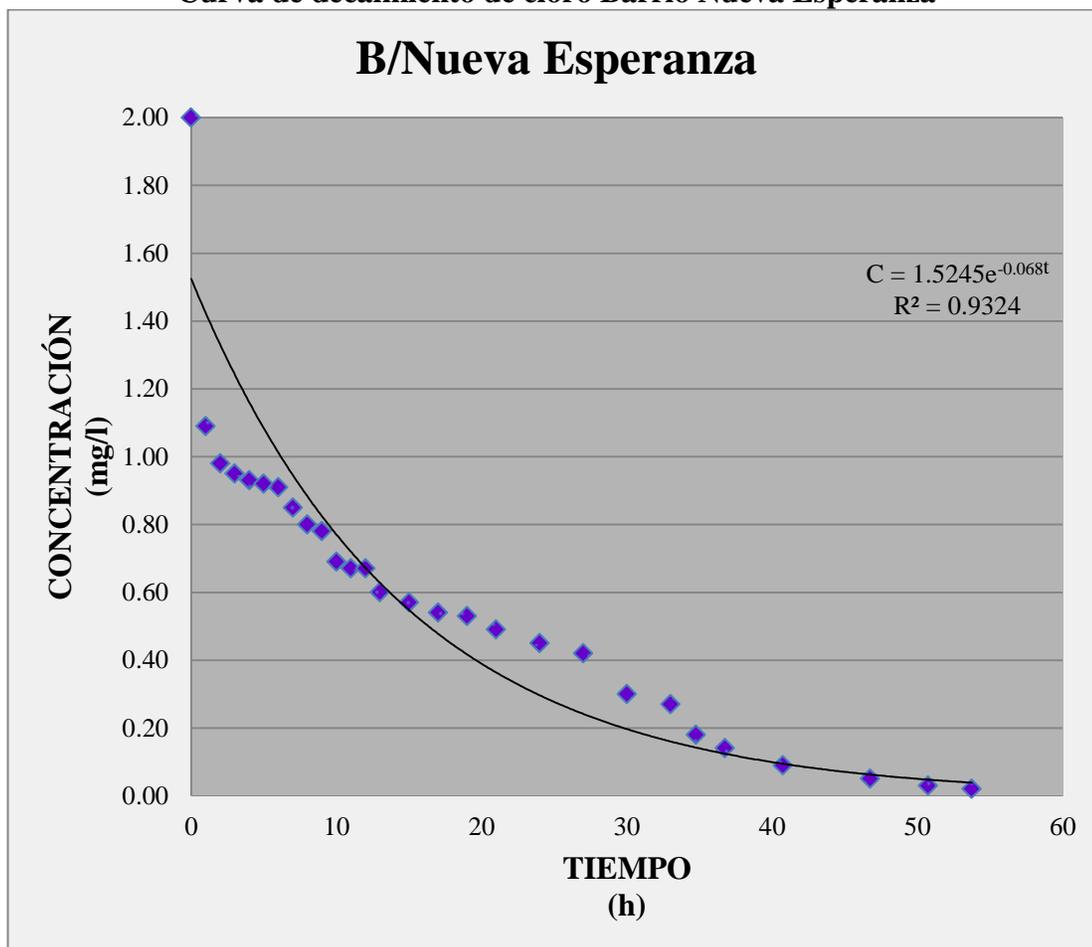
El ajuste de los puntos se realiza mediante una curva exponencial como muestra el modelo de la ec. (15).

**Gráfico 4.6.4-1**  
**Curva de decaimiento de cloro Barrio Fortaleza**



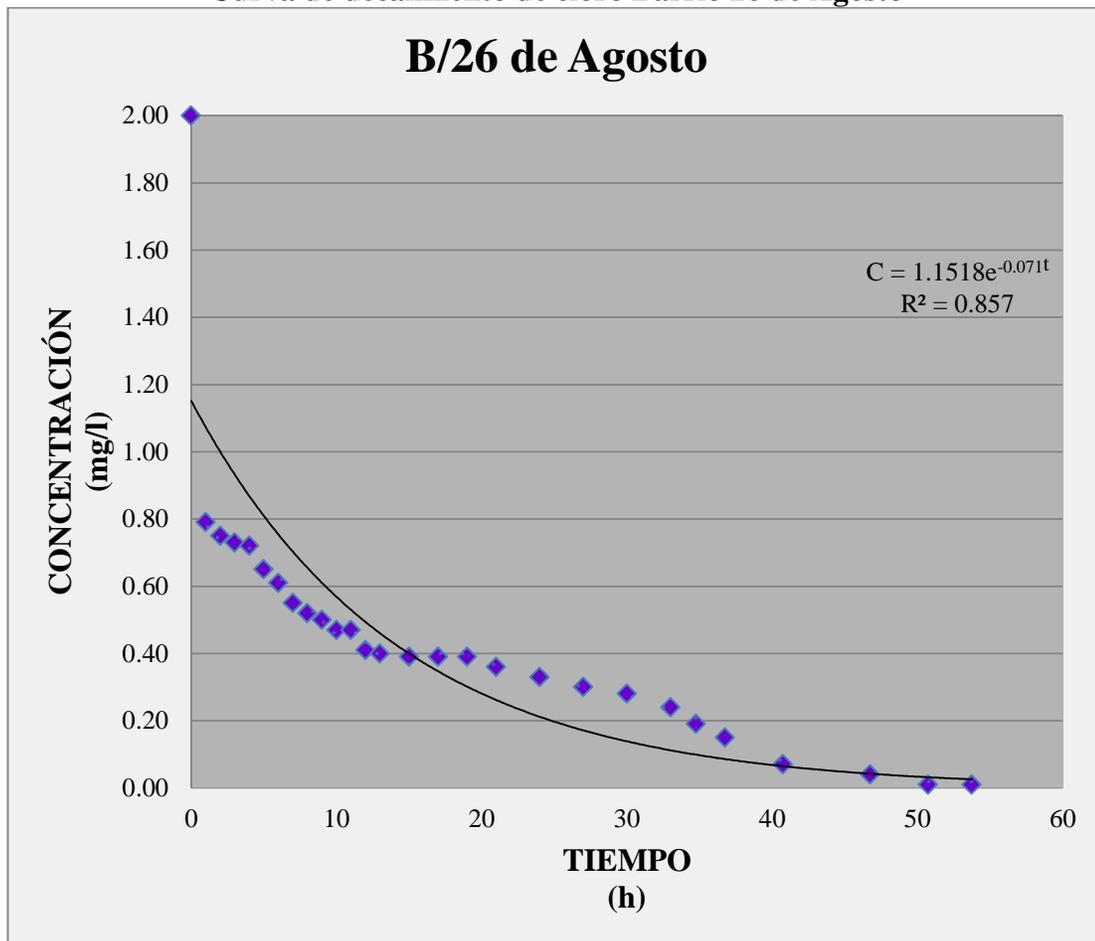
**FUENTE:** Elaboración Propia

Gráfico 4.6.4-2  
Curva de decaimiento de cloro Barrio Nueva Esperanza



FUENTE: Elaboración Propia

Gráfico 4.6.4-3  
Curva de decaimiento de cloro Barrio 26 de Agosto



FUENTE: Elaboración Propia

Los valores obtenidos del coeficiente k son:

B/Fortaleza:

$$k = 0.058 \cdot h^{-1}$$

B/Nueva Esperanza:

$$k = 0.068 \cdot h^{-1}$$

B/26 de agosto:

$$k = 0.071 \cdot h^{-1}$$

Mientras que la cinética de consumo para cada barrio son las siguientes:

B/Fortaleza:

$$C = 1.3831 \cdot e^{0.058t}$$

B/Nueva Esperanza:

$$C = 1.5245 \cdot e^{0.068t}$$

B/26 de agosto:

$$C = 1.1518 \cdot e^{0.071t}$$

A pesar de calidades similares de agua, tenemos cinéticas diferentes para cada agua de abastecimiento por barrio.

#### **4.6.4.1. Comparación de resultados de concentración de cloro (modelo vs medición)**

A continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos para tres puntos de muestreo. Se describe el tiempo la concentración medida y ajustada a través del programa (tablas 4.6.4.1-1, 4.6.4.1-2, 4.6.4.1-3).

**Tabla 4.6.4.1-1**  
**Decaimiento del cloro en una muestra en el tiempo y su ajuste a una curva**  
**Barrio Fortaleza**

<b>Tiempo</b>	<b>Concentración</b>	<b>Concentración Ajustada</b>
0	2.00	1.38
1	1.15	1.31
2	1.00	1.23
3	0.97	1.16
4	0.94	1.10
5	0.94	1.04
6	0.94	0.98
7	0.81	0.92
8	0.79	0.87
9	0.79	0.82
10	0.71	0.78
11	0.70	0.73
12	0.67	0.69
13	0.64	0.65
15	0.54	0.58
17	0.51	0.52
19	0.50	0.46
21	0.50	0.41
24	0.47	0.35
27	0.40	0.29
30	0.34	0.24
33	0.34	0.20
34,75	0.21	0.19
36.75	0.16	0.17
40.75	0.12	0.13
46.75	0.08	0.09
50.75	0.06	0.07
53.75	0.04	0.06

**FUENTE:** Elaboración Propia

**Nota:** Ajuste por SSPS para curva exponencial del tipo:  $y = a \cdot e^{b \cdot x}$

**Tabla 4.6.4.1-2**  
**Decaimiento del cloro en una muestra en el tiempo y su ajuste a una curva**  
**Barrio Nueva Esperanza**

<b>Tiempo</b>	<b>Concentración</b>	<b>Concentración Ajustada</b>
0	2.00	1.52
1	1.09	1.42
2	0.98	1.33
3	0.95	1.24
4	0.93	1.16
5	0.92	1.08
6	0.91	1.01
7	0.85	0.95
8	0.80	0.88
9	0.78	0.83
10	0.69	0.77
11	0.67	0.72
12	0.67	0.67
13	0.60	0.63
15	0.57	0.55
17	0.54	0.48
19	0.53	0.42
21	0.49	0.36
24	0.45	0.30
27	0.42	0.24
30	0.30	0.20
33	0.27	0.16
34.75	0.18	0.14
36.75	0.14	0.12
40.75	0.09	0.09
46.75	0.05	0.06
50.75	0.03	0.05
53.75	0.02	0.04

**FUENTE:** Elaboración Propia

**Nota:** Ajuste por SSPS para curva exponencial del tipo:  $y = a \cdot e^{b \cdot x}$

**Tabla 4.6.4.1-3**  
**Decaimiento del cloro en una muestra en el tiempo y su ajuste a una curva**  
**Barrio 26 de Agosto**

Tiempo	Concentración	Concentración Ajustada
0	2.00	1.15
1	0.79	1.07
2	0.75	1.00
3	0.73	0.93
4	0.72	0.87
5	0.65	0.81
6	0.61	0.75
7	0.55	0.70
8	0.52	0.66
9	0.50	0.61
10	0.47	0.57
11	0.47	0.53
12	0.41	0.49
13	0.40	0.46
15	0.39	0.40
17	0.39	0.35
19	0.39	0.30
21	0.36	0.26
24	0.33	0.21
27	0.30	0.17
30	0.28	0.14
33	0.24	0.11
34.75	0.19	0.10
36.75	0.15	0,09
40.75	0.07	0.07
46.75	0.04	0.04
50.75	0.01	0.03
53.75	0.01	0.03

**FUENTE:** Elaboración Propia

**Nota:** Ajuste por SSPS para curva exponencial del tipo:  $y = a \cdot e^{b \cdot x}$

En los tres casos de estudio se demuestra que la ecuación cinética de primer orden describe adecuadamente el decaimiento real del cloro en el agua.

#### 4.6.5. Cloración en Línea

Debido a los criterios de selección ya mencionados se optó por una desinfección utilizando hipoclorito de sodio, con un sistema de cloración en línea que se basa en el principio de la disminución de presión en función de la reducción de sección en una tubería; esta disminución de la presión genera un efecto de succión en la sección angosta de la tubería o del accesorio, cuanto mayor sea la relación de área, mayor será la succión y también la velocidad de flujo.

Se aprovecha este fenómeno para que una manguera conectada al orificio y a un tanque de solución de cloro, permita el ingreso de cloro de forma proporcional al caudal que circula por la tubería y no consume energía, solo se aprovecha la energía proporcionada por la circulación del agua a través de la tubería.

##### 4.6.5.1. Procedimiento de Implementación

Según datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE), y las autoridades de los barrios en estudio se cuenta con los siguientes datos:

**Tabla 4.6.5.1-1**  
**Estadísticas Sociales Vivienda y Servicios Básicos**

<b>Descripción</b>	<b>Dato</b>
Consumo de agua por persona	100 l/día
Promedio de persona por familia	5 p/flia

**Fuente:** INE

**Tabla 4.6.5.1-2**  
**Número de familias por barrio**

<b>Barrio</b>	<b>N° de Familias</b>
Nueva Esperanza	120
Fortaleza	200
26 de Agosto	160

**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.6.5.2. Cálculo del volumen aproximado de agua a desinfectar:**

El caudal de agua de los barrios es aproximadamente de 0.5 l/s considerando que el consumo de agua es cerca de 100 litros/habitante/día, calculamos el volumen de agua a desinfectar por día:

Barrio Nueva Esperanza

$$V = 100 \frac{l}{hab. \cdot día} \cdot 120 familias \cdot \frac{5 \cdot hab.}{1 familia} = 60000 \frac{l}{día}$$

Barrio Fortaleza

$$V = 100 \frac{l}{hab. \cdot día} \cdot 200 familias \cdot \frac{5 \cdot hab.}{1 familia} = 100000 \frac{l}{día}$$

Barrio 26 de Agosto

$$V = 100 \frac{l}{hab. \cdot día} \cdot 160 familias \cdot \frac{5 \cdot hab.}{1 familia} = 80000 \frac{l}{día}$$

#### **4.6.5.3. Cálculo de la Cantidad de Cloro**

De acuerdo a la demanda de cloro obtenida de los barrios como se muestra en la tabla 4.6.5.3-1:

**Tabla 4.6.5.3-1**  
**Dosis de cloro a agregar en barrios con residual de 0.9 mg/l**

Dosis (mg/l)	Demanda (mg/l)	Residual (mg/l)
1.28	0.38	0.9
1.32	0.42	0.9
1.25	0.35	0.9

**Fuente:** Elaboración propia

**Nota:** La cloración del agua no debe hacerse hasta alcanzar el punto de ruptura sino que es necesario añadir más cloro para que siempre contenga una cierta cantidad de Cloro residual libre.

Para un tiempo de contacto de 30 min y un cloro residual de 0.9 mg/L:

Barrio Nueva Esperanza

$$1.28 \frac{mg}{l} \cdot 60000 \frac{l}{día} \cdot 10^{-3} \frac{g}{mg} = 76.8 \frac{g \cdot Cl_2}{día}$$

Barrio Fortaleza

$$1.32 \frac{mg}{l} \cdot 100000 \frac{l}{día} \cdot 10^{-3} \frac{g}{mg} = 132 \frac{g \cdot Cl_2}{día}$$

Barrio 26 de Agosto

$$1.25 \frac{mg}{l} \cdot 80000 \frac{l}{día} \cdot 10^{-3} \frac{g}{mg} = 100 \frac{g \cdot Cl_2}{día}$$

Las presentaciones del hipoclorito de sodio (lavandina comercial) viene en concentraciones de 55 g/l de cloro activo se calcula la cantidad de solución de hipoclorito de sodio:

Barrio Nueva Esperanza

$$76.8 \frac{gCl_2}{día} \cdot \frac{1l}{55g} = 1.40 \frac{l}{día} \text{ de hipoclorito de sodio}$$

Barrio Fortaleza

$$132 \frac{\text{gCl}_2}{\text{día}} \cdot \frac{1\text{l}}{55\text{g}} = 2.40 \frac{\text{l}}{\text{día}} \text{ de hipoclorito de sodio}$$

Barrio 26 de Agosto

$$100 \frac{\text{gCl}_2}{\text{día}} \cdot \frac{1\text{l}}{55\text{g}} = 1.82 \frac{\text{l}}{\text{día}} \text{ de hipoclorito de sodio}$$

Para un sistema de recarga de una vez por semana se tiene que:

Barrio Nueva Esperanza

$$1.40 \frac{\text{l}}{\text{día}} \cdot \frac{7\text{días}}{1\text{semana}} = 9.8 \frac{\text{l}}{\text{semana}} \text{ de hipoclorito de sodio}$$

Barrio Fortaleza

$$2.40 \frac{\text{l}}{\text{día}} \cdot \frac{7\text{días}}{1\text{semana}} = 16.8 \frac{\text{l}}{\text{semana}} \text{ de hipoclorito de sodio}$$

Barrio 26 de Agosto

$$1.82 \frac{\text{l}}{\text{día}} \cdot \frac{7\text{días}}{1\text{semana}} = 12.74 \frac{\text{l}}{\text{semana}} \text{ de hipoclorito de sodio}$$

A eso se le sumara un factor de seguridad de 30% y nos queda:

Barrio Nueva Esperanza

$$9.8 \frac{\text{l}}{\text{semana}} \cdot 1.3 = 12.74 \frac{\text{l}}{\text{semana}} \text{ de hipoclorito de sodio}$$

Barrio Fortaleza

$$16.8 \frac{\text{l}}{\text{semana}} \cdot 1.3 = 21.84 \frac{\text{l}}{\text{semana}} \text{ de hipoclorito de sodio}$$

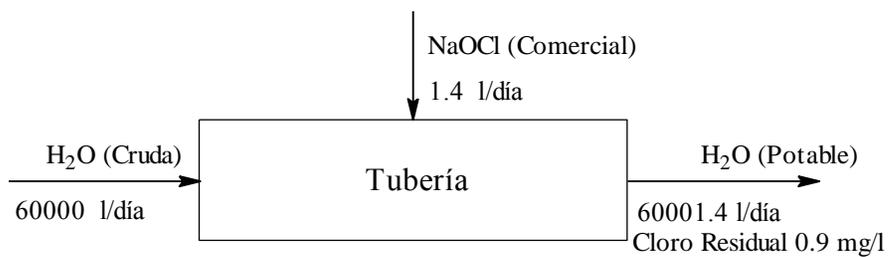
Barrio 26 de Agosto

$$12.74 \frac{l}{semana} \cdot 1.3 = 16.56 \frac{l}{semana} \text{ de hipoclorito de sodio}$$

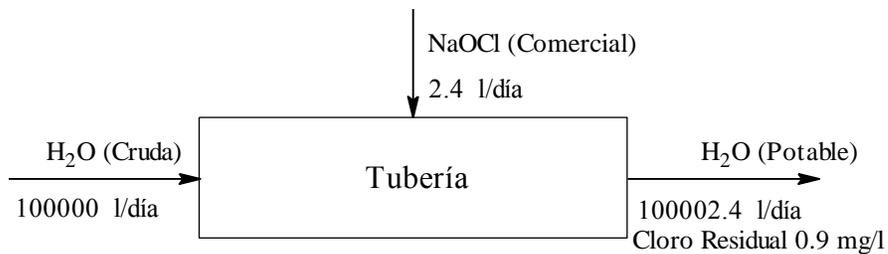
Para tener un solo tipo de tanque y del mismo volumen para la solución de hipoclorito de sodio se usará tanques de 30 litros ( $0.03 \text{ m}^3$ ).

#### 4.6.5.4. Balances de Materia Para la Cloración

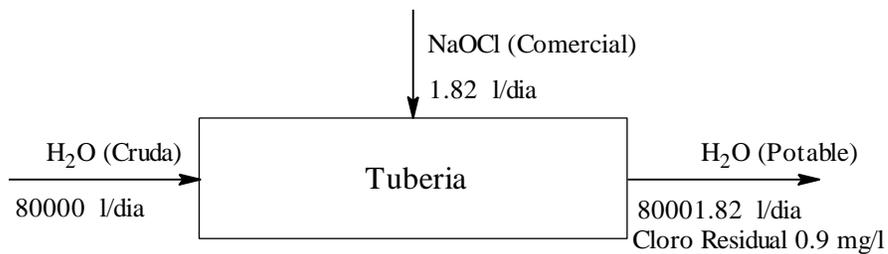
Balance de materia barrio Nueva Esperanza



Balance de materia barrio Fortaleza



Balance de materia barrio 26 de Agosto



Seguendo los modelos obtenidos se puede obtener la concentración esperada durante el trayecto de la tubería en función del tiempo.

**Tabla 4.6.5.4-1**  
**Concentración del Cloro en función del Tiempo**

Barrio	Concentración de Cloro en función del Tiempo (mg/l)				
	0 h	4 h	8 h	12 h	24 h
Nueva Esperanza	0.90	0.69	0.52	0.40	0.18
Fortaleza	0.90	0.71	0.57	0.45	0.22
26 de Agosto	0.90	0.68	0.51	0.38	0.16

**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.6.5.5.Consideraciones Técnicas:**

Todo el sistema se debe construir en plástico reforzado con antioxidantes, las llaves se recomiendan que sean de acero inoxidable para evitar la corrosión así estas tengan un mayor tiempo de vida útil.

El sistema de cloración debe instalarse a la entrada del tanque de almacenamiento, para garantizar el tiempo de contacto.

Resumen de los datos técnicos para el sistema de cloración:

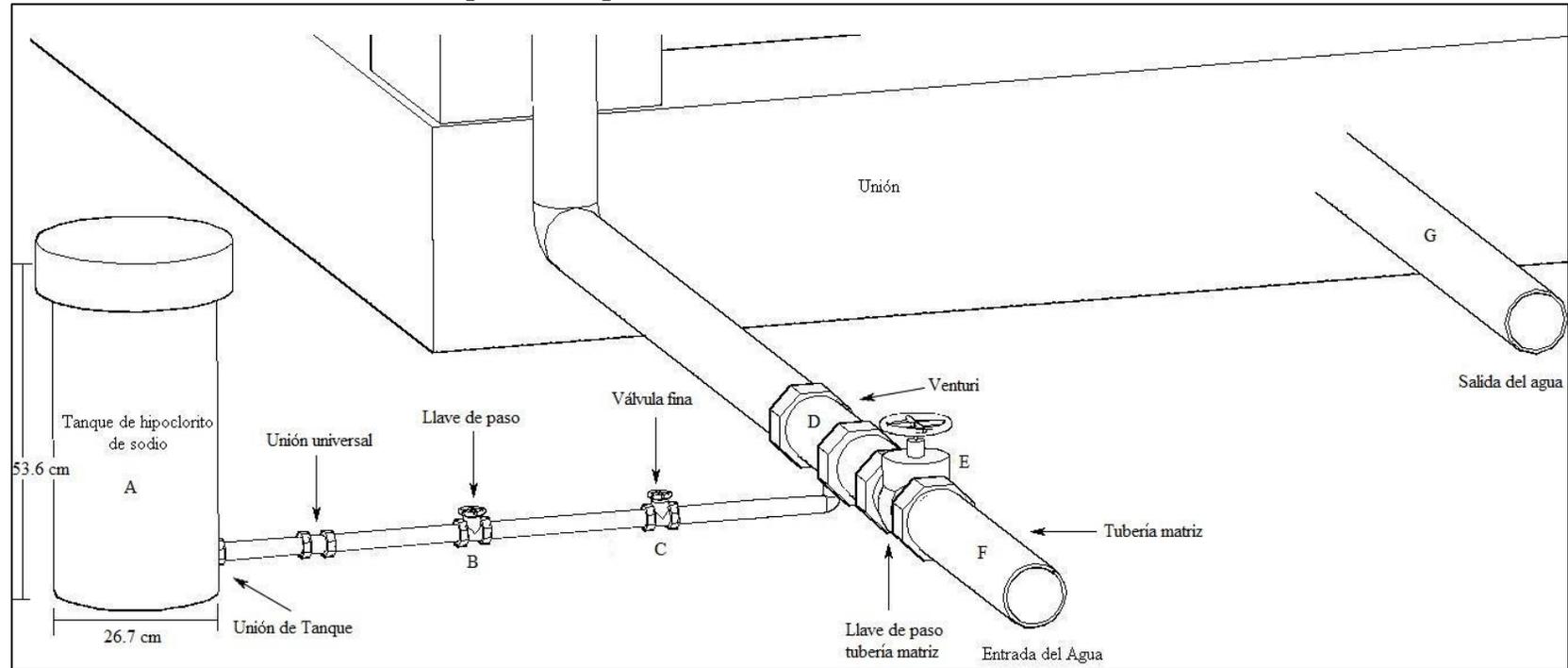
**Tabla 4.6.5.5-1**  
**Datos Técnicos Para la Cloración en los Barrios de Estudio**

<b>Detalle</b>	<b>B/Nueva Esperanza</b>	<b>B/fortaleza</b>	<b>B/26 de Agosto</b>
Población	120 flia.	200 flia.	160 flia.
Fuente	pozo	pozo	pozo
Dosis en el punto de Mezcla	0.9 mg/l	0.9 mg/l	0.9 mg/l
Tamaño del tanque de solución de hipoclorito de sodio	30 l	30 l	30 l
Frecuencia de recarga del tanque de solución	7 a 16 días	7 a 9 días	7 a 12 días
Litros de hipoclorito de sodio	9.8 l	16.8 l	12.72 l
Longitud del tanque	53.6 cm	53.6 cm	53.6 cm
Diámetro del tanque	26.7 cm	26.7 cm	26.7 cm

**Fuente:** Elaboración propia

La aplicación típica del sistema es como se describe en la figura 4.6.5.5-1, el esquema indica cada uno de sus componentes.

**Figura 4.6.5-1**  
**Esquema Simplificado del Sistema de Cloración en línea**



FUENTE: Elaboración propia

- A. tanque de plástico para almacenar la solución de cloro (puede ser de 10, 20, 40 litros).
- B. llave de paso de ½ pulgada de acero inoxidable para realizar mantenimiento y recarga de hipoclorito de sodio).
- C. llave de paso fina para regular la cantidad de solución de cloro que entra en la red.
- D. Mezclador y regulador de la solución de cloro en la red(Venturi o eyector).
- E. Llave de paso de la tubería matriz para realizar mantenimiento del Venturi o eyector.
- F. Tubería matriz.
- G. Punto de control en la red para medir la cantidad de cloro(puede ser la primera pileta)

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.6. Conclusiones

- Este estudio ha demostrado que no existe presencia de elevadas concentraciones de metales, metales y nutrientes (nitratos, nitritos, amonio y fosfatos) en los pozos de agua de los barrios 26 de Agosto, Fortaleza, Nueva Esperanza. Debido a las bajas concentraciones encontradas; el consumo del agua de estas fuentes no constituye un riesgo a la salud humana en los pozos evaluados.
- Según los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, la mayoría de los parámetros se encuentran dentro de los rangos permitidos por la ley 1333 del medio ambiente y la norma boliviana NB 512 con excepción de Coliformes Totales.
- La causa de la presencia de coliformes totales puede presentarse en la distribución del agua ya que dentro de la tubería se forma biopelículas que asilan a microorganismos entre ellos los coliformes totales.
- Después de determinar que existe un problema de biopelículas, no se debe suponer que todas las coliformes son debido a las biopelículas. Las coliformes en el agua podrían indicar una deficiencia importante en el mantenimiento del sistema de distribución o del tratamiento, y por lo tanto, una amenaza potencial a la salud.
- La propuesta de clasificación de cuerpos de agua según su aptitud de uso presentado en esta investigación se describe a continuación:

Barrío 26 de Agosto                      Clase A

Barrío Fortaleza                              Clase A

Barrío Nueva Esperanza                      Clase A

Los cuerpos de agua de clase “A” según la ley 1333 del Medio Ambiente son clasificados potables previa desinfección.

- La buena calidad fisicoquímica del agua de los barrios en estudio permite que solo sea necesaria la desinfección para garantizar la potabilidad del agua.
- Se optó por la cloración como la alternativa más adecuada para garantizar la potabilidad del agua distribuida porque es un mecanismo de desinfección de mayor aplicación en los sistemas de abastecimiento de agua, debido a que:
  - Es accesible
  - Tiene alta capacidad oxidante que es el mecanismo de destrucción de la materia orgánica
  - Tiene potencia germicida de espectro amplio
  - Tiene propiedades residuales.
  - El equipo para su dosificación es usualmente sencillo, confiable y de bajo costo.
  - Los productos basados en el cloro se consiguen fácilmente
  - Es económico
  - Es eficaz con relación a sus costos.
- La demanda de cloro se ha demostrado que es un parámetro clave en el diseño del proceso de desinfección y en la formación de subproductos en sistemas de abastecimiento de agua.
- De acuerdo al comportamiento de las curvas de demanda de cloro se puede inferir que las cantidades de nitrógeno amoniacal y aminos orgánicos en el agua de los barrios Fortaleza, Nueva Esperanza y 26 de Agosto son bajas.
- La demanda de cloro varía para diferentes aguas aun para la misma agua depende de la dosis de cloro aplicada de la magnitud y tipo de residual deseado, del tiempo de contacto y de la temperatura.
- La cuantificación de la demanda de cloro a corto plazo inicial (tiempo de contacto  $\geq 30$  min) es esencial para el diseño fiable del proceso de desinfección. Se encontró que la demanda de cloro 30 min inicial para un conjunto de muestras tratadas de agua subterránea varía en el rango de 0.35 a 0.42 mg / l para los tres barrios en estudio.
- En este sentido, la demanda de cloro de un agua tratada es clave en el diseño de sistemas de desinfección, ya que determina el mínimo de Cloro requerido por

cada fuente de agua subterránea, dosis que proporcionaría la CT necesaria para una adecuada desinfección.

- Se evaluó un modelo cinético contra datos experimentales de decaimiento de cloro demostrando que el modelo propuesto es capaz de determinar la concentración de cloro y su decadencia en el agua subterránea de los barrios analizados.
- En el modelo cinético propuesto los valores obtenidos para la constantes de reacción del cloro con el agua “k” fueron:

B/Fortaleza:

$$k = 0.058 \cdot h^{-1}$$

B/Nueva Esperanza:

$$k = 0.068 \cdot h^{-1}$$

B/26 de Agosto:

$$k = 0.071 \cdot h^{-1}$$

Las diferencias entre las constantes demuestran que de una zona a otra, aun cuando exista cercanía, la constante de reacción k, puede presentar notables diferencias, debido al tipo de fuente de abastecimiento.

- La presente investigación ha contribuido a determinar la calidad, caracterizar los cuerpos de agua y caracterizar la naturaleza de las reacciones asociadas con la cloración de agua potable en los sistemas de distribución de tres barrios periurbanos de la ciudad de Tarija.

## 5.7. Recomendaciones

- Es de gran importancia utilizar la información registrada en este documento para capacitaciones, en comunidades que manejen sistemas similares a los estudiados, ya que esto permite diseminar la información a las personas y también replicar el estudio no solo en los barrios periurbanos sino que también llegue a comunidades rurales.
- Para detectar los problemas de contaminación bacteriológica en las redes de distribución se sugiere una evaluación periódica de bacterias coliformes en diferentes secciones del sistema y de esta manera controlar la calidad de agua potable y en consecuencia resguardar la salud pública.
- La desinfección es el proceso más importante en el tratamiento del agua, ya que ayuda a reducir el riesgo de enfermedades infecciosas, pero la interacción entre los desinfectantes químicos y los materiales presentes en las fuentes de agua hace que la eficiencia del desinfectante disminuya.
- Es necesario comprender el mecanismo de la descomposición de cloro (u otro desinfectante) en los sistemas de distribución de agua y los factores que la afectan ya que estos pueden afectar al proceso de desinfección.
- El crecimiento poblacional y la actividad económica generan cuantiosas demandas adicionales de agua, por lo que de continuar con ese escenario las fuentes actuales de abastecimiento serían insuficientes, por ello habría que propiciar el equilibrio ecológico a través de lineamientos propuestos:
  1. Manejo eficiente del agua subterránea.- Actualizar la información referente a los pozos, estudios geohidrológicos, registros relativos al comportamiento de la calidad y cantidad de agua, mediante un monitoreo continuo.
  2. Abastecimiento de agua.- Contar con estudios actuales para apoyar las actividades de planeación de proyectos futuros de importación de cuencas externas.
  3. Vigilar el cumplimiento de la normatividad vigente.- Establecer una normatividad referente al uso y calidad del agua, de tal manera que no se permita utilizar agua de menor calidad que la requerida.

4. Promoción de una cultura del agua.- Diseñar y promover campañas de comunicación para mostrar la grave situación del agua y la necesidad de frenar la degradación del medio ambiente

La palabra clave, que refleja la situación actual del agua y sus perspectivas futuras a nivel global, es la escasez, esta escasez es consecuencia de que el crecimiento de la economía mundial se haya multiplicado en los últimos cincuenta años.