

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**



**PROPUESTA DE SISTEMA DE POTABILIZACION PARA LA COMUNIDAD  
“VILLA 15 DE SEPTIEMBRE” DEL MUNICIPIO DE TIPITAPA, DEPARTAMENTO  
DE MANAGUA**

**TRABAJO MONOGRÁFICO PRESENTADO POR:**

**Br. Edgard Sandoval Carrillo  
Br. Jimmy Ramírez González**

**PARA OPTAR POR TÍTULO DE:**

**Ingeniero Químico**

**TUTOR:**

**PhD. Indiana García Granados**

**Managua, Nicaragua**

**Junio de 2022**

## INDICE DE CONTENIDO

Índice de Contenido .....	i
Índice de Tablas .....	iv
Índice de Figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Dedicatoria .....	viii
Agradecimiento .....	ix
1. INTRODUCCION .....	1
2. OBJETIVOS .....	2
2.1 Objetivo General .....	2
2.2 Objetivos Específicos .....	2
3. MARCO TEÓRICO .....	3
3.1 Fuentes de Agua .....	3
3.1.1 Recarga del agua subterránea .....	4
3.1.2 Descarga del agua subterránea .....	5
3.1.3 La composición química de las aguas subterráneas .....	5
3.2 Calidad de Agua .....	6
3.2.1 Contaminación del agua .....	7
3.2.2 Tipos de contaminantes .....	9
3.3 Efecto de los Contaminantes del Agua a la Salud y al Ambiente .....	11
3.4 Índice de Calidad del Agua (ICA) .....	17
3.5 Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense para la Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON 05 007 98) .....	20
3.6 Normativa CAPRE .....	21
3.7 Tratamiento de Agua Subterránea .....	21
3.7.1 Bombeo y tratamiento .....	22
3.7.2 Fijación geoquímica .....	22
3.7.3 Barreras reactivas permeables (BRP) .....	22
3.8 Tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FiME) .....	23
3.8.1 Criterios de diseño y dimensionamiento de FiME .....	24

3.9 Criterios de Diseño de un Sistema de Potabilización .....	36
3.10 Desinfección .....	37
3.11 Aspectos de Operación y Mantenimiento .....	37
3.11.1 Tipos de mantenimiento .....	38
3.11.2 Operaciones en condiciones de invierno.....	39
3.12 Vulnerabilidad de Sistemas de Potabilización y Gestión de Riesgo .....	39
4. METODOLOGÍA .....	46
4.1 Etapas de Estudio.....	46
4.2 Ubicación del Área de Estudio.....	47
4.2.1 Límites de la comunidad .....	47
4.3 Sitio de Muestreo .....	48
4.3.1 Procedimientos para la recolección de datos e información .....	48
4.4 Parámetros a Determinar.....	48
4.4.1 Parámetros medidos in situ.....	48
4.4.2 Parámetros medidos en el laboratorio.....	48
4.5 Clasificación del Tipo de Recurso Hídrico .....	50
4.6 Potabilidad del Agua.....	50
4.7 Dimensionamiento del Sistema de Potabilización .....	50
4.8 Análisis de Vulnerabilidad.....	50
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	52
5.1 Caracterización de la Fuente y Estimación del Índice de Calidad del Agua	
.....	52
5.1.1 Caracterización de la fuente.....	52
5.1.2 Resultado de las características físicas .....	56
5.1.3 Características químicas .....	58
5.1.4 Características de los metales .....	59
5.1.5 Características de los nutrientes .....	61
5.1.6 Características microbiológicas.....	61
5.2 Tren de Tratamiento .....	62
5.3 Dimensionamiento de las Unidades de Tratamiento (FIME).....	63

5.3.1 Determinación de la población y caudal de diseño .....	63
5.3.2 Dimensionamiento de las unidades .....	66
5.3.3 Balance de remoción de contaminantes por etapa de tratamiento ....	72
5.3.4 Esquema del tres de tratamiento.....	73
5.4 Análisis Observacional de la Vulnerabilidad de la Comunidad y el Pozo .	74
6. CONCLUSIONES .....	80
7. RECOMENDACIONES .....	81
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA .....	82
Anexo A: Selección de Tecnología .....	87
Anexo B: Índice de Calidad de Agua (ICA) .....	88
Anexo C: Calculo de la Población Futura, Caudal de Diseño y Dimensionamiento .....	90
Anexo D: Calculo de la Remoción de Contaminantes.....	95
Anexo E: Método de Análisis .....	102
Anexo F: Comunidad 15 de Septiembre .....	118

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Diferencias entre agua subterránea y superficial. ....	6
Tabla 3.2: Contaminantes del agua.....	9
Tabla 3.3: Clasificación de los contaminantes.....	10
Tabla 3.4: Fórmulas para el cálculo de la función subíndice y pesos relativos. .	19
Tabla 3.5: Comparación de ICA con respecto al uso. ....	19
Tabla 3.6: Características de agua tipo 1 para uso doméstico.....	20
Tabla 3.7: Categorías 1A y 1B. ....	20
Tabla 3.8: Normativa CAPRE.....	21
Tabla 3.9: Selección de etapas FIME.....	24
Tabla 3.10: Granulometría y espesor del medio filtrante en un FGD <sub>i</sub> .....	26
Tabla 3.11: Granulometría y espesor del medio de un soporte en un FGD <sub>i</sub> . ....	26
Tabla 3.12: Resumen de criterios de diseño para el FGD <sub>i</sub> .....	28
Tabla 3.13: Granulometría y espesor de capas de medio filtrante y soporte del FGAC. ....	31
Tabla 3.14: Criterios de diseño para filtros gruesos ascendentes.....	32
Tabla 3.15: Características del medio filtrante y de soporte de un FLA.....	34
Tabla 3.16: Clasificación del tipo de vulnerabilidad.....	40
Tabla 3.17: Matriz de vulnerabilidad física. ....	41
Tabla 3.18: Matriz de vulnerabilidad económica .....	43
Tabla 3.19: Matriz de vulnerabilidad socio-cultural.....	44
Tabla 3.20: Matriz de vulnerabilidad ambiental/higiene.....	45
Tabla 4.1: Métodos de análisis.....	49
Tabla 5.1: Medición de parámetro del agua cruda. ....	52
Tabla 5.2: Índice de calidad del agua (ICA) .....	53
Tabla 5.3: Resultados de los parámetros de calidad del agua. ....	54
Tabla 5.4: Comparación de los resultados de la calidad del agua del pozo con la Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense de Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON 05 007 98).....	55
Tabla 5.5: Comparación de los resultados de la calidad del agua del pozo con la Normativa CAPRE o Normativa O66.....	56
Tabla 5.6: Parámetros a ser removidos vs tratamiento. ....	62
Tabla 5.7: Dotación para consumo doméstico. ....	64
Tabla 5.8: Dotación para consumo de usos no domésticos .....	65
Tabla 5.9: Resultados de cálculo poblacional y caudal de diseño.....	66

Tabla 5.10: Resultado del dimensionamiento de los filtros gruesos dinámicos, (FGDi).	67
Tabla 5.11 Medio filtrante.	68
Tabla 5.12 Medio de soporte.	68
Tabla 5.13: Resultado del dimensionamiento de los filtros gruesos ascendentes en capas (FGAC).	69
Tabla 5.14 Características del medio filtrante y lecho de soporte del FGAC.	69
Tabla 5.15 Resultado del dimensionamiento de los filtros lentos de arena (FLA)	70
Tabla 5.16 Características del medio filtrante y lecho de soporte del FLA.	71
Tabla 5.17 Características de los parámetros de desinfección.	71
Tabla 5.18 Balance de contaminantes.	72
Tabla 5.19 Matriz para el análisis de vulnerabilidad económica.	76
Tabla 5.20 Matriz para el análisis de vulnerabilidad ambiental e higiene.	77
Tabla 5.21 Matriz para el análisis de vulnerabilidad socio-cultural.	78
Tabla 5.22 Vulnerabilidad total del sistema.	79
Tabla A.1 Selección de tecnología	81
Tabla C.1 Estimación del caudal	91
Tabla C.2 Dimensionamiento de los FGDI	92
Tabla C.3 Dimensionamiento de los FGAC	93
Tabla C.4 Dimensionamiento de los FLA	94
Tabla C.5 Calculo del proceso de cloración	95
Tabla D.1 Remoción de contaminantes en la filtración dinámica	95
Tabla D.2 Remoción de contaminantes en filtración gruesa ascendente	96
Tabla D.3 Remoción de contaminantes en la filtración lenta.	96
Tabla D.4 Porcentajes de remoción de acuerdo con la tecnología.	97
Tabla D.5 Porcentaje de disociación	98
Tabla D.6 Balance de contaminantes por etapa de tratamiento.	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Recarga de agua subterránea.....	5
Figura 3.2: Contaminación del agua subterránea.....	8
Figura 3.3: Filtro grueso dinámico, (FGDi). ....	25
Figura 3.4: Esquema de en un filtro grueso dinámico. ....	28
Figura 3.5: Filtro grueso ascendente en capas (FGAC). ....	30
Figura 3.6: Filtro lento de arena (FLA). ....	33
Figura 4.1: Mapa de ubicación del área de estudio.....	47
Figura 5.1: Tren de tratamiento. ....	63
Figura 5.2: Esquema de la propuesta del tren de tratamiento.....	73
Figura A.1: Etapas del proceso. ....	81
Figura B.1: Criterios para ICA. ....	82
Figura B.2: Escala del índice de calidad del agua. ....	82
Figura D.1: Reacción del hipoclorito de calcio.....	98
Figura D.2: Disociación del ácido hipocloroso.....	99
Figura D.3: Calculo del pH .....	100

## RESUMEN

En este trabajo se presenta la propuesta de un sistema de potabilización, para la comunidad Villa 15 de septiembre, ubicada en la comarca empalme de san Benito municipio de Tipitapa. Se tomaron dos variables fundamentales para la selección del tren de tratamiento siendo estas: la calidad del agua que consumen actualmente y las condiciones socio económicas de los habitantes de esta comunidad. Por lo que se seleccionó y diseño un sistema de tratamiento de potabilización de agua, el cual consiste en Filtración en Múltiples Etapas o (FIME), porque es una alternativa tecnológica muy eficaz, para remover contaminantes sumado al bajo coste de inversión inicial, operación y mantenimiento.

Las características del agua cruda son las de agua superficial al ser un acuífero somero. La propuesta de tratamiento consiste de dos filtros gruesos dinámicos, tres filtros gruesos de arena ascendente, dos filtros lentos de arena y desinfección con hipoclorito de calcio.

El resultado final del balance de las concentraciones de los parámetros evaluados fue comparado con los valores recomendados y máximos admisibles de CAPRE demostrándose que la calidad del agua obtenida es potable y por tanto se puede suministrar a la población si se construye el sistema propuesto.

***Palabras Claves:*** Sistema de potabilización, Filtración en Múltiples Etapas, filtros gruesos dinámicos, filtros gruesos de arena ascendentes, filtro lento de arena e hipoclorito de calcio.

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a Padre Celestial guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante en mis proyectos.*

*A mis hijos Lenin, Bryan y Alfonsito por ser fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día y brindarme su apoyo, comprensión, tolerancia y por ceder su tiempo para que papá estudie.*

*A mi familia en especial a mis seres queridos, mi mamá Martha García, mi abuela Aura Lila González y mi abuelo Gonzalo Sandoval, quienes siempre me han apoyado incondicionalmente moral y económicamente.*

*A todos muchas gracias de corazón.*

*Edgard*

*Dedico este trabajo a nuestro señor Jesucristo, quien cada día me acompaña y no me desampara.*

*A las memorias de mi padre Israel Ramírez y mi abuelo Julio González*

*A mi mamá Onia González.*

*A mi esposa Eylin Espinoza.*

*A ti mateo o Elieth.*

*A todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron para la realización de este trabajo.*

*Gracias totales.*

*Jimmy*

## **AGRADECIMIENTO**

A la profesora Dra. Indiana García Granados por brindarnos su asesoría y conocimientos para la realización de esta tesis, pero sobre todo por tenernos paciencia, profe le estamos eternamente agradecidos.

A los líderes de la comunidad Villa 15 de Septiembre, por todo el apoyo recibido a lo largo de la realización de este trabajo.

A aquellos docentes y trabajadores de la Facultad de Ingeniería Química que nos brindaron consejos, recursos bibliográficos y aprecio a lo largo de nuestra estadía en esta alma mater, algunos ya han partido de este mundo, hasta su última morada "Gracias".

## 1. INTRODUCCION

El agua es el líquido más abundante en la Tierra, constituyendo la base de toda forma de vida. Su distribución es 97,4 % agua de mar o agua salada, 2,6 % hielo y sólo el 0,001 % de toda el agua del planeta es dulce.

El agua para consumo humano requiere tratarse para garantizar su calidad, es decir, se deben eliminar partículas y organismos que pueden ser dañinos para la salud. La mayoría de las aguas son desinfectadas con cloro, siendo el método convencional más apropiado en términos de costo-efectividad.

La falta de agua apta para el consumo puede tener consecuencias trágicas para los niños. En promedio, cerca de 1,000 niños mueren todos los días a causa de enfermedades diarreicas asociadas con agua potable contaminada, saneamiento deficiente o malas prácticas de higiene (OMS, 2018).

En Nicaragua este sector, no brinda abastecimiento al total de la población, por lo que, en algunas comunidades, rurales principalmente, no se cuenta con un adecuado sistema de tratamiento y distribución.

La Comunidad de Villa 15 de Septiembre está ubicada en el municipio de Tipitapa, departamento de Managua. Conformada por un caserío de 121 casas de un total de 385 lotes, estas se encuentran de forma dispersa. La comunidad no cuenta con el servicio de agua potable por lo cual los pobladores se ven en la necesidad de consumir agua de pozos, sin un previo tratamiento de potabilización lo que conlleva, a la generación de problemas de salud.

A inicios de la década del 2000 AGUASAN contribuyó a la incorporación de la tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FIME) en la atención de zonas rurales de Nicaragua. Esta tecnología desarrollada por el Instituto CINARA (Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso hídrico) de la Universidad del Valle en Colombia; se convirtió desde entonces en una alternativa para mejorar la calidad del agua para consumo humano (AGUASAN, 2015).

Por lo antes mencionado nace la necesidad de desarrollar un proyecto para la mejora la calidad de vida de los habitantes de la Comunidad al proponer un sistema de potabilización acorde a las posibilidades socioeconómicas que brinde agua segura para reducir la tasa de enfermedades hídricas.

## **2. OBJETIVOS**

En este acápite se presentan los objetivos desarrollados en el presente trabajo de tesis.

### **2.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de tratamiento sustentable para potabilizar agua en la Comunidad “Villa 15 de Septiembre” del Municipio de Tipitapa, departamento de Managua.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la calidad del agua a través de muestras puntuales mediante la medición de los parámetros físicos, químicos, biológicos y el índice de calidad de agua (ICA) para la fuente de abastecimiento de la Comunidad de Villa 15 de Septiembre.
- Evaluar la calidad del agua de la fuente usando las Normativa Técnica de Recurso Hídrico (NTON 05-077-98) y la calidad del agua tratada con la Normativa de Potabilización de Agua, CAPRE para la determinación de su potabilidad.
- Dimensionar un sistema de potabilización de agua acorde a la calidad de la fuente y las posibilidades socioeconómicas de la comunidad.
- Analizar la vulnerabilidad de la fuente a través del estudio de los resultados de calidad de agua y análisis observacional.

### **3. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se abordan los conceptos más relevantes a ser considerados en el diseño de las etapas de tratamiento del agua subterránea. Se presenta la definición de agua y tipos de fuentes, también los parámetros que definen su calidad en términos físicos químicos y microbiológicos, De igual forma se plasma el marco legal jurídico ambiental de Nicaragua. Finalmente se plantean algunos tipos de tratamiento para la remoción de compuestos no deseables.

#### **3.1 Fuentes de Agua**

El agua natural constituye un sistema complejo y heterogéneo, formado por una fase acuosa, una gaseosa y una o varias fases sólidas, las cuales se encuentran interactuando entre sí mediante equilibrios químicos regidos por leyes termodinámicas, y en cuya composición química intervienen, además, otros factores (geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, pedológicos, microbiológicos, climáticos y ambientales), (Fagundo, 2014).

De acuerdo con sus orígenes, los suministros de agua se clasifican en tres categorías, aguas superficiales, aguas subterráneas y aguas meteorológicas, (Ramalho, 1996).

Las aguas meteorológicas: comprenden todo tipo de precipitaciones, ya sea nieve, granizo, lluvia, este tipo de agua se contamina en la etapa de recolección y almacenamiento.

Las aguas superficiales: están constituidas por los ríos, lagos, embalses, arroyos, etc. La calidad del agua superficial puede estar comprometida por contaminaciones provenientes de la descarga de desagües domésticos, residuos de actividades mineras o industriales, uso de defensivos agrícolas, presencia de animales, residuos sólidos, y otros.

En caso de la utilización de aguas superficiales para abastecimiento, además de conocer las características fisicoquímicas y bacteriológicas de la fuente, será preciso definir el tratamiento requerido en caso de que no atiendan a los requerimientos de calidad para consumo humano.

Las aguas subterráneas: comprende las aguas subálveas y subterráneas profundas, estas aguas están generalmente libre de gérmenes y poseen sustancias disueltas, en dependencia del tipo de suelo que atraviesan.

Las aguas subterráneas poseen una composición química que se origina como resultado de un proceso complejo de interacciones, donde, primeramente, las aguas procedentes de las precipitaciones (lluvia o nieve), adquieren los gases que se producen en la zona del suelo por descomposición y respiración de la materia orgánica y luego, reaccionan con los minerales que subyacen en el medio rocoso.

En Nicaragua, el agua para consumo humano proviene principalmente de dos fuentes: subterránea y superficial. En la zona Pacífico del país, donde las características geomorfológicas permiten la explotación del agua subterránea. Por su parte, en áreas como la Región Central el agua proviene de fuentes superficiales, especialmente ríos. La Región Atlántica se abastece de ambos tipos de fuentes.

### **3.1.1 Recarga del agua subterránea**

El agua del suelo se renueva en general por procesos activos de recarga desde la superficie. La renovación se produce lentamente cuando se compara con la de los depósitos superficiales, como ríos y lagos. El tiempo de residencia (período necesario para renovar por completo un depósito a su tasa de renovación normal) es muy largo. En algunos casos la renovación es interrumpida, por la impermeabilidad de las formaciones geológicas superiores o por circunstancias climáticas.

El agua de las precipitaciones puede tener distintos destinos una vez alcanzado el suelo. Se reparte en tres fracciones, escorrentía, evaporación y la infiltración que pasa a ser agua subterránea. La proporción de infiltración respecto al total de las precipitaciones depende de varios factores:

- La litología (material geológico de la superficie) influye a través de su impermeabilidad, la cual depende de la porosidad y de la mineralogía del sustrato. Los suelos arcillosos se hidratan fácilmente, lo que da lugar a una reducción de porosidad que termina por hacer el suelo impermeable.
- Las pendientes muy marcadas son otro factor desfavorable para la infiltración, ya que drenan el agua hacia zonas bajas sin lograr renovar el depósito de agua.
- La presencia de vegetación densa influye de forma compleja, porque reduce el agua que llega al suelo, ya que extiende en el tiempo el efecto

de las precipitaciones, desprendiendo poco a poco el agua que moja el follaje, reduciendo así la fracción de escorrentía y aumentando la de infiltración.

En la Figura 3.1 se presenta el esquema de la recarga para un acuífero libre y uno confinado:



**Figura 3.1: Recarga de agua.**

*Fuente: Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní, 2006.*

### 3.1.2 Descarga del agua subterránea

El agua subterránea mana de forma natural de distintas formas de surgencias como manantiales. Cuando no hay surgencias naturales, se puede acceder al agua subterránea a través de pozos, perforaciones que llegan hasta el acuífero y se llenan parcialmente con el agua subterránea, siempre por debajo del nivel freático, en el que provoca una depresión local.

La principal razón para el descenso del nivel freático es la sobreexplotación. En algunas partes del mundo la extensión de la irrigación y de otras actividades que consumen agua se han hecho a costa de acuíferos cuya recarga es lenta o casi nula.

### 3.1.3 La composición química de las aguas subterráneas

Al cabo de un determinado tiempo, se encuentra en equilibrio químico-físico con el contenido de gases y de fases sólidas disueltas. Estos equilibrios dependen de la temperatura y de la presión del sistema y cualquier cambio en esas condiciones produce una variación en la composición química, que da lugar a una mayor disolución de los minerales o a la precipitación de éstos por recombinación iónica,

(Fagundo, 2014). Las diferencias entre el comportamiento de los parámetros de calidad en función de la fuente se presentan en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1: Diferencias entre agua subterránea y superficial.**

Parámetro de Calidad	Agua Superficial	Agua Subterránea
Temperatura	Varía con la estación	Relativamente constante
Turbiedad	Nivel variable	Bajo o nulo
Contenido mineral	Varía con el suelo	Apreciable
Fe <sup>+2</sup> , Mn <sup>+2</sup>	Ausente, fondo de lados	presente
CO <sub>2</sub>	Ausente	Presente en grandes cantidades
O <sub>2</sub>	Niveles de saturación	Ausente
NH <sub>3</sub>	Agua contaminada	Presente
H <sub>2</sub> S	Ausente	Presente
SiO <sub>2</sub>	Moderada porciones	Presente en altas concentraciones
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nivel bajo	Alto
Organismos vivos	Bacterias, virus, plancton	Ferrobacterias

Fuente: García (2014).

### 3.2 Calidad de Agua

El problema de la calidad de agua es tan importante como aquellos relativos a la escasez de esta, sin embargo, se le han brindado menos atención. El término calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos como: doméstico, riego, recreación e industria.

La calidad del agua se define como el conjunto de características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, la relación entre esta calidad del agua y las necesidades del usuario. También la calidad del agua se puede definir por sus contenidos de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución (Mendoza, 1976).

La evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud (FAO, 1993).

Muchas de las actividades humanas contribuyen a la degradación del agua, afectando su calidad y cantidad. Es de vital importancia, tanto para la salud humana como para el bienestar de la sociedad, contar con un abastecimiento seguro y conveniente, de satisfacción para el consumo humano, y la higiene personal, la distribución de agua debe ceñirse a normas adecuadas en cuanto a disponibilidad, cantidad, calidad y confiabilidad del abastecimiento.

El agua en su estado natural posee diversas sustancias químicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella. Desde el momento que se condensa en lluvia el agua disuelve los componentes químicos de su alrededor en el aire y también al entrar en contacto con el suelo.

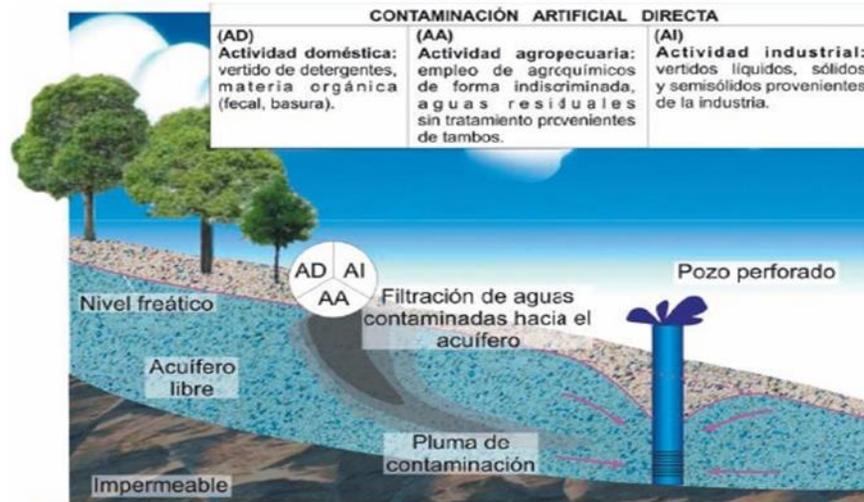
Además, el agua contiene organismos vivos que reaccionan con los componentes físicos y químicos los cuales son causantes de diversas enfermedades que se transmiten por el agua haciéndola potencialmente peligrosa; por esta razón debe poseer un alto grado de potabilidad que puede resumirse en: Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos.

### **3.2.1 Contaminación del agua**

La contaminación es la alteración de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del agua por la acción de procesos naturales o artificiales que producen resultados indeseables. La contaminación puede ser natural o artificial, es decir se puede dar por contaminantes naturales como sales disueltas productos de la erosión o de manera artificial por acción directa o inducida (Auge, 2006).

El agua subterránea se contamina cuando algunas sustancias tóxicas se disuelven en el agua superficial y son acarreadas o lixiviadas a acuíferos con el agua percolada. Se deben considerar las propiedades y cantidades de las sustancias tóxicas y del suelo encima del acuífero para determinar si una sustancia en particular contaminará a un acuífero específico (Hornsby, 1986).

La contaminación del agua subterránea puede permanecer por largos períodos de tiempo. Esto se debe a la baja tasa de renovación y largo tiempo de residencia, ya que al agua subterránea no se le puede aplicar fácilmente procesos artificiales de depuración como los que se pueden aplicar a los depósitos superficiales, por su difícil acceso.



**Figura 3.2: Contaminación del agua subterránea.**

*Fuente: Collazo M, 2012.*

El agua subterránea se contamina cuando algunas sustancias tóxicas se disuelven en el agua superficial y son acarreadas o lixiviadas a acuíferos con el agua percolada. Se deben considerar las propiedades y cantidades de las sustancias tóxicas y del suelo encima del acuífero para determinar si una sustancia en particular contaminará a un acuífero específico (Hornsby, 1986).

La contaminación del agua subterránea puede permanecer por largos períodos de tiempo. Esto se debe a la baja tasa de renovación y largo tiempo de residencia, ya que al agua subterránea no se le puede aplicar fácilmente procesos artificiales de depuración como los que se pueden aplicar a los depósitos superficiales, por su difícil acceso.

En caso de zonas locales de contaminación se pueden realizar remediación de acuíferos mediante la técnica de bombeo y tratamiento, que consiste en extraer agua del acuífero, tratarla químicamente, e inyectarla de vuelta al acuífero.

Entre las causas antropogénicas están la infiltración de nitratos y otros abonos químicos muy solubles usados en la agricultura. Estos suelen ser una causa grave de contaminación de los suministros en llanuras de elevada productividad agrícola y densa población.

### 3.2.2 Tipos de contaminantes

El agua es un recurso natural indispensable para la vida. Constituye una necesidad primordial para la salud, por ello debe considerarse uno de los derechos humanos básicos. En las sociedades actuales el agua se ha convertido en un bien muy preciado, debido a la escasez, es un sustento de la vida y además el desarrollo económico está supeditado a la disponibilidad del agua.

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación, pero esta misma facilidad de regeneración y su aparente abundancia hacen que sea el vertedero habitual de residuos sólidos, pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc. Los principales contaminantes se resumen en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2: Contaminantes del agua.**

<b>Tipo de Contaminante</b>	<b>Impacto</b>
Elementos traza	Salud, toxicidad
Metales pesados	Salud, toxicidad
Metales enlazados orgánicamente	Transporte de metales
Radionúclidos	Toxicidad
Contaminantes inorgánicos	Toxicidad, vida acuática
Asbesto	Salud humana
Nutrientes de las algas	Eutrofización
Acidez, alcalinidad, salinidad	Vida acuática
Contaminantes orgánicos	Toxicidad
Medicamentos, anticonceptivos	Calidad del agua, vida acuática
Difenilopoliclorados	Posibles efectos biológicos
Plaguicidas	Toxicidad, vida acuática
Residuos de petróleo	Contaminación visual
Materia orgánica	Calidad del agua, niveles de oxígeno
Patógenos	Efectos en la salud humana
Detergentes	Eutrofización, contaminación visual
Compuestos carcinogénicos	Incidencia de cáncer
Sedimentos	Calidad del agua, vida acuática
Contaminantes físicos	Calidad del agua, vida acuática, contaminación visual

Fuente: Stanley (2007).

Los contaminantes mencionados anteriormente, se clasifican en tres categorías, químicos, físicos, y biológicos.

Los contaminantes químicos comprenden tanto los productos químicos orgánicos como inorgánicos, el aspecto fundamental resultante de este tipo de contaminación, es la disminución de oxígeno disuelto como resultado de la utilización del existente en el proceso de degradación de dichos compuestos.

Los contaminantes físicos incluyen cambios térmicos, color, turbiedad, detergentes, radioactividad ya que son aquellos parámetros del agua que corresponden a los sentidos de tacto, sabor, olor y visión.

Los contaminantes biológicos son los responsables de la transmisión de enfermedades en las aguas de abastecimiento como son el cólera, tifoidea y paratifoidea, (Ramalho, 1996).

**Tabla 3.3: Clasificación de los contaminantes.**

<b>Parámetros</b>		
<b>Químicos</b>	<b>Físicos</b>	<b>Biológicos</b>
pH	Color verdadero	Coliformes Termotolerantes
Oxígeno Disuelto	Turbiedad	Coliformes Totales
Cloro Residual	Temperatura	
Cloruros	Conductividad	
Dureza		
Alcalinidad		
Sulfatos		
Aluminio		
Sólidos Totales Disueltos		
Nitratos		
Nitritos		
Amonio		
Hierro		
Manganeso		
Flúor		
Arsénico		
plomo		

*Fuente: Stanley (2007).*

### **3.3 Efecto de los Contaminantes del Agua a la Salud y al Ambiente**

#### ***pH***

Según Sánchez (2007) la principal consecuencia causada por la variación de pH al medio ambiente se centra en daños sufridos por los peces de agua dulce y a los invertebrados que viven en el fondo, pero el impacto ambiental más significativo comprende el efecto sinérgico que es la combinación de dos o más sustancias que producen efectos mayores que la adición independiente.

#### ***Temperatura***

La alteración de la temperatura puede ocasionar graves desequilibrios en los ecosistemas acuáticos, ya que un incremento en la temperatura del agua interviene de forma decisiva en los procesos biológicos, llegando incluso a imposibilitar algunas reacciones bioquímicas, además es un factor limitante para los determinados organismos que puede impedir su supervivencia cuando se producen fuertes variaciones en las condiciones térmicas. Ya que este aumento de temperatura reduce significativamente la cantidad de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua. Esto es debido a que los peces son organismos poiquiloterms, es decir su temperatura corporal depende en gran medida de la temperatura del agua, por lo que lógicamente sus funciones se verán afectadas por este parámetro, tanto su metabolismo en general como su ciclo sexual, (Orvay, 1993).

#### ***Nitratos ( $NO_3^-$ ) y Nitritos ( $NO_2^-$ )***

Ramos (2003) comenta que los nitratos no son en sí mismos tóxicos. El peligro potencial de los nitratos radica en la eventual transformación en nitritos dentro del organismo. Esta transformación, que implica una reducción enzimática, puede ocurrir en la cavidad bucal y bajo ciertas condiciones, en el tubo digestivo. Pero el efecto más conocido producido por una alta concentración de nitritos en sangre es la transformación de la hemoglobina a metahemoglobina.

Además, la ingesta de altas concentraciones de nitratos puede provocar serias afectaciones, por ejemplo, hipertensión, diuresis mal equilibradas, disfunciones gástricas que modifican las condiciones de reactividad de los nitritos a nivel del estómago, mujeres embarazadas con ciertas disfunciones enzimáticas, y adultos.

### ***Sólidos Totales Disueltos (STD)***

De acuerdo con Capó (2002) el principal efecto al ambiente es debido a que dichas partículas constituyen un obstáculo físico frente al paso de la luz solar, con lo que influyen en la fotosíntesis, además dificultan la respiración de los peces y el desarrollo de microorganismos que viven en el agua.

### ***Turbiedad***

Sánchez (2007) expresa que la turbiedad es una medida en que el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión provocando una disminución de la actividad fotosintética de plantas y algas que trae como consecuencia una baja en la concentración de oxígeno.

### ***Oxígeno Disuelto (OD)***

Asimismo, Sánchez (2007) los bajos niveles de oxígeno disuelto, puede favorecer el crecimiento descontrolado de algas y al llegar a niveles menores de 2 mg/L los peces y muchos invertebrados sufren grandes mortalidades al punto de alcanzar el cuerpo de agua condiciones de virtual anoxia.

### ***Cloro Residual***

El exceso de cloro en el agua potable genera la posible existencia de potentes tóxicos conocidos como cloraminas que en los humanos está asociado con cáncer, enfermedades renales, daños en la tiroides, y defectos de nacimientos. Así mismo la ausencia de cloro en el agua potable podría indicar un bajo índice de desinfección, generando la proliferación de microorganismos patógenos (Ortuño, 2005).

### ***Hierro***

La sobre ingesta de hierro puede conducir a la hemocromatosis, una enfermedad grave que puede dañar los órganos del cuerpo. Los primeros síntomas incluyen fatiga, pérdida de peso y dolor en las articulaciones, pero si la hemocromatosis no es tratada, puede conducir a enfermedades del corazón, problemas del hígado y la diabetes, (Capó, 2002).

### ***Conductividad***

Las variaciones de la conductividad del agua influyen en los efectos provocados por otros parámetros ya que, a mayor conductividad del agua, mayor es la concentración de sólidos y sales disueltas en ella. Pero directamente no presenta ningún daño a la salud o al ambiente, (Ramos, 2003).

### ***Dureza***

La dureza no tiene ningún efecto en la salud y el consumo de agua con altas, o bajas concentraciones de dureza son irrelevantes y no tiene consecuencias en la salud del consumidor, ni a corto ni largo plazo, (EPA, 1993).

### ***Alcalinidad***

Jiménez (2001) expresa que el ambiente con un alto nivel de alcalinidad puede generar daños a los cultivos. La alcalinidad expresa la capacidad que tiene el agua de mantener su pH a pesar de recibir una solución ácida o alcalina. Corresponde principalmente a los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  siendo los más comunes los de calcio y magnesio.

En la salud de seres humanos no se ha reportado ningún daño, ni a corto, ni largo plazo, en cuanto al ambiente, la alcalinidad es utilizada a veces como una medida para ayudar a la vida de las plantas, de manera que un alto valor indica un elevado potencial de fertilidad, debido a que normalmente las algas extraen el  $\text{CO}_2$  del  $\text{H}_2\text{CO}_3$  aprovechándolo para sus actividades fotosintéticas, (Baird, 2001).

### ***Color Verdadero***

Las variaciones drásticas de color en el agua son debidas a la formación de sulfuros metálicos, generalmente en las aguas residuales, pero las aguas que contienen coloración debido a sustancias naturales en descomposición no son consideradas tóxicas, pero, normalmente la coloración de estas aguas es amarillo pardo, por lo que son consideradas antiestéticas. Pero si el color es debido a contaminantes industriales, la toxicidad es directamente asociada a ese tipo de contaminante.

En los ecosistemas acuáticos el color verdadero actúa como filtro de longitudes de onda que son necesarias para algunas especies, la cual, al no subsistir,

desestabiliza el cuerpo acuífero receptor interfiriendo con la estructura de la pirámide trófica, (Ramos, 2003).

### **Arsénico**

La exposición al arsénico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. A exposiciones muy altas de arsénico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres.

En cuanto al ambiente el arsénico está actualmente relacionado con la contaminación de las aguas superficiales aumentando las posibilidades de alterar el material genético de los peces. Esto es mayormente causado por la acumulación de arsénico en los organismos de las aguas dulces consumidores de plantas. Las aves comen peces que contienen eminentes cantidades de arsénico y morirán como resultado del envenenamiento como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos, (Lenntech, 2014).

Produce erosión de los depósitos naturales de agua. Suele estar presente en el agua de escurrimiento de los huertos. Se encuentra en aguas residuales de la fabricación del vidrio y de productos electrónicos.

### **Aluminio**

La toma de concentraciones significativas de aluminio puede causar serias complicaciones en la salud humana, tales como, daño al sistema nervioso central, demencia, pérdida de la memoria, temblores severos. El principal efecto negativo de la presencia de aluminio en los cuerpos de agua es, la acumulación de este metal en las plantas y causar problemas de salud a animales que consumen esas plantas.

Además, en estos lagos un número de peces y anfibios están disminuyendo debido a las reacciones de los iones de Aluminio con las proteínas de las agallas de los peces y los embriones de las ranas de igual manera elevadas concentraciones de Aluminio no sólo causan efectos sobre los peces, sino también sobre los pájaros y otros animales que consumen peces contaminados e insectos, (Lenntech, 2014).

## **Flúor**

El flúor es esencial para mantener la solidez de los huesos. El flúor también puede proteger del decaimiento dental. Pero si se absorbe flúor con demasiada frecuencia, puede provocar caries, osteoporosis y daños a los riñones, huesos, al aplicarlo en los dientes reduce la solubilidad del esmalte, produciendo así una protección contra las caries; sin embargo, en concentraciones de 3 a 6 mg/L puede generar fluorosis esquelética, y de 20 a 40 mg/L al día por periodos prolongados, puede generar fluorosis esquelética invalidante. En dosis elevadas el fluoruro es altamente tóxico ocasionando vómitos, dolor abdominal, diarrea e incluso convulsiones. Posteriormente ocasiona gastroenteritis.

En cuanto al medio ambiente algunos daños ocasionados por la exposición al flúor los padecen las plantas que son sensibles a la exposición del flúor incluso bajas concentraciones de flúor pueden provocar daños en las hojas y una disminución del crecimiento, (Ramos, 2003).

## **Manganeso**

Los principales síntomas por la ingesta de altas concentraciones de manganeso, por medio del agua potable, son alucinaciones, olvidos y daños en los nervios. El Manganeso puede causar Parkinson, embolia de los pulmones y bronquitis, esquizofrenia, depresión, debilidad de músculos, dolor de cabeza e insomnio. Mientras en el ambiente las concentraciones altamente tóxicas de Manganeso pueden causar inflamación de la pared celular, abrasamiento de las hojas y puntos marrones en las hojas, toxicidad y deficiencia en plantas, (Lenntech, 2014).

## **Sulfatos ( $SO_4^{2-}$ )**

La presencia de sulfatos en el agua potable indica la posibilidad de contaminación del acuífero por aguas contaminadas o residuales. Aunque no representa toxicidad o daño alguno, los herbicidas o pesticidas que también están presentes en las aguas de riego agrícola son una advertencia de la calidad del agua ya que la presencia de en el agua puede ser debida a los agroquímicos

En la salud humana el exceso de sulfatos tiene un efecto de laxante especialmente en combinación con manganeso o sodio.

## ***Amonio***

La presencia de amoniaco en el agua de consumo no tiene repercusiones inmediatas sobre la salud, de modo que no se propone un valor de referencia basado en efectos sobre la salud. No obstante, el amoniaco puede reducir la eficiencia de la desinfección, ocasionar la formación de nitrito en sistemas de distribución, obstaculizar la eliminación de manganeso mediante filtración y producir problemas organolépticos.

El amoniaco es fácilmente biodegradable, las plantas lo absorben con mucha facilidad eliminándolo del medio, de hecho, es un nutriente muy importante para su desarrollo, aunque la presencia de elevadas concentraciones en las aguas superficiales, como todo nutriente, puede causar graves daños en los seres vivos, ya que interfiere en el transporte de oxígeno por la hemoglobina, (Capó, 2002).

## ***Plomo***

(Ortuño, 2005) Explica que el plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. Este es el porqué de los sistemas de tratamiento de aguas públicas son ahora requeridos llevar a cabo un ajuste de pH en agua que sirve para el uso del agua potable. El plomo puede causar varios efectos no deseados, como son:

Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia, incremento de la presión sanguínea, daño a los riñones, abortos, perturbación del sistema nervioso, daño al cerebro, disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma, disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños, perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad.

El plomo puede entrar en el feto a través de la placenta de la madre. Debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer.

Mientras en el ambiente, el plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento por plomo. El efecto sobre la salud de los crustáceos puede

tener lugar incluso cuando sólo hay pequeñas concentraciones de plomo presente.

Las funciones en el fitoplancton pueden ser perturbadas cuando interfiere con el plomo que es una fuente importante de producción de oxígeno en los océanos y de alimento para algunos organismos acuáticos de variado tamaño. Pequeñas concentraciones pueden causar graves mutaciones en algunos organismos sensibles,

### ***Coliformes Termotolerantes y Totales***

Los riesgos de infección para los consumidores debido a la ingesta de agua contaminada varían de caso en caso, a causa de los organismos patógenos. El indicador universal de estos organismos han sido las coliformes en especial la denominada *Escherichia coli*, la cual es de origen fecal tanto humano como animal, siendo excretadas en enorme cantidad. Su presencia en el agua es un indicador que ha ocurrido contaminación fecal y que definitivamente existe riesgo de patógenos en dicha agua, (EPA, 1993).

La mayoría de las personas sufrirán de dolores de estómagos, algo de fiebre y diarrea; pero muchas personas no presentarán síntomas. En casos severos, pueden tener diarrea con sangre, lo cual requiere de atención médica inmediata.

Los microorganismos causantes de las enfermedades pueden entrar a nuestro cuerpo por varias vías, como la boca y los pies descalzos. Cuando salen lo hacen también por la boca y nariz, así como por las excretas, es decir, heces y orina. Si una persona está infectada, los microorganismos o sus huevos salen por las excretas, estas infectan las aguas y suelos, pasando a otros organismos, denominados vectores de transmisión (moscas, mosquitos o cucarachas, entre otros), desde los cuales vuelven al hombre, (Maquez, 2010).

### **3.4 Índice de Calidad del Agua (ICA)**

Los índices de calidad son herramientas que permiten asignar un valor de calidad al medio a partir del análisis de diferentes parámetros. Su combinación da una visión más precisa del estado ecológico y el estado del medio biológico.

El Índice de calidad de agua propuesto por Brown (1970), es una versión modificada del "WQI" que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional

de EE.UU. (NSF), que, en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: Índice de Calidad de Agua (ICA). Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo.

Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no. Para la determinación del “ICA” interviene nueve parámetros, los cuales son:

- Coliformes Termotolerantes
- pH
- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Nitratos
- Fosfatos
- Temperatura
- Turbidez
- Sólidos Totales Disueltos (STD)
- Oxígeno Disuelto (OD)

El ICA es un número adimensional que toma valores (entre 0 a 100) su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$ICA = \left( \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right) \quad (3.1)$$

Donde:

$I_i$  es la función de subíndice

$W_i$  es el peso relativo asignado a cada parámetro

$N$  es el número de parámetros evaluados

**Tabla 3.4: Fórmulas para el cálculo de la función subíndice y pesos relativos.**

Parámetro	Función del subíndice (I)	Peso relativo (W)
Coliformes Fecales	$I_{Colif} = 106 (CF)^{-0.1286}$	11.6
OD % Sat	$I_{OD} = 0.82(OD) + 10.56$	10.9
DBO <sub>5</sub>	$I_{DBO5} = 108 (DBO_5)^{-0.3494}$	9.7
Coliformes Totales	$I_{ColT} = 136 (CT)^{-0.1311}$	9.0
Nitratos	$I_{NO3} = 125 (NO_3)^{-0.2718}$	9.0
Conductividad	$I_{Cond} = 506 (Cond)^{-0.3315}$	7.9
Temperatura	$I_T = 10^{2.004 - 0.0382 \Delta T}$	7.7
pH	Si pH < 6.9      ⊗ $I_{pH} = 10^{0.6809 - 0.1856 (pH)}$ Si 6.9 ≤ pH ≤ 7.1      ⊗ $I_{pH} = 100$ Si pH > 7.1      ⊗ $I_{pH} = 10^{3.655 - 0.2216 (pH)}$	7.7
Cloruros	$I_{Cl^-} = 391 (Cl)^{-0.3480}$	7.4
Dureza	$I_{Dur} = 552 (Dur)^{-0.4488}$	6.5
Alcalinidad	$I_{Alc} = 110 (Alc)^{-0.1342}$	6.3
Color	$I_{Color} = 127 (Color)^{-0.2394}$	6.3

Fuente: Dinius, 1987.

**Tabla 3.5: Comparación de ICA con respecto al uso.**

Rango ICA	CRITERIOS		GENERALES	
	Edo	USO: AGUA POTABLE	Edo	USO: RIEGO AGRICOLA
90	EXCELENTE	NO REQUIERE PURIFICACION PARA SU CONSUMO	EXCELENTE	NO REQUIERE DE TRATAMIENTO PARA RIEGO
80	ACEPTABLE	REQUIERE PURIFICACION MENOR	ACEPTABLE	TRATAMIENTO MENOR PARA CULTIVOS QUE REQUIEREN DE ALTA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO
70	LEVEMENTE CONTAMINADA	DUDOSO SU CONSUMO SIN PURIFICACION	LEVEMENTE CONTAMINADA	UTILIZABLE EN LA MAYORIA DE LOS CULTIVOS
50	CONTAMINADA	TRATAMIENTO DE POTABILIZACION INDISPENSABLE	CONTAMINADA	TRATAMIENTO REQUERIDO PARA LA MAYORIA DE LOS CULTIVOS
40	FUERTE CONTAMINADA	DUDOSO PARA CONSUMO	FUERTE CONTAMINADA	SOLO PARA CULTIVOS MUY RESISTENTES (FORRAJES)
30	EXCESIVA	INACEPTABLE PARA CONSUMO	EXCESIVA	INACEPTABLE PARA RIEGO
20				

ESCALA DE CALIDAD DEL AGUA



EXCELENTE    ACEPTABLE    LEVEMENTE CONTAMINADA    CONTAMINADA    FUERTE CONTAMINADA    EXCESIVA

Fuente: Dinius, 1987.

### 3.5 Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense para la Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON 05 007 98)

Esta norma clasifica los recursos hídricos en potable, agua destinada al uso doméstico, uso agropecuario, agua marina, agua destinada a balnearios, agua destinada para usos industriales y agua destinada a la navegación y generación de energía.

A continuación, se presentan las características que debe de cumplir el Agua Tipo 1 destinada al uso doméstico (Tabla 3.6).

**Tabla 3.6: Características de agua tipo 1 para uso doméstico.**

Parámetro	Limite o Rango Máximo	
	Categoría 1 A	Categoría 1B
Oxígeno Disuelto (OD)	> 4,0 mg/L (*)	> 4,0 mg/L (*)
pH	min 6,0 y máx 8,5	min 6,0 y máx 8,5
Color Real	< 15 mg/L Pt-Co	< 150 mg/L Pt-Co
Turbiedad	< 5 NTU	< 250 NTU
Fluoruros	min 0,7 mg/L y máx 1,5 mg/L	<1,7 mg/L
Hierro Total	0,3 mg/L	3 mg/L
Sólidos Totales Disueltos	1 000 mg/L	1 500 mg/L
Sulfatos	250 mg/L	400 mg/L
Cloruros	250 mg/L	600 mg/L
Organismos Coliformes Totales	(**)	(***)

(\*) También puede ser expresado como porcentaje de saturación y debe ser mayor de 50%

(\*\*) Promedio mensual menor de 2000 NMP por cada 100 mL

(\*\*\*) Promedio mensual menor de 10000 NMP por cada 100 mL

**Tabla 3.7: Categorías 1A y 1B.**

Parámetro	Límite o Rango máximo
Dureza como CaCO <sub>3</sub>	400 mg/L
Nitritos + Nitratos (N)	10 mg/L
Sodio	200 mg/L

### 3.6 Normativa CAPRE

En la Tabla 3.8 se presentan los valores recomendados y máximos admisibles para agua de consumo humano

**Tabla 3.8: Normativa CAPRE.**

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Color	mg/L (Pt-Co)	1	15
Turbiedad	NTU	1	5
Olor	Factor dilución	0	2 a 12 °C 3 a 25 °C
Temperatura	°C	18	30
Concentración			
Iones hidrógeno	pH	6,5 a 8,5 (a)	
Conductividad	µS/cm	400	
Cloruros	mg/L	25	250
Dureza	mg/L	400	
Calcio	mg/L	100	
Sodio	mg/L	25	200
Potasio	mg/L		10
Sólidos Totales Disueltos (STD)	mg/L		1 000
Nitratos	mg/L	25	50
Nitritos	mg/L		(b)
Amonio	mg/L	0,05	0,5
Hierro	mg/L	0,1	0,3
Manganeso	mg/L		0,5
Fluoruro	mg/L		0,7-1,5
Arsénico	mg/L		0,01

(a) Las aguas deben ser estabilizadas de manera que no produzcan efecto corrosivo ni incrustante en los acueductos

(b) Nitritos valor máximo recomendado 0,1 a 3,0.

### 3.7 Tratamiento de Agua Subterránea

Para la selección del tratamiento que deberá emplearse es necesario tener en cuenta diversos factores tanto económicos, sociales y culturales de la comunidad, así como energético para garantizar la eficiencia del sistema con el mínimo costo posible.

Algunos tratamientos son tradicionales y con amplia experiencia acumulada en su uso, y otros de nueva aplicación. Se hará una descripción tecnológica de los tratamientos convencionales del agua subterránea.

### **3.7.1 Bombeo y tratamiento**

Existen diferentes técnicas para el tratamiento de los sitios contaminados. En muchos sitios es aplicable el método de bombeo y tratamiento de las aguas contaminadas.

El bombeo se realiza aplicando una presión negativa a través de una serie de pozos construidos en una zona suficiente que abarca la región contaminada. El agua contaminada es llevada a una planta de tratamiento. Una vez tratada y descontaminada, el agua es o bien descargada en ríos o re-inyectada en las aguas subterráneas. Hay varios métodos para devolver el agua tratada al acuífero, uno de los cuales son los pozos de re-inyección.

### **3.7.2 Fijación geoquímica**

El objetivo es reducir los parámetros contaminantes, logrando una conversión de material termodinámicamente estable de esta manera pueden precipitar y formar parte de los sólidos del acuífero.

En primer lugar, se extrae el agua contaminada, se le añade la dosis del agente reductor y después se reinyecta el agua tratada en el acuífero. La eficacia de esta técnica depende de la capacidad de actividad del agente reductor

### **3.7.3 Barreras reactivas permeables (BRP)**

El reciente desarrollo de las barreras reactivas permeables ha presentado una alternativa potencialmente viable a los sistemas de bombeo-y-tratamiento (EPA, 1998).

Las barreras reactivas permeables o PRB (permeable reactive barriers), según sus siglas en inglés, son paredes que se construyen bajo la superficie del terreno para eliminar la contaminación de las aguas subterráneas. Las paredes son permeables, lo que significa que tiene pequeños orificios que dejan pasar el agua subterránea a través de ellas. Los materiales reactivos de la pared atrapan las

sustancias químicas dañinas o las transforman en sustancias inofensivas. Las aguas subterráneas salen limpias del otro lado de la pared.

### **3.8 Tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FiME)**

La Filtración en Múltiples Etapas (FiME) es una combinación de Filtración Gruesa en Grava (FG) y de Filtración Lenta en Arena (FLA). Esta combinación hace posible el tratamiento de agua con niveles de contaminación muy superiores a los que se pueden tratar utilizando sólo la FLA.

La FiME conserva las ventajas de la FLA como una tecnología robusta y confiable, que puede ser mantenida por operadores con bajos niveles de escolaridad. Es mucho más sostenible que el tratamiento químico del agua para las comunidades rurales, pequeños y medianos municipios de los países en vía desarrollo, así como para las áreas más remotas de los países industrializados.

Otros procesos de tratamiento como la sedimentación, las trampas de arena y rejillas pueden preceder a los sistemas FiME. Donde sea posible, se debe incluir la desinfección final como una barrera de seguridad después de la FiME (G. Galvis, et al, 1999).

Una planta FiME presenta ventajas significativas que le hacen más sostenible frente a otras opciones para el tratamiento de agua en zonas rurales, como son las plantas presurizadas que hacen uso de químicos o aquellos que requieren energía eléctrica para la potabilización del agua (AGUASAN, 2015).

**Calidad de agua tratada:** Es una excelente alternativa para mejorar la calidad física, química y microbiológica del agua.

**Facilidades de construcción:** Su diseño es relativamente simple y facilita el uso de materiales y mano de obra local. No se requiere equipo especializado.

**Costos de construcción:** La construcción con materiales y mano de obra local reduce los costos. Usualmente no se requiere materiales importados.

**Facilidad de operación y mantenimiento:** Después de un corto periodo de capacitación, operadores locales, con un nivel de escolaridad básico, pueden operar y mantener el sistema.

**Costos de operación y mantenimiento:** Estos costos, así como las necesidades de energía eléctrica, son menores que en otros sistemas.

**Limpieza:** El proceso de limpieza es simple, aunque laborioso y puede ser realizado por la comunidad.

**Confiabilidad:** Los riesgos de fallas mecánicas son bajos, pero si ocurren pueden resolverse la mayoría de las veces sin interrupción del servicio. Como cualquier otra tecnología las plantas de tipo FiME tienen limitaciones ante condiciones extraordinarias que pudiesen registrarse en el ambiente en que operan. Existen niveles de contaminación o factores ambientales que podrían inhibir los procesos de tratamiento de una FiME y harían necesario implementar otras etapas de pretratamiento que aumentarían los costos de operación y mantenimiento.

### 3.8.1 Criterios de diseño y dimensionamiento de FiME

Para agua superficial en comunidades rurales menores a mil habitantes se utiliza Filtración en Múltiple Etapas la cual consiste en la combinación de procesos de filtración gruesa en grava y filtros lentos de arena. La filtración en múltiple etapa (FiME) puede estar compuesta por dos o tres etapas de filtración dependiendo del grado de contaminación que tenga el cuerpo de agua. La selección de las etapas de FiME depende la calidad del agua entrante al sistema y se muestra en la Tabla 3.9 (Galvis et al, 2007).

**Tabla 3.9: Selección de etapas FiME.**

	Turbiedad (UNT)	< 10	10-20	20-50	50-70 (*)
	Color Real (UC)	< 20	20-30	30-40	30-40 (*)
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)					
< 500	Sin FGA		FGAC <sub>0,6</sub>	FGAC <sub>0,45</sub>	FGAS <sub>3,0,3</sub>
500 - 10000		FGAC <sub>0,6</sub>	FGAC <sub>0,6</sub>	FGAC <sub>0,45</sub>	FGAS <sub>3,0,3</sub>
10000 - 20000 (*)		FGAC <sub>0,45</sub>	FGAC <sub>0,45</sub>	FGAC <sub>0,45</sub>	FGAS <sub>3,0,3</sub>

Fuente: G. Galvis et al, 2007.

### **Filtros Gruesos Dinámicos (FGDI)**

Los filtros dinámicos son tanques que contienen una capa delgada de grava fina (6 a 13 mm) en la superficie, sobre un lecho de grava más grueso (13-25 mm) y un sistema de drenaje en el fondo (Galvis et al, 2007).

Esta unidad es utilizada para reducir los extremos de los picos de turbiedad y proteger de esta manera la planta de tratamiento ante altas cargas de sólidos transportadas por la fuente durante unas pocas horas (Figura 3.3).



**Figura 3.3: Filtro grueso dinámico, (FGDi).**

*Fuente: Cooperación Suiza en América Central, programas de Agua y Saneamiento (AGUASAN), 2014.*

#### ***Criterio de diseño del (FGDi)***

Los diferentes elementos que constituyen un filtro grueso dinámico generalmente son: cámara de filtración, lechos filtrantes y de soporte, estructuras de entrada y salida, sistema de drenaje y cámara de lavado y accesorios de regulación y control.

### **Cámara de filtración**

Las dimensiones de esta unidad están en dependencia del caudal y la velocidad de flujo. La cámara debe tener la capacidad suficiente para contener el sistema de drenaje, lecho filtrante y la altura de agua sobre el lecho. El borde libre debe tener 0,2 metros. La razón largo/ancho será de 3:1 a 6:1, recomendable para diseño 5:1 o según sea la realidad de la zona en estudio (Galvis et al, 2007).

### **Medio filtrante y de soporte**

Para el medio filtrante se recomienda la siguiente granulometría y espesor de capas.

**Tabla 3.10: Granulometría y espesor del medio filtrante en un FGD.**

Capa	Espesor de la Capa (m)	Tamaño de Grava (mm)
Superior	0,20	3,0 – 6,0
Intermedio	0,20	6,0 – 13,0
Inferior, Fondo	0,20	13,0 – 25,0

Fuente: G. Galvis et al, 2007.

Para el medio de soporte se recomienda las siguientes características.

**Tabla 3.11: Granulometría y espesor del medio de soporte en un FGD.**

Capa	Tipo	Tamaño (mm)	Espesor de la Capa (mm)
Superior	Arena gruesa	1-2	50
Segunda	Grava fina	2-5	50
Tercera	Grava	5 - 10	50
Inferior	Grava gruesa	10 - 25	150

Fuente: G. Galvis et al, 2007.

### **Velocidad de filtración**

La velocidad de filtración varía entre los 2,0 a 3,0 m/h dependiendo de la calidad del agua cruda. A mayor contaminación del agua afluente menor velocidad de filtración (Galvis et al, 2007).

### ***Estructuras de entrada y de salida***

La estructura de entrada consta de una cámara para remoción de material grueso y una cámara de disipación. El agua ingresa por una tubería a la cámara que contiene un vertedero de excesos y una reglilla de aforo, donde se remueve el material grueso. Inmediatamente, ingresa a una cámara de disipación por medio de un vertedero de entrada (Galvis et al, 2007).

La estructura de salida está compuesta por una tubería perforada ubicada en la parte inferior del lecho filtrante. Esta a su vez cumple la función de drenaje y recolección de agua filtrada (Galvis et al, 2007).

### ***Sistema de drenaje y cámara de lavado***

El sistema de drenaje es una tubería de perforada que cumple la función de recolección de agua filtrada también y regulado por válvulas. Las cámaras de lavado deben ser amplias, seguras y de fácil acceso, sus dimensiones deben ser tales que faciliten el desplazamiento y maniobrabilidad del operador, recomendándose áreas superficiales entre 3 m<sup>2</sup> y 5 m<sup>2</sup> profundidades entre 0,20 y 0,40 m (Galvis et al, 2007).

La cámara debe ser abastecida con agua cruda para facilitar el mantenimiento eventual del FGD<sub>i</sub>. El conducto de desagüe debe ser calculado para evacuar el caudal máximo de lavado y evitar sedimentación en su interior (Galvis et al, 2007).

La velocidad superficial de lavado ( $V_s$ ) puede variar entre 0,15 y 0,3 m/s, dependiendo del tipo de material predominante en el agua cruda; se asume una velocidad cercana a 0,15 m/s cuando predominan limos y material orgánico y superior a los 0,2 m/s para arenas y arcillas (Galvis et al, 2007).

### ***Accesorios de regulación y control***

La altura del vertedero de salida, medido a partir del lecho superficial de grava fina debe ser entre 0,03 y 0,05 m (Galvis et al, 2007).

En la Tabla 3.12 se muestran los criterios para el diseño de un filtro grueso dinámico, también se presenta un esquema de los componentes de este tipo de filtro.

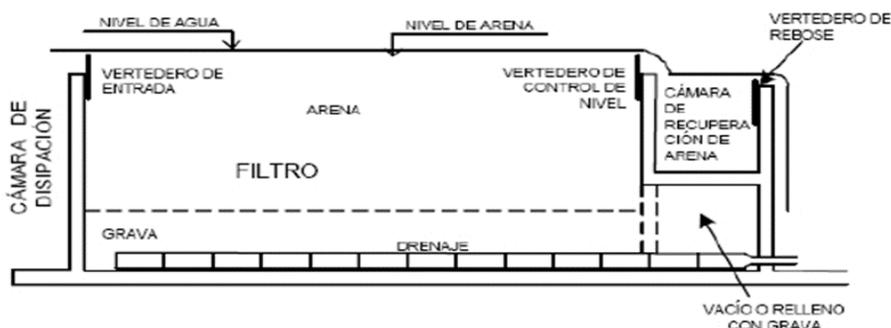
**Tabla 3.12: Resumen de criterios de diseño para el FGDl.**

Criterio	Valores Recomendados
Período de diseño (años)	8 - 12
Período de operación (h/d) (*)	24
Velocidad de filtración (m/h)	2-3
Número mínimo de unidades en paralelo	2
Area de filtracion por unidad (m <sup>2</sup> )	< 10
Velocidad superficial del flujo durante el lavado superficial (m/s)	0,15 – 0,3
Medio filtrante	0.6
. Longitud (m)	Tablas 3.10 y 3.11
. Tamaño de gravas (mm)	0,03-0,05 (**)
Altura del vertedero de salida (m)	

Fuente: Galvis et al, 2007.

(\*) En estaciones de bombeo de agua con períodos de bombeo inferiores a 24 h/d del cual se suministre agua de manera continua al FGDl.

(\*\*) Medidos a partir del lecho superficial de grava fina.



**Figura 3.4: Esquema de un filtro grueso dinámico.**

Fuente: Galvis et al, 2007.

### Dimensionamiento

Las ecuaciones para el dimensionamiento de un filtro grueso dinámico (Galvis et al, 2007) se muestran a continuación:

- **Número de filtros (N):** Normalmente se consideran como mínimo dos unidades para casos de mantenimiento o falla de uno de los filtros.
- **Área total del filtro (A<sub>r</sub>):** El área total del filtro se puede obtener del caudal de agua en m<sup>3</sup>/h y de la tasa de filtración.

$$A_f = \frac{Q_t}{V_f} \quad (3.2)$$

Donde:  $A_f$  es el area total del filtro,  $m^2$

$Q_t$  es el caudal total,  $m^3/h$

$V_f$  es la tasa filtración,  $m^3/m^2-h$

- **Área del filtro de cada unidad ( $A_{fi}$ ):**

$$A_{fi} = \frac{A_f}{N} \quad (3.3)$$

Donde:  $N$  es el número de unidades

- **Caudal del filtro ( $Q_{fi}$ ):**

$$Q_{fi} = \frac{Q}{N} \quad (3.4)$$

Donde:  $Q_{fi}$  es el caudal del filtro,  $m^3/h$

- **Caudal total ( $Q_t$ ):**

$$Q_t = Q_{md} + (R \times Q_{md}) \quad (3.5)$$

Donde:  $(R)$  Razón de flujo

- **Caudal de diseño ( $Q_d$ ):**

$$Q_d = \frac{Q_t}{N} \quad (3.6)$$

- **Altura de filtro:**

Pared de la caja de filtro será

$$H_f = H_{ls} + H_{lf} + H_{bl} \quad (3.7)$$

Donde  $H_f$  es la altura de la pared de caja (m)

$H_{ls}$  es la altura del lecho de soporte (0,3 m)

$H_{lr}$ : Altura de lecho de arena (0,5-0,7 m)

$H_{bl}$  es la altura del borde libre (0,2 m)

### **Filtros Gruesos Ascendentes en Capas (FGAC)**

Es un lecho filtrante de grava con un sistema de tuberías ubicadas en el fondo del filtro con el objetivo de distribuir el flujo de agua uniformemente dentro del lecho tal como se muestra en (Figura 3.5).



**Figura 3.5: Filtro grueso ascendente en capas (FGAC).**

*Fuente: Suiza en América Central, programas de Agua y Saneamiento (AGUASAN), 2014.*

#### ***Criterio de diseño del FGAC***

Un filtro grueso ascendente generalmente está compuesto de: cámaras de filtración, lecho filtrante, estructuras de entrada y salida, sistema de drenaje y cámara de lavado y accesorios de regulación y control.

#### ***Cámaras de filtración***

La altura total del filtro está determinada por la altura del lecho de grava (incluyendo la capa de soporte), el nivel de agua sobrenadante, la altura de agua adicional para facilitar y mejorar el lavado hidráulico y el borde libre. Está en el rango de 1,1 a 1,5 m (Galvis et al, 2007).

### **Medio filtrante**

Para el medio filtrante se recomienda la siguiente granulometría y espesor de capas.

**Tabla 3.13: Granulometría y espesor de capas de medio filtrante y de soporte del FGAC.**

Medio Filtrante (mm)	Altura (m)					
	FGAC	FGAS 2		FGAS 3		
		1	2	1	2	3
19 - 25	0,30*		0,20*		0,20*	0,15*
13 - 19	0,20 - 0,30	0,30*	0,15*	0,30*	0,15*	0,15*
6 - 13	0,15 - 0,20	0,30 - 0,45	0,30 - 0,45	0,15	0,15*	0,15*
3-6	0,15 - 0,20	0,30 - 0,45		0,45 - 0,75		
1.6 – 3	0,10 - 0,20		0,25 - 0,40		0,40 - 0,70	0,45 - 0,75
<b>Total (m):</b>						
<b>Soporte</b>	0,30	0,30	0,35	0,30	0,50	0,45
<b>Medio Filtrante</b>	0,60 - 0,90	0,60 - 0,90	0,55 - 0,85	0,60 - 0,90	0,40 - 0,70	0,45 - 0,75

Fuente: Galvis et al, 2007. \*Medio de soporte.

### **Medio de soporte**

En algunos casos la altura del medio de soporte puede ser superior a lo indicado en la tabla, dependiendo del tamaño de grava predominante en cada unidad, del tamaño de grava en contacto con el medio de soporte y del diámetro de los orificios en el múltiple. Se recomienda una altura de agua sobrenadante de 0,1 a 0,2 m (Galvis et al, 2007).

### **Estructuras de entrada y salida**

La estructura de entrada consiste en un canal pequeño que conduce el agua previamente acondicionada hasta la cámara de entrada a los filtros gruesos. En ella se reúnen tres tuberías: Tubería de entrada de agua, tubería de rebose y tubería de distribución hacia el lecho filtrante. La salida es por recolección del sobrenadante en tuberías que distribuyen el agua filtrada en una cámara que contiene una tubería en la parte inferior para el efluente tratado (Galvis et al, 2007).

### **Sistema de drenaje y cámara de lavado**

La descarga de la tubería de drenaje debe ubicarse entre 1,5 y 2,0 m por debajo de la losa de fondo del filtro grueso. El nivel de descarga de la tubería de drenaje en la cámara de lavado debe de estar entre los 2,5 y 3,0 m (Galvis et al, 2007).

### **Accesorios de regulación y control**

Los accesorios utilizados en las unidades de filtración gruesa incluyen válvulas para regulación de caudal, vertederos y reglillas de aforo, dispositivos que se instalan en la estructura de entrada de cada etapa de tratamiento

La Tabla 3.14 lista los criterios de diseño para un filtro grueso ascendente.

**Tabla 3.14: Criterios de diseño para filtros gruesos ascendentes.**

<b>Criterio</b>	<b>Valores Recomendados</b>
Período de diseño (años)	8 - 12
Período de operación (h/d)	24
Velocidad de filtración (m/h)(*)	0,3 - 0,6
Número de unidades en serie	
. FGAC	1
. FGAS	2 - 3
Medio filtrante	
Espesor total (m)	
. FGAC	0,60 - 0,90
. FGAS	0,40 - 0,90
Tamaño (mm)	Según Tabla 3.13
Medio de soporte total	
. Espesor (m)	0,30 – 0,50
. Tamaño (mm) (**)	Según Tabla 3.13
Altura sobrenadante de agua (m)	0,10 - 0,20
Carga estática de agua para lavado en contraflujo (m)	2,5 - 3,0
Área de filtración por unidad (m <sup>2</sup> )	15 – 25

Fuente: Galvis et al, 2007. (\*) A mayor contaminación del agua afluyente, menor velocidad de filtración

### **Dimensionamiento**

Las ecuaciones para el dimensionamiento de los filtros gruesos ascendentes de acuerdo a la metodología de Galvis et al (2007) se muestran a continuación:

### Area superficial (As):

$$A_s = \frac{Q_d}{N \cdot V_f} = b * L \quad (3.8)$$

Donde  $A_s$  es el area superficial,  $m^2$

$V_f$  es en m/h

N es el número de unidades

b es el ancho de la unidad (m)

L es la longitud de unidad (m)

### Filtros Lentos de Arena (FLA)

El tratamiento del agua en el FLA es el producto de un conjunto de mecanismos de naturaleza biológica y física, los cuales interactúan de manera compleja para mejorar la calidad microbiológica del agua.

Consiste en un tanque con un lecho de arena fina, colocado sobre una capa de grava que constituye el soporte de la arena la cual, a su vez, se encuentra sobre un sistema de tuberías perforadas que recolectan el agua filtrada. El flujo es descendente, con una velocidad de filtración muy baja que puede ser controlada preferiblemente al ingreso del tanque (Figura 3.6).



**Figura 3.6: Filtro lento de arena (FLA).**

*Fuente: Suiza en América Central, programas de Agua y Saneamiento (AGUASAN), 2014.*

### **Criterio de diseño del (FLA)**

Una unidad de filtración lenta en arena consta generalmente de los siguientes elementos: caja de filtración y estructura de entrada, sistema de drenaje, lecho filtrante, capa de agua sobrenadante (Galvis et al, 2007).

#### **Caja de filtración y estructura de entrada**

La caja del filtro posee un área superficial condicionada por el caudal a tratar, la velocidad de filtración y el número de filtros especificados para operar en paralelo.

Se recomiendan áreas de filtración máxima por módulo de 100 m<sup>2</sup> para facilitar las labores manuales de operación y mantenimiento el filtro (Galvis et al, 2007).

La estructura consta de un vertedor de excesos, canales o conductos para distribución, dispositivos para medición y control de flujo, cámara de entrada y ventana de acceso al filtro propiamente dicho.

#### **Medio filtrante**

El medio filtrante debe estar compuesto por granos de arena duros y redondeados, libres de arcilla y materia orgánica. La arena no debe contener más de 2% de carbonato de calcio y magnesio (Galvis et al, 2007). Las características se muestran en la Tabla 3.15.

**Tabla 3.15: Características del medio filtrante y de soporte de un FLA.**

<b>Criterios de Diseño</b>	<b>Valores Recomendados</b>
Altura de arena (m)	
Inicial	1,00
Mínima	0,50
Diámetro efectivo (mm)	0,15 - 0,35
Coefficiente de uniformidad	
Aceptable	<3
Deseable	1,8 – 2,0
Altura del medio de soporte, incluye drenaje (m)	0,1 – 0,3

*Fuente: Galvis et al, 2007.*

La velocidad de filtración varía de 0,1 y 0,2 m/h dependiendo de la calidad del agua cruda. A mayor contaminación del agua afluente menor velocidad de filtración (Galvis et al, 2007).

### **Sistema de drenaje**

El nivel mínimo del filtro se controla mediante el vertedero de salida, el cual se debe ubicar en el mismo nivel o 0,10 m (Galvis et al, 2007) por encima de la superficie del medio filtrante.

### **Capa de agua sobrenadante**

Se recomienda una altura de agua sobrenadante de 1,0 a 1,5 m. y un borde libre entre los 0,2 y 0,3 m (Galvis et al, 2007).

### **Dimensionamiento**

Las ecuaciones para el dimensionamiento de los filtros lentos de arena basado en la metodología de Galvis et al, (2007) se presentan a continuación.

**Caudal de diseño ( $Q_d$ ):** Se expresa en ( $m^3/h$ )

**Numero de unidades ( $N$ ):** Mínimo dos unidades de filtración

**Área superficial ( $A_s$ ):**

$$A_s = \frac{Q_d}{N * V_f} = b * L \quad (3.9)$$

Donde:  $A_s$  es el area superficial,  $m^2$

$V_f$  es la velocidad de filtracion,  $m/h$

$Q_d$  es el caudal de diseño ( $m^3/h$ )

$N$  es el número de unidades

$b$  es el ancho de la unidad ( $m$ )

$L$  es el longitud de unidad ( $m$ )

### **Sistema de drenaje:**

Los drenes se diseñarán con el criterio de que la velocidad límite en cualquier punto de estos no sobrepase de 0,30 m/s. La relación de velocidades entre el dren principal (Galvis et al, 2007).

( $V_p$ ) y los drenes secundarios ( $V_s$ ) debe ser de:  $V_p/V_s < 0,15$ , para obtener una colección uniforme del agua filtrada (Galvis et al, 2007).

### **Pérdidas de carga:**

Se producen pérdidas de carga en las tuberías, en las válvulas, lecho filtrante, drenes y vertederos

Medio filtrante: Esta en función de la granulometría del material, velocidad de filtración.

### **3.9 Criterios de Diseño de un Sistema de Potabilización**

De acuerdo con Romero (1999) el objetivo básico del diseño de una planta de potabilización de agua es el de integrar de manera más económica, los procesos y operaciones de tratamiento, para que cuando sea operada adecuadamente, pueda proveer sin interrupción el caudal de diseño y satisfacer los requerimientos de calidad del agua potable.

Por lo tanto, la planta de tratamiento debe poseer máxima confiabilidad, y mínima operación y mantenimiento. Algunos criterios de diseño a tomar en cuenta son:

- En el diseño debe considerarse además de la fuente, el sistema de distribución si se quiere lograr la producción económica de un agua de calidad.
- La calidad de la fuente de suministro y de la calidad deseada en el agua producida.
- Cuando no existe suficiente información sobre la calidad de la fuente, además de un programa de muestras y análisis, debe recopilarse información proveniente de plantas en operación de fuentes semejantes en el área.
- La captación debe localizarse de tal forma que prevenga cualquier fuente de contaminación.
- La capacidad nominal diaria de una planta es generalmente mayor que la capacidad máxima diaria proyectada para el periodo de diseño.
- Es necesario que la planta de tratamiento pueda operar continuamente, con uno o más equipos fuera de servicios por mantenimiento.
- Para la localización de la planta se deben tener en cuenta los siguientes factores: área futura del servicio, costo del terreno, ubicación con respecto a la fuente, topografía, disponibilidad eléctrica, facilidad de acceso, facilidad de disposición de residuos, defensa civil y protección contra atentados.

### 3.10 Desinfección

Es el proceso por el cual se inactivan los microorganismos patógenos, se utiliza cloración como método de desinfección por ser el más usado en el tratamiento de agua por su bajo costo, fácil de operar, sus dosis bajas no constituyen un peligro para el ser humano ni animal. Se aplica de dos formas, cloro gaseoso y sales del ácido hipocloroso. En zonas rurales se emplean bombas dosificadoras la cual adiciona una solución de hipoclorito de calcio que se prepara generalmente a una concentración de 1 a 2 mg/L (NTON 09-003-99), otra alternativa es el uso de un dispositivo que no necesita de energía eléctrica, CTI-8, donde el agua erosiona las pastillas de hipoclorito de calcio.

La ecuación para estimar el peso del hipoclorito de calcio (P) es:

$$P(Kg) = \frac{V_{Tanque\ Clorador} \times Q_{Agua} \times Dosis\ de\ Cloro \times 3600}{q_{Dosificacion} \times \frac{Porcentaje\ del\ Hipoclorito}{100} \times (1 \times 10^6)} \quad (3.10)$$

El tiempo de recarga del tanque clorador es:

$$t(dias) = \frac{V_{Tanque\ Clorador}}{q_{Dosificacion} \times 24} \quad (3.11)$$

### 3.11 Aspectos de Operación y Mantenimiento

Toda planta de tratamiento de potabilización de agua debe estar diseñada para que pueda producir continuamente el caudal de diseño y satisfacer las normas de calidad del agua establecidas. Dependiendo de las características propias de cada diseño, cuatro factores principales determinan si una planta posee, las condiciones requeridas para una operación y mantenimiento óptimo. Los cuales son:

- Confiabilidad
- Flexibilidad
- Mano de obra
- Automatización y control

Según la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL, 2000) el mantenimiento estructural de las plantas de potabilización que emplean tratamiento convencional se centra en la renovación de láminas de asbesto en

mal estado en los floculadores y sedimentadores, así como el eventual remplazo de alguna válvula o compuerta dañada.

### **3.11.1 Tipos de mantenimiento**

El mantenimiento es esencial para una operación óptima de la planta de potabilizadora, en el cual el mantenimiento puede considerarse de dos tipos.

**Mantenimiento preventivo:** Conjunto de actividades, recursos y ayudas programados para identificar y prevenir defectos, reemplazar rutinariamente elementos fungibles, registrar e informar daños mayores en la planta de tratamiento y para conservarla por lo menos durante la vida útil estimada.

**Mantenimiento correctivo:** Conjunto de actividades, recursos y ayudas programados para reparar defectos y daños mayores para restablecer la producción normal de la planta.

### **Captación**

El proceso llevado a cabo en las plantas potabilizadoras inicia con la captación del caudal deseado de la fuente de suministro, por lo tanto, es de vital importancia, brindarle el mantenimiento adecuado, en el cual se deben realizar las siguientes operaciones de acuerdo con García (2014):

- Limpiar la maleza que se haya acumulado en el sistema recolector diariamente.
- Limpiar los sedimentos que se acumulan en el fondo de la captación, semanalmente.
- Monitorear el área de la captación para prevenir fuentes de contaminación.

### **Filtros**

En cuanto al lavado de filtros, es una actividad que se debe realizar dependiendo de la colmatación del medio filtrante, pero se recomienda que se limpie cada vez que sea necesario, hasta obtener el agua, relativamente clara, (ENACAL, 2000).

## **Desinfección**

Para el caso de la etapa de desinfección, haciendo uso de cloro como desinfectante, se deberán seguir los lineamientos y recomendaciones hechas por el fabricante del aparato dosificador, ya que la operación es específica para cada marca del equipo, (ENACAL, 2000).

### **3.11.2 Operaciones en condiciones de invierno**

Durante el periodo de lluvias e inmediatamente después de él, generalmente se presentan condiciones de mala calidad provenientes del agua cruda, por ello es necesario implementar procesos de estabilización de coagulación, floculación, sedimentación y desinfección, realizando pruebas de trazabilidad diariamente para determinar la dosis óptima de las soluciones de productos químicos a aplicar, (ENACAL, 2000).

### **3.12 Vulnerabilidad de Sistemas de Potabilización y Gestión de Riesgo**

Los instrumentos de evaluación integrados en el ciclo de proyectos de inversión en agua y saneamiento permiten identificar y evaluar los niveles de vulnerabilidad de los sistemas de agua y saneamiento frente a amenazas de origen natural o entrópico, incluyendo aquellas relacionadas al cambio climático, así como proponer medidas de protección y adaptación.

#### **Evaluación de vulnerabilidad**

Consiste en la identificación y evaluación de los elementos vulnerables y la estimación del porcentaje de pérdidas resultante de un fenómeno peligroso.

La vulnerabilidad de un sistema de agua potable o alcantarillado sanitario se analiza desde cinco perspectivas, factores o dimensiones de la vulnerabilidad global.

- ✓ Física: Estimación de daños posibles en los componentes de la infraestructura.
- ✓ Operativa: Valoración de la capacidad remanente para prestar el servicio de agua potable y/o alcantarillado en condiciones de calidad.

- ✓ Organizativa: Análisis que permite determinar la capacidad institucional y empresarial o administrativa de la comunidad, asociada a organización, experiencia y recursos en general.
- ✓ Culturales y socioeconómicos: Se prestan los servicios, ya que el mal uso de los sistemas, la pobreza, niveles de escolaridad e inequidad de género contribuyen a su vulnerabilidad.
- ✓ Ambiental: Datos sobre la microcuenca, calidad del agua, etc.

La vulnerabilidad se evaluará en la Comunidad 15 de Septiembre con base a las matrices que se presentan a continuación y cuyos resultados se clasifican de acuerdo a la Tabla 3.16. Este método se encuentra en la Guía para la Reducción de la Vulnerabilidad en Sistemas de Agua Potables y Saneamiento que fue desarrollado por la Cooperación Suiza (COSUDE, 2013) ([https://www.shareweb.ch/site/DRR/Documents/Resources/Manual\\_Central\\_America\\_DRR\\_WASH\\_SDC\\_Spanish.pdf](https://www.shareweb.ch/site/DRR/Documents/Resources/Manual_Central_America_DRR_WASH_SDC_Spanish.pdf)).

**Tabla 3.16: Clasificación del tipo de vulnerabilidad.**

VULNERABILIDAD TOTAL DEL SISTEMA	
Vulnerabilidad	Valoración
Vulnerabilidad física	
Vulnerabilidad operativa	
Vulnerabilidad sociocultural organizativa	
Vulnerabilidad institucional	
Vulnerabilidad económica	
Vulnerabilidad ambiental / Higiene	
<b>Sumatoria factores</b>	
<b>VULNERABILIDAD TOTAL (Promedio )</b>	

Calificación	Valoración
Extremadamente vulnerable	=> 3
Muy vulnerable	Entre 2 y <3
Medianamente vulnerable	Entre 1 y <2
Poco vulnerable	Entre 0 y <1

Fuente: COSUDE, 2013.

**Tabla 3.16: Matriz de vulnerabilidad**

MATRICES PARA EL ANALISIS DE VULNERABILIDAD EN SISTEMAS DE AGUA POTABLE																
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA																
Comunidad:				Municipio:				Fecha:								
No. HABIT:				Tipo:				Elaborado por:								
Año de construcción del sistema:				Tiempo de funcionamiento del sistema												
Comunidades servidas:				Población Servida:												
Principales Amenazas/s:				Intensidad del proceso:												
FACTORES	Criterio 1				Criterio 2				Criterio 3				Valoración Global			
	Ubicación de la construcción				Calidad de la construcción				Daño probable				≥ 3 Alta	2 Media/alta	1 = Media/baja	0 = Baja
	a	b	c	d	e	f	g	h	Colapso	Colapso parcial	daño menor	sin daño				
	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0				
<b>FACTOR FISICO Componente del sistema</b>																
1	Obra de captación (pozo, captación manantial, río)															
2	Líneas de conducción															
3	Línea de distribución															
4	Red eléctrica															
5	Red vial de acceso al sistema (Kms )															
6	Red de Comunicaciones (radio, teléfono, etc)															
7	Estación de Bombeo															
	Obras de pre tratamiento (ej: desarenadores y prefiltro)															
8	Plantas potabilizadoras (de tratamiento)															
9	Sistema de cloración															
10	Tanques de almacenamiento															
	Sumatoria															
	<b>Total Factor Fisico</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

física.

Fuente: COSUDE, 2013.

- a:** en o muy cerca de zonas propensas a amenazas altas o medias (deslizamientos, inundaciones, erosión, sismos, sequía, erupciones volcánicas)
- b:** en o muy cerca de zonas medianamente propensas a amenazas altas o medias
- c:** en o muy cerca de zonas poco propensas a amenazas altas o medias
- d:** en zonas seguras, con baja probabilidad de correncia de amenazas altas o medias
- e:** mayoría con material poco resistente y mal construido o en mal estado
- f:** mayoría con material poco resistente y buen construido y en buen estado
- g:** mayoría con material resistente y mal construido o en mal estado
- h:** mayoría con material resistente y buen construido y en buen estado

**Vulnerabilidad global (Horizontal)**

Promedio de criterio 1 + Criterio 2 + Criterio 3 para cada variable

**Total Factor Físico (Vertical)**

Sumatoria de vulnerabilidad global dividido entre el numero de variables  
n = 8 (en este caso)

**Tabla 3.18: Matriz de vulnerabilidad económica.**

MATRICES PARA EL ANALISIS DE VULNERABILIDAD (Cont.)						
Nombre de la Comunidad:			Fecha:			
Municipio:			Elaborado por:			
FACTORES		Criterios de Valoración	Valoración Global			
			≥ 3 Alta	2 Media/alta	1 = Media/baja	0= Baja
<b>FACTOR ECONOMICO (en la comunidad donde se ubica el sistema)</b>						
1	Nivel de pobreza (vive con menos de 1 USD / día)	0: Menos del 20 % de la población 1: Entre 21 a 40% 2: 41 a 50% 3: Mas del 51%				
2	PEA local (ocupada/deocupada/subempleada) (h y m)	0: Menos del 10 % desempleado 1: Entre 11 a 30% está desempleado 2: Entre 31 a 50% desempleado 3: Mas del 51% desempleado				
3	Población dependiente (menores de 16 años y mayores de 64)	0: Menos del 20 % es dependiente 1: Entre 21- 40% es dependiente 2: 41 a 60% es dependiente 3: Mas del 80% dependiente				
4	Trabajo infantil ( menores de 16 años que trabajan con o sin ingreso)	0: Menos del 20 % de la población 1: Entre 21 a 40% 2: 41 a 50% 3: Mas del 51%				
5	Nivel de analfabetismo	0: Menos del 10 % analfabeto 1: Entre 11 a 30% analfabeto 2: Entre 31 a 49% 3: Mas del 50% analfabeto				
6	Escolaridad (promedio 5 años de estudio)	0: Mas del 80 % con 5 años 1: 61 a 79% 2: 41 a 60% 3: Menos del 40%				
7	Propiedad de la viviendas (alquilada, propia, prestada)	0: Mas del 80 % propia 1: Entre 61 a 79% prestada o alquilada 2: 41 a 60% prestada o alquilada 3: Menos del 40% propia				
8	Propiedad de parcelas (alquilada, propia, prestada)	0: Mas del 80 % propia 1: Entre 61 a 79% prestada o alquilada 2: 41 a 60% prestada o alquilada 3: Menos del 40% propia				
9	Existencia de fuentes de empleos locales	0: Mas del 80 % de demanda local cubierta 1: Entre 61 a 79% demanda local 2: 41 a 60% de demanda local 3: Menos del 40%				
10						
Sumatoria						
<b>Total Factor Económico</b>						

Fuente: COSUDE, 2013.

**Tabla 3.19: Matriz de vulnerabilidad socio-cultural.**

MATRICES PARA EL ANALISIS DE VULNERABILIDAD (Cont..)						
Nombre de la Comunidad:			Fecha:			
Municipio:			Elaborado por:			
FACTORES		Criterios de Valoración	Valoración Global			
			≥ 3 Alta	2 Media / alta	1 = Media/baja	0= Baja
<b>FACTOR SOCIOCULTURAL- ORGANIZATIVO</b>						
1	% Población que conoce sobre las amenazas en su comunidad y sistemas de agua	0: Mas del 80 % 1: 61 a 79% 2: 41 a 60% 3: Menos del 40%				
2	Participación comunitaria equitativa (hombres y mujeres) en juntas de agua / CAPS	0: 50 % H, 50 % M 1: Entre 49% a 40% M 2: 30% y 39% M 3: Menos 30 % M				
3	% Familias que participan en alguna organizacion comunitaria	0: Mas del 80 % 1: 61 a 79% 2: 41 a 60% 3: Menos del 40%				
4	Capacidad de gestion comunitaria (No. de proyectos gestionados por la com.)	0: Mas del 80 % 1: 61 a 79% 2: 41 a 60% 3: Menos del 40%				
5	Empresas municipales /comunitarias de gestion de agua organizada	0: Organizada y funcionando 1: Organizada pero poco activa 2: En proceso de organizada 3: No existe				
6	Empresas municipales/comunitaria de gestion de agua con sistemas contables / administrativos	0: Con sistema Contable/ admins formal 1: Con sistema contable incipiente o manual 2: Sin sistema contable o desorganizado 3: No existe				
7	% de hogares que pagan regulamente su tarifa de agua	0: Mas del 80 % 1: 61 a 79% 2: 41 a 60% 3: Menos del 40%				
8	Comités locales de agua organizados y funcionando	0: Tiene y aplica plan 1: Tiene Comite y Plan actualizado y lo aplican en mas del 70% 2: Tienen Comite, pero no tienen plan actualizado 3: No tiene comite, ni plan				
9	Atencion especial y provision a personas con capacidades diferentes	0: Si 3: No				
10	Planes de emergencia comunitario que incluyen acciones en sistemas de agua	0: Tiene y aplica 1: Tiene pero aplica parcialmente 2: Tiene pero no aplica 3: No tiene				
11	Comites Locales de Prevencion funcionando	0: Tiene y aplica 1: Tiene pero aplica parcialmente 2: Tiene pero no aplica 3: No tiene				
12	Comites Locales de Cuencas funcionando	0: Tiene y aplica 1: Tiene pero aplica parcialmente 2: Tiene pero no aplica 3: No tiene				
<b>Sumatoria</b>						
<b>Total Factor Sociocultural</b>						

Fuente: COSUDE, 2013.

**Tabla 3.17: Matriz de vulnerabilidad ambiental/higiene.**

MATRICES PARA EL ANALISIS DE VULNERABILIDAD (Cont.)						
Nombre de la Comunidad:			Fecha:			
Municipio:			Elaborado por:			
FACTORES		Criterios de Valoración	Valoración Global			
			≥ 3 Alta	2 Media / alta	1 = Media/baja	0= Baja
<b>FACTOR AMBIENTAL / HIGIENE</b>						
1	Practicas de quema en la cuenca donde se ubica la fuente de captación	0: Menos del 20 % de hogares 1: Entre 21 a 40% 2: 41 a 50% 3: Mas del 51%				
2	Productores con practicas de uso de agroquimicas en la cuenca que contaminan fuentes de agua	0: Menos del 20 % 1: Entre 21 a 40% 2: 41 a 50% 3: Mas del 51%				
3	Hogares con practicas de deposicion de basura cerca de fuentes de agua	0: Menos del 20 % 1: Entre 21 a 40% 2: 41 a 50% 3: Mas del 51%				
4	Empresas con practicas de deposicion de desechos solidos y liquidos cerca de fuentes de agua	0: Menos del 20 % 1: Entre 21 a 40% 2: 41 a 50% 3: Mas del 51%				
5	Población con practicas de fecalismo	0: Menos del 20 % de la población 1: Entre 21 a 40% 2: 41 a 50% 3: Mas del 51%				
6	Presencia de Charcas y agua estancada	0: Menos del 20 % de la población 1: Entre 21 a 40% 2: 41 a 50% 3: Mas del 51%				
7	Distancia letrinas y pozos para consumo menos de 20 metros.	0: Menos del 20 % no cumplen 1: Entre 21 a 40% 2: 41 a 50% 3: Mas del 51% no cumplen				
8	Presencia de enfermedades endémicas asociadas al agua (malaria, dengue, diarreas, parasitosis, etc)	0: Menos del 20 % de la población 1: Entre 21 a 40% 2: 41 a 50% 3: Mas del 51%				
9	Control familiar de la calidad de agua por algun metodo de desinfeccion: cloro, hervir, sodis, filtros	0: Mas del 80 % 1: 61 a 79% 2: 41 a 60% 3: Menos del 40%				
10	Manejo de aguas grises	0: Mas del 80 % 1: 61 a 79% 2: 41 a 60% 3: Menos del 40%				
11	Uso y manejo adecuado del agua potable ( ej: almacenamiento seguro, transporte, lavado de manos, manipulacion, etc.)	0: Mas del 80 % 1: 61 a 79% 2: 41 a 60% 3: Menos del 40%				
12	Instalaciones adecuadas para el lavado de manos en viviendas o edificios publicos /privados	0: Mas del 80 % 1: 61 a 79% 2: 41 a 60% 3: Menos del 40%				
<b>Sumatoria</b>						
<b>Total Factor Ambiental</b>						

Fuente: COSUDE, 2013.

## **4. METODOLOGÍA**

En este capítulo se muestran las etapas y procedimientos que se llevaron a cabo para realizar el presente trabajo monográfico.

### **4.1 Etapas de Estudio**

El procedimiento metodológico para llevar a cabo el estudio se realizó en tres etapas las cuales se describen a continuación:

#### **Etapa de Pre-campo**

En esta etapa se efectuaron las siguientes actividades:

- Visita de reconocimiento al área de estudio.
- Revisión de información primaria y secundaria con el propósito de obtener los conocimientos adecuados para afrontar la caracterización del área de estudio a nivel ambiental.

#### **Etapa de Campo**

- Visita a los representantes del Consejo de Liderazgo Sandinista (CLS) y pobladores de la comunidad 15 de Septiembre, las entidades presentes del municipio (Alcaldía, MINSA, MINED, MARENA) para la obtención de datos necesarios para la elaboración del diagnóstico socioeconómico de la comunidad.
- Monitoreo *in situ* de parámetros en el pozo perforado que suministra el agua a la Comunidad Villa 15 de Septiembre. Dos fueron los muestreos que se realizaron en época lluviosa.
- Tomas de muestras para análisis en el laboratorio.

#### **Etapa de Post-campo**

Comprendió trabajo de gabinete y parte práctica, con la información recopilada se ejecutaron las siguientes actividades:

- Análisis y procesamiento de la información obtenida.
- Descripción de la comunidad del municipio en estudio.

- Síntesis de la información obtenida para la elaboración del diagnóstico de la comunidad.
- Análisis de la muestra de agua.
- Diseño del tratamiento del agua del pozo

## 4.2 Ubicación del Área de Estudio

La comunidad de Villa 15 de Septiembre pertenece a la comarca El Empalme de San Benito, Municipio de Tipitapa, departamento de Managua, y está ubicada en las planicies de Tipitapa en el Km 33,5 de la carretera norte, al este del lago Xolotlán. La extensión de la comunidad es de 1 Km de largo por 0,7 Km de ancho cuenta con una población de 1 500 habitantes con una tasa de crecimiento de 3,2% (CAPS 2020) (Figura 4.1).

Inicialmente fue una hacienda algodonera desde los años 50 de donde se toma el nombre de El Papalote, ya que cierta área de la hacienda fue entregada a los trabajadores para la construcción de sus viviendas llamando el nuevo lugar “Villa 15 de Septiembre” en honor a los dueños de la hacienda.

### 4.2.1 Límites de la comunidad

Sus límites son: Norte: Cooperativa Renacer, Sur: Anexo Colonia Roque, Este: Finca Marcel Sánchez, Oeste: Carretera Panamericana.



**Figura 4.1: Mapa de ubicación del área de estudio.**

### **4.3 Sitio de Muestreo**

Se realizó in situ la recolección de las muestras del agua, siendo la fuente un pozo perforado perteneciente a la Comunidad de Villa 15 de Septiembre, Municipio de Tipitapa, Departamento de Managua. El procedimiento de recolección de muestras se llevó a cabo siguiendo lo establecido en los protocolos de análisis del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Eaton et al., 2012) y el Manual HACH.

Los criterios considerados para la elección de los puntos de muestreo fueron, la influencia de actividades antropogénicas, cercanía de asentamientos poblacionales, uso de las fuentes para consumo humano, contaminación por uso de agroquímicos.

#### **4.3.1 Procedimientos para la recolección de datos e información**

La información se obtuvo a través de la revisión bibliográfica, análisis observacional y elaboración de entrevistas y cuestionarios.

### **4.4 Parámetros a Determinar**

Para determinar la calidad del agua del pozo fue necesario la valoración física, química y microbiológica de los cuerpos de agua donde se abastece la población. Esta valoración se llevó a cabo en dos etapas: *In Situ* y en la medición de parámetros de calidad en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la FIQ-UNI.

#### **4.4.1 Parámetros medidos in situ**

Algunos análisis fueron analizados en el sitio del muestreo por los tiempos de preservación tan cortos que arrojarían resultados erróneos de no realizarse a la brevedad posible. Los parámetros medidos *in situ* fueron:

- Temperatura
- pH
- Conductividad
- Sólidos Totales Disueltos
- Oxígeno Disuelto
- Turbiedad

#### 4.4.2 Parámetros medidos en el laboratorio

Existen algunos parámetros que requieren de técnicas y equipos más complejos para brindar un resultado exacto, este tipo de análisis dispone de tiempos de preservación más extensos por lo cual es posible realizar los análisis en laboratorios. Los análisis que se efectuaron en el laboratorio fueron los siguientes:

- Nitratos
- Manganeso
- Hierro
- Amonio
- Arsénico
- Sodio
- Potasio
- Flúor
- Coliformes Termotolerantes
- Alcalinidad
- Dureza Total
- Color Verdadero

En la Tabla 4.1 se muestran los métodos de análisis utilizados en la cuantificación de los parámetros físicos, químicos y biológicos.

**Tabla 4.1: Métodos de análisis.**

Parámetro	Lugar de Medición	Método
Temperatura	<i>In Situ</i>	Termómetro
pH	<i>In Situ</i>	Potenciometría, pHmetroOrion 3 star plus
Conductividad	<i>In Situ</i>	Electrometría, ConductivímetroOrion
Sólidos Totales Disueltos	<i>In Situ</i>	Electrometría, ConductivímetroOrion
Oxígeno Disuelto	<i>In Situ</i>	Electrometría, Oxigenómetro
Cloro Libre	Laboratorio	Electrometría, HACH 8021
Turbiedad	<i>In Situ</i>	Turbidimetría
Color Verdadero	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8025
Alcalinidad	Laboratorio	Método de Titulación, SM 2320 B
Dureza Total	Laboratorio	Método de Titulación EDTA, SM 2340 C
Nitratos	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8039
Manganeso	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8034
Hierro Total	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8008

Parámetro	Lugar de Medición	Método
Amonio	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8038
Flúor	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8029
Coliformes Termotolerantes	Laboratorio	Filtración por Membrana
Sodio	Laboratorio	Método de estimación, Titulación (HANNA)
Potasio	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8049
Arsénico	Laboratorio	Absorción Atómica
Oxígeno Disuelto	Laboratorio	Oxigenómetro
Cloruros	Laboratorio	Método Argentométrico

#### 4.5 Clasificación del Tipo de Recurso Hídrico

Para conocer el posible uso de los recursos hídricos en la zona, se compararon los resultados de calidad de con la Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense para la Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON 05 007 98) y determinar si el agua proveniente de este pozo podía ser utilizada para uso doméstico (Tablas 3.6 y 3.7).

#### 4.6 Potabilidad del Agua

Para la determinación de la potabilidad del agua en esta comunidad se utilizó de las Normas CAPRE, descritas antes en el Marco Teórico (Tabla 3.8). Por lo cual se hará una comparación entre la calidad del agua de los recursos hídricos a ser evaluados con lo que se especifica en la Norma CAPRE para cada parámetro.

#### 4.7 Dimensionamiento del Sistema de Potabilización

La selección del tratamiento para la potabilización del recurso hídrico se efectuó tomando como referencia la calidad de la fuente de captación de agua a potabilizar. En esta comunidad solo existe una sola forma de captación siendo esta un pozo perforado.

La propuesta planteada en este trabajo para la fuente hídrica en estudio se basa en que la misma tenga suficiente disponibilidad de agua para cumplir al menos con 10 veces el caudal estimado para un periodo de diseño de 20 años y que de acuerdo con los resultados de la clasificación de los recursos hídricos, esta pueda ser utilizada para consumo doméstico (NTON 09-003-99).

El caudal fue estimado tomando en cuenta la población actual y proyectando la población futura a 20 años y considerando la dotación que se recomienda en la NTON 09-007-19 de diseño de abastecimiento de agua. También se incluye el consumo comercial, industrial, y público, así como las fugas y los factores de máximo día y horario.

#### **4.8 Análisis de Vulnerabilidad**

Para el análisis de la vulnerabilidad del sistema de potabilización propuesto en este trabajo, se empleó la Guía para la Reducción de la Vulnerabilidad (COSUDE, 2013) en sistemas de agua potable y saneamiento. Se realizaron los siguientes pasos:

- ✓ Identificación de la normativa legal vigente sobre riesgos y desastres, cambio climático y adaptación al cambio climático.
- ✓ Descripción de la zona de estudio.
- ✓ Identificación y descripción de los elementos de cada componente del sistema.
- ✓ Identificación de los aspectos operativos del sistema (capacidad de los componentes).
- ✓ Identificación y descripción de los aspectos administrativos.
- ✓ Determinación de la demanda mínima de la población de los lugares considerados prioritarios para el abastecimiento.
- ✓ Determinación de parámetros y evaluación de las amenazas, considerando su impacto sobre el sistema.
- ✓ Identificación de los componentes críticos y vulnerables del sistema.
- ✓ Cuantificación de la capacidad útil remanente de cada componente y subsistema para operar en determinada condición, considerando cantidad, calidad y continuidad (vulnerabilidad operativa).
- ✓ Estimación de la capacidad organizativa de respuesta (vulnerabilidad organizativa).

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del punto de muestreo en la Comunidad Villa 15 de Septiembre del Municipio de Tipitapa, Departamento de Managua. Así como la comparación con las Normas NTON (05 007 98) y CAPRE, la propuesta de dimensionamiento del sistema de tratamiento para esta fuente y el análisis de vulnerabilidad.

### 5.1 Caracterización de la Fuente y Estimación del Índice de Calidad del Agua

#### 5.1.1 Caracterización de la fuente

A continuación, se explican los resultados de la caracterización de cada uno de los parámetros evaluados, posterior a la Tabla 5.1 se efectúa una comparación de la calidad del agua cruda con ambas normativas.

**Tabla 5.1: Medición de parámetro del agua cruda.**

Parámetro	Valor Medido	NTON 05 007 98				Normas CAPRE			
		Valores Normados		Cumple		Valor Recomendado	Valor Máximo admisible	Cumple	
		1 A	1 B	Si	No			Si	No
Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	64	< 15	< 150	*		1,0	15,0		*
Turbiedad (NTU)	15	< 5	< 250	*		1,0	5,0		*
Temperatura (°C)	21,8					18 - 30		*	
pH	7,2	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	*		6,5 - 8,5		*	
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4,2	> 4	> 4		*	4			*
Conductividad (µS/cm)	51,4					400		*	
Dureza Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	164	400		*		400		*	
Alcalinidad Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	95								
Sulfato (mg/L)	2	250	400	*		25	250	*	
Aluminio mg/L	0,2		0,2	*			0,20	*	
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	52						1 000	*	
Nitratos (mg/L)	18	10	10		*	25	50	*	
Nitritos (mg/L)	0,1						0,1 - 3,0	*	
Amonio (mg/L)	0,42					0,05	0,5	*	
Hierro (mg/L)	0,44	0,3	3	*			0,3		*
Manganeso (mg/L)	0,32	0,5	0,5	*		0,1	0,5		*
Fluoruro (mg/L)	0,2	0,7 - 1,5	< 1,7	*			0,7 - 1,5	*	
Arsénico (mg/L)	0,01						0,01	*	
Plomo (mg/L)	0,01	0,01	0,05	*			0,01	*	
Coliformes Termotolerantes (UFC/100 mL)	66	2 000	10 000	*		Negativo	Negativo		*
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	89	2 000	10 000	*		Negativo	Negativo		*

Los parámetros como color verdadero, turbiedad, y hierro se encuentran por encima de los valores permisibles de la Categoría 1A en la normativa de clasificación de los recursos hídricos (NTON 05 007 98), para fuentes que con solo la etapa de desinfección se pueden convertir en agua de consumo humano. No obstante, los valores de los parámetros antes mencionados están por debajo de los valores máximos de la Categoría 1B de la NTON 05 007 98, lo que significa que es necesario un tratamiento para convertir el agua cruda en potable. En cambio, parámetros como pH, dureza total, sulfatos, manganeso, fluoruros, coliformes termotolerantes, y coliformes totales muestran valores por debajo de los normados para la Categorías 1A y 1B. Otros parámetros como aluminio y plomo tienen concentraciones iguales a las normadas. Los resultados indican que la concentración de nitratos y nitritos sobrepasan los valores permisibles de ambas categorías, pero con un tratamiento adecuado se puede convertir en potable.

También se puede observar en la misma tabla que los parámetros como: color, turbiedad, hierro, coliformes termotolerantes y totales se encuentran por encima de los valores recomendados y máximos admisibles de la Normativa CAPRE de potabilización de agua y por tanto es imperativo que el agua del pozo se trate para que sea segura para los consumidores. El resto de los parámetros tienen valores por debajo de los respectivos valores normados en CAPRE. Las características de calidad del pozo se asemejan a las de un cuerpo de agua superficial, los valores tan altos de color y turbiedad en el pozo se deben a los niveles freáticos altos del área por ser el Río Tipitapa el desagüe del Lago de Managua hacia el de Nicaragua.

La confirmación de la necesidad de que el agua del pozo requiere de tratamiento aparte de la desinfección es el índice de calidad de agua (ICA). En la Tabla 5.2 se indica que el valor de ICA estimado fue de 60,87, valor dentro del rango de 60 a 70 que clasifica al agua con la necesidad de un tratamiento indispensable para ser abastecida de forma segura.

**Tabla 5.2: Índice de calidad del agua (ICA).**

Parámetro	Valor Medido	I	W	I * W
Temperatura (°C)	3,2	76,166	0,043	3,28
pH	7,2	113,37	0,063	7,14
Oxígeno Disuelto mg/L	4,2	16,3	0,103	1,68
Dureza Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	164	52,92	0,058	3,07

Alcalinidad Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	95	59,70	0,055	3,28
Nitratos (mg/L)	18	56,98	0,053	3,10
Coliformes Termotolerantes (UFC/100 mL)	66	61,85	0,143	8,84
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	89	75,50	0,083	6,27
Sumatoria			0,601	36,58
ICA			60,87	

La Tabla 5.3 muestra la media de los resultados de los dos muestreos del pozo que se realizaron en época lluviosa.

**Tabla 5.3: Resultados de los parámetros de calidad del agua.**

Parámetro	Valor Medido
Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	64
Turbiedad NTU	15
Temperatura (°C)	21,8
pH	7,2
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4,2
Conductividad (µS/cm)	51,4
Dureza Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	164
Alcalinidad Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	95
Sulfato (mg/L)	2
Aluminio (mg/L)	0,2
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	52
Nitratos (mg/L)	18
Nitritos (mg/L)	0,1
Amonio (mg/L)	0,42
Hierro (mg/L)	0,44
Manganeso (mg/L)	0,32
Fluoruro (mg/L)	0,2
Arsénico (mg/L)	0,01
Plomo (mg/L)	0,01
Coliformes Termotolerantes (UFC/100 mL)	66
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	89

En la siguiente tabla se hace una comparación en detalle con las Categorías 1A y 1B de la Normativa de Clasificación de los Recursos Hídricos. El color verdadero, turbiedad y hierro se encuentran por encima de los valores normados en la Categoría 1A, pero no sobrepasan los valores de la Categoría 1B. En cambio, la concentración de oxígeno disuelto y nitratos sobre pasa los valores de ambas categorías. No obstante, se debe de aclarar que un valor mayor al permisible en el oxígeno disuelto es mejor porque asegura un agua aireada al

consumidor. Además, la concentración de aluminio debe ser monitoreado porque se encuentra en el límite permisible.

**Tabla 5.4: Comparación de los resultados de la calidad del agua del pozo con la Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense de Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON 05 007 98).**

Parámetro	Valor Medido	NTON 05 007 98			
		Categoría 1 A	Categoría 1 B	Cumple Si	Cumple No
Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	64	15	150		*
Turbiedad NTU	15	5	250		*
Temperatura (°C)	21,8				
pH	7,2	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	*	
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4,2	4	4		*
Conductividad (µS/cm)	51,4				
Dureza Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	164	400		*	
Alcalinidad Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	95				
Sulfato (mg/L)	2	250	400	*	
Aluminio (mg/L)	0,2		0,2	*	
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	52				
Nitratos (mg/L)	18	10	10		*
Nitritos (mg/L)	0,1				
Amonio (mg/L)	0,42				
Hierro (mg/L)	0,44	0,3	3	*	
Manganeso (mg/L)	0,32	0,5	0,5	*	
Fluoruro (mg/L)	0,2	0,7 - 1,5	1,7	*	
Arsénico (mg/L)	0,01				
Plomo (mg/L)	0,01	0,01	0,05	*	
Coliformes Termotolerantes (UFC/100 mL)	66	2 000	10 000	*	
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	89	2 000	10 000	*	

La comparación con la Norma CAPRE o 066 de Vigilancia de Calidad del Agua (Tabla 5.5) indican que los resultados de calidad de los parámetros como coliformes, color verdadero, turbiedad y hierro exceden los valores recomendados o máximo admisibles de la norma de potabilización de agua, lo que significa que la población está consumiendo agua no potabilizada lo que incide en los altos casos de diarrea de la comunidad. Sin embargo, los parámetros como aluminio, arsénico y plomo se encuentran en el límite de los valores máximos admisibles, cumpliendo con dichos valores, pero hay que continuar su monitoreo ya que son metales pesados y precursores de cáncer. Las concentraciones de amonio y

manganeso sobrepasan los valores recomendables respectivos, pero no los máximos admisibles.

**Tabla 5.5: Comparación de los resultados de la calidad del agua del pozo con la Normativa CAPRE o Normativa 066.**

Parámetro	Unidad	Valor Medido	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Coliformes Total	UFC/100 mL	66	Negativo	Negativo
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL	89	Negativo	Negativo
Color Verdadero	mg/L( Pt-Co)	64	1	15
Turbiedad	UNT	15	1	5
Conductividad	uS/cm	51,4	400	
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	164	400	
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	95		
Temperatura	°C	21,8	18-30	
pH	-	7,2	6,5-8,5	
Oxígeno Disuelto	mg/L	4,2	4,0	
Sulfatos	mg/L	2,0	25	250
Aluminio	mg/L	0,2		0,2
Solidos Totales Disueltos	mg/L	52		1 000
Nitratos	mg/L	18	25	50
Nitritos	mg/L	0,1		0,1-3
Amonio	mg/L	0,42	0,05	0,5
Hierro	mg/L	0,44		0,3
Manganeso	mg/L	0,32	0,1	0,5
Fluoruro	mg/L	0,2		0,7-1,5
Arsénico	mg/L	0,01		0,01
Plomo	mg/L	0,01		0,01

### 5.1.2 Resultado de las características físicas

Para evaluar la calidad física se midieron seis parámetros (color verdadero, turbiedad, sólidos totales disueltos, conductividad, temperatura, y oxígeno disuelto) en las muestras que fueron recolectada en la zona de estudio.

#### Color Verdadero

El color indica la presencia ya sea de sustancias disueltas, coloidales o suspendidas lo cual genera un aspecto desagradable en el agua. Está directamente relacionado con la turbiedad del agua, por lo que a mayor color mayor turbiedad (Garcia, 2015).

El valor medio determinado en el laboratorio (64 mg/L Pt-Co) excediendo el valor permisible de 15 mg/L Pt-Co en la Categoría 1A de la NTON 05 007 98. Así mismo, al comparar el valor obtenido con la Norma CAPRE se encontró que está por encima de valor recomendado (1,0 mg/L Pt-Co) o máximo admisible (15 mg/L Pt-Co).

### **Turbiedad**

Representa la dificultad de la luz al atravesar el agua, el valor medio de turbiedad registrado en los muestreos puntuales realizado al pozo de la Comunidad Villa 15 de Septiembre fue de 15 NTU, este valor excede al presentado en la Categoría 1A de la NTON 05 007 98 el cual es de 5 NTU, así mismo se cotejó que también este valor se encuentra fuera de los valores recomendados (1 NTU) y máximo admisible (5 NTU) de la Norma CAPRE.

### **Sólidos Totales Disuelto (STD)**

Los STD pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente, principalmente para el agua potable por su aspecto e incluso causando sabor desagradable para el consumidor (Garcia, 2015).

En las muestras analizadas para determinar los STD el valor medio encontrado fue de 52 mg /L, por lo tanto, se encuentra por debajo del valor máximo admisible de 1000 mg/L en la normativa CAPRE. No existe valor guía en la Normativa 05 007 98.

### **Conductividad**

La conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua de conducir corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de los sólidos totales disueltos en el agua (Garcia, 2015).

El valor medio encontrado en el punto de muestreo fue de (51,4  $\mu$ S/cm). El valor recomendado en la normativa CAPRE es de 400  $\mu$ S/cm lo cual refleja que el valor determinado está por debajo del rango permisible.

## **Temperatura y Oxígeno Disuelto**

Las mediciones se realizaron antes de las 10:00 a.m, el valor medio obtenido fue de 28°C. El dato medido se encuentra dentro del rango recomendado en la normativa CAPRE de 18°C a 30°C, no hay valor guía en la normativa 05 007 98. La temperatura, aunque no es parte de las características de calidad del agua potable es un parámetro físico de suma importancia por poseer estrecha relación con el oxígeno disuelto. La importancia de la temperatura y el oxígeno disuelto es debido a que son factores que influye en la mayoría de los procesos vitales de los organismos, así como en variados factores abióticos del ecosistema. La condición de si las aguas contienen o carecen de oxígeno, determina la transformación de metales como el hierro y los compuestos de nitrógeno y fósforo, por tales razones se debe conocer el comportamiento de la concentración de oxígeno en la columna de agua, ya que son una importante herramienta para recomendar el uso sustentable de este tipo de ambientes acuáticos (Beltrán et al, 2012).

### **5.1.3 Características químicas**

El agua contiene diversas sustancias químicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella debido a que disuelve los componentes químicos de sus alrededores, corre sobre la superficie del suelo y se infiltra a través de este (Garcia, 2015). Por lo tanto, es necesario conocer también los parámetros químicos que contiene esta para determinar la calidad de esta.

#### **pH**

El tipo de suelo juega un papel importante en los valores de pH de las aguas, los pH mayores a valores de 7 ocurren en suelos calcáreos, cuando los suelos poseen poca presencia de silicatos o carbonatos originan valores de pH cercanos a 7. Cuando los suelos son de origen volcánico o contienen altos contenidos de hierro, por lo que el pH por lo general oscila en valores menores a 6 (Garcia, 2015). El valor obtenido en las muestras del pozo fue de 7,2, valor que está dentro de los rangos permisibles 6,0-8,5 de la NTON 05 007 98 y de la norma CAPRE de 6,5-8,5.

## **Dureza Total**

El valor de dureza total encontrado fue de 164 mg/L CaCO<sub>3</sub>, este valor indica que el agua de esta comunidad es semidura (Garcia, 2015), y se encuentra por debajo del valor recomendado de la NTON 05 007 98 y CAPRE de (400 mg/L CaCO<sub>3</sub>).

## **Alcalinidad Total**

La alcalinidad es importante ya que representa la capacidad de los cuerpos de agua de amortiguar los cambios de pH. La alcalinidad guarda una estrecha relación con la dureza (Garcia, 2015). Este parámetro de calidad no se encuentra regulado por la NTON 05 007 98 ni tampoco por la Norma CAPRE. El valor medio determinado en el laboratorio ambiental de la UNI fue de 95 (mg/L CaCO<sub>3</sub>).

## **Fluoruros (F<sup>-</sup>)**

Los valores encontrados en el agua del pozo de la Comunidad de Villa 15 de Septiembre no sobrepasan a 0,2 mg/L, concentración por debajo del valor máximo admisible de 0,7 mg/L a temperaturas en el rango de 25-35°C. En general la presencia de flúor en el agua es un tema muy controversial ya que, aunque esta sustancia en exceso es perjudicial para la salud algunos argumentan que es necesario puesto que evita las formaciones de caries y beneficia la salud bucal (Garcia, 2015).

### **5.1.4 Características de los metales**

La presencia de algunos metales o metaloides puede ocurrir de forma natural por dilución de minerales o erosión. Cuando los metales se liberan en el ambiente por las actividades humanas (principalmente minería) pueden llegar a convertirse en contaminantes en el aire, suelo, agua superficial y subterránea (Garcia, 2015).

## **Manganeso**

Según la NTON 05 007 98 el valor límite para el manganeso debe ser de 0,5 mg/L Categoría 1A; y para la normativa CAPRE el valor recomendado es de 0,1 mg/L y máximo admisible es de 0,5 mg/L para consumo humano, el valor determinado en el laboratorio fue de 0,32 mg/L.

## **Hierro**

Para el caso del hierro, aunque la Normativa CAPRE no contempla valor recomendable para este parámetro, si existe un valor máximo admisible de 0,3 mg/L, el cual coincide con el valor normado en la Categoría 1A de la NTON 05 007 98. La concentración de hierro del agua del pozo es de 0.44 mg/L, por lo que se encuentra por encima de lo permisible.

## **Aluminio**

En las muestras analizadas en el laboratorio se determinó un valor promedio de 0,2 mg/L, este valor es igual al valor de la Categoría 1B (NTON 05 007 98) y valor máximo admisible según CAPRE de 0,2 mg/L.

## **Arsénico**

Es uno de los metales más tóxicos y peligrosos para el medio ambiente y la salud humana. El arsénico orgánico como inorgánico está clasificado dentro del Grupo 1 (Carcinógeno humano) por la agencia internacional para la investigación sobre el cáncer (IARC). En Nicaragua, el arsénico se presenta en forma natural debido a las formaciones geológicas y representa graves consecuencias a la salud de los pobladores (Garcia, 2015).

La Norma NTON 05 007 98 no indica rango o valor máximo permisible, solo la Norma CAPRE tiene como valor máximo admisible de 0,01 mg/L. La concentración media del aluminio en el agua del pozo fue de 0,01 mg/L y por tanto es igual al valor máximo admisible.

## **Plomo**

El plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. Este es el porqué de los sistemas de tratamiento de aguas públicas son ahora requeridos llevar a cabo un ajuste de pH en agua que sirve para el uso del agua potable (Garcia, 2015).

La Norma NTON 05 007 98 indica dos valores permisibles de 0,01 mg/L (Categoría 1A) y 0,05 mg/L (Categoría 1B), la norma CAPRE señalan un valor

máximo admisible de 0,01 mg/L. El valor medio medido en el agua del pozo fue de 0,01 mg/L, valor igual a los normados en CAPRE y la NTON 05 007 98.

### **5.1.5 Características de los nutrientes**

Para evaluar la calidad del agua desde el punto de vista de la presencia de nutrientes se evaluaron tres parámetros (nitratos, nitritos y amonio) de las muestras tomadas en el pozo de la comunidad Villa 15 de Septiembre.

#### **Nitratos y Nitritos**

El nitrato es muy soluble en agua y son muy movibles en el ambiente por lo que se puede lixiviar del suelo al agua superficial o subterránea, cuando la concentración de nitrato en el agua es alta representa un problema de contaminación (Garcia, 2015).

El valor obtenido (18 mg/L) en los muestreos realizado en el agua del pozo de la Comunidad Villa 15 de Septiembre excede los valores permisibles para las Categorías 1A y 1B de la NTON 05 007 98, y pero está por debajo de los valores recomendados (25 mg/L) y máximo admisible (50 mg/L) de la Normativa CAPRE. En lo referente al valor de Nitritos (0,1 mg/L) se verificó que este se encuentra dentro de los valores permisibles tanto para la NTON 05 007 98 y norma CAPRE.

#### **Amonio**

Las concentraciones naturales de amonio en aguas subterráneas y superficiales suelen ser menores que 0,2 mg/L, pero las aguas subterráneas anaerobias pueden contener hasta 3 mg/L (Garcia, 2015). El valor determinado en el laboratorio fue de 0,42 mg/L, según las normas CAPRE este valor excede el valor recomendado de 0,05 mg/L, pero se encuentra por debajo de 0,5 mg/L como valor máximo admisible.

### **5.1.6 Características microbiológicas**

Los microorganismos más importantes presente en el agua son: bacterias, virus, hongos, protozoos y distintos tipos de algas. La proliferación de estos agentes patógenos (bacterias y virus) principalmente es debido a la contaminación de los cuerpos de agua provenientes de las heces, orina y sangre, que son focos de enfermedades y epidemias (Garcia, 2015).

## Coliformes Termotolerantes y Totales

Para las muestras recolectada en el pozo de la comunidad Villa 15 de Septiembre se realizó el análisis para detectar Coliformes Termotolerantes y Totales, empleando el método de filtración por membrana. El resultado obtenido fue de 66 UFC/100 mL y 89 UFC/100 mL, valores que evidencian la presencia de población bacteriana de coliformes y el riesgo de la población al consumir agua sin desinfección.

### 5.2 Tren de Tratamiento

En la Tabla 5.6 se muestran los tipos de tratamiento de acuerdo con los parámetros a ser removidos. Los parámetros considerados son los que excedían los valores recomendados o máximos admisibles de la Normativa CAPRE. Se seleccionaron tratamientos de bajo costo en su construcción, operación y mantenimiento.

**Tabla 5.6: Parámetros a ser removidos vs tratamiento.**

<b>Parámetros que No Cumplen con la Normativa CAPRE</b>	<b>Posibles Operaciones o Procesos Unitarios de Tratamiento</b>
Coliformes Totales	Filtración, Desinfección
Coliformes Termotolerantes	Filtración, Desinfección
Color Verdadero	Filtración, Oxidación
Turbiedad	Filtración Gruesa, Filtración Lenta
Hierro	Filtración Gruesa, Filtración Lenta
Aluminio	Filtración Lenta de Arena
Arsénico	Filtración Lenta de Arena
Plomo	Filtración Lenta de Arena

Como se puede ver en la tabla anterior las etapas de tratamiento que debían de ser incluidas en la propuesta de tratamiento eran filtración y desinfección, por lo que se consideró el dimensionamiento de unidades de Filtración en Múltiple Etapas (FIME) como tren de tratamiento. Esta tecnología es barata y eficaz para reducir los valores de parámetros presentes en el agua cruda del pozo perforado de la Comunidad 15 de Septiembre.

## Composición del tren de tratamiento FiME

Con los valores de turbiedad, color y coliformes y la Tabla 3.9 (Página 24) se seleccionaron las unidades que debían de conformar el tren de tratamiento por filtración en múltiples etapas. El tren propuesto consiste en la combinación de Filtración Dinámica, Filtración Gruesa Ascendente, Filtración Lenta y Desinfección. Siendo este el recomendado ya que posee grandes ventajas para su operación y mantenimiento, además de entregar un agua de calidad.

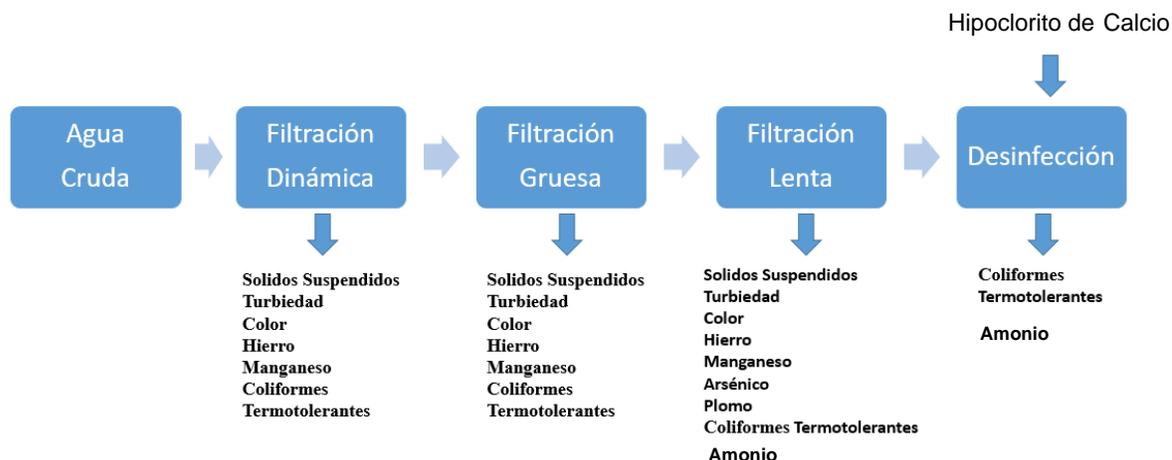


Figura 5.1: Tren de tratamiento.

### 5.3 Dimensionamiento de las Unidades de Tratamiento (FiME)

Para realizar el dimensionamiento de los equipos, se calculó previamente la población futura a 20 años para conocer la cantidad de personas a las cuales abastecerá el tren de tratamiento al año 2042.

#### 5.3.1 Determinación de la población y caudal de diseño

La población (1 500 habitantes al 2022) y la tasa de crecimiento (3,2%) de la Comunidad Villa 15 de Septiembre fue facilitada por el Comité Auxiliar que representa a la Alcaldía Municipal de Tipitapa.

### **Población Futura**

La población por quinquenio se proyectó para un periodo de 20 años usando la Ecuación 5.1, introduciendo los datos facilitados por el Comité Auxiliar de la Alcaldía de Tipitapa:

$$Pf = Po(1 + i)^n \quad (5.1)$$

Donde  $P_f$  es la población futura  
 $P_o$  es la población actual  
 $i$  es el porcentaje de crecimiento  
 $n$  es el número de años

### **Caudal de Diseño**

Es necesario conocer la dotación por consumo de cada habitante usando la Tabla 5.7 en correspondencia al rango de población estimado por quinquenio.

**Tabla 5.7: Dotación para consumo doméstico.**

Rango de Población	Dotación
	gal/hab-d
0 a 5 000	20
5 000 a 10 000	25
10 000 a 15 000	30
15 000 a 20 000	35
20 000 a 30 000	40
30 000 a 50 000	45
50 000 a 100 000 +	50

*Fuente: NTON 09 007 19.*

Las dotaciones para los otros tipos de consumo se obtuvieron de la Tabla 5.8.

**Tabla 5.8: Dotación de consumo para usos no domésticos.**

Otros Consumos	Porcentaje (%)
Comercial (CC)	7
Público e Institucional (CP)	7
Industrial (CI)	2
Otros Usos (OU)	2
Fugas	15

Fuente: NTON 09 007 19.

### **Dimensionamiento de Caudales**

El caudal de diseño se calculó a través de las siguientes ecuaciones

#### *Caudal Diario (CD)*

$$CD = Poblacion Actual \times Dotacion \quad (5.2)$$

#### *Consumo Promedio Diario (CPD)*

$$CPD = CD + CI + CC + CP + OU + Fugas \quad (5.3)$$

#### *Consumo Medio Diario (CMD)*

$$CMD = 1,5 \times CPD \quad (5.4)$$

#### *Consumo Medio Horario*

$$CMH = 2,5 \times CPD \quad (5.5)$$

En la Tabla 5.9 se muestran los resultados para la estimación del caudal de diseño, la población inicial fue de 1 500 habitantes y la población futura estimada fue de 2 816. Usando una dotación de 20 gal/hab-d para poblaciones en el rango de 0 a 5 000 habitantes (Tabla 5.7) y multiplicando por la población (hab) calculada por cada quinquenio, se encontró el consumo doméstico diario (CD) en gal/d y posteriormente se convirtió a L/s. Usando los porcentajes para otros tipos de consumo de la Tabla 5.8 se realizaron los cálculos del consumo comercial (CC), consumo industrial (CI), consumo público (CP), otros usos (OU), y fugas. Se efectuó la sumatoria de todos los consumos para calcular el consumo

promedio diario (CPD). El consumo medio diario (CMD) se estimó al multiplicar el consumo promedio diario (CPD) por el factor medio diario (FMD) de 1,5; el consumo máximo horario (CMH) se obtuvo al multiplicar el CPD por el factor máximo horario (FMH) de 2,5. El caudal de diseño para el dimensionamiento del tratamiento por Filtración en Múltiple Etapas (FiME) es de 4,99 L/s. Los detalles del cálculo poblacional y el caudal de diseño se encuentran en el Anexo C.

**Tabla 5.9: Resultados de cálculo poblacional y caudal de diseño.**

Año	Poblacion	Dotacion (gal/hab-d) Tabla 5.10	Consumo Domestico, CD (gal/d)	Consumo Domestico, CD (L/s)	Consumo Comercial, CC (L/s) 0.07*CD	Consumo Industrial, CI (L/s) 0.07*CD	Consumo Publico, CP (L/s) 0.02*CD	Otros Usos, OU (L/s) 0.02*CD	Fugas (L/s), 0.15*CD	Consumo Promedio Diario, CPD (L/s)	Consumo Medio Diario, CMD (L/s)	Consumo Medio Horario, CMH (L/s)
2022	1500	20	30000	1.31	0.09	0.09	0.03	0.03	0.20	1.75	2.62	4.37
2025	1756	20	35117	1.54	0.11	0.11	0.03	0.03	0.23	2.05	3.07	5.12
2030	2055	20	41107	1.80	0.13	0.13	0.04	0.04	0.27	2.40	3.59	5.99
2035	2406	20	48119	2.11	0.15	0.15	0.04	0.04	0.32	2.80	4.21	7.01
2040	2816	20	56327	2.47	0.17	0.17	0.05	0.05	0.37	3.28	4.99	8.20

### 5.3.2 Dimensionamiento de las unidades

Una vez realizados los cálculos para la estimación del caudal de diseño se dimensionaron las unidades de cada una de las etapas del tren de tratamiento de FiME, incluyendo el proceso de desinfección. Las hojas de cálculo en Excel del dimensionamiento de cada etapa de tratamiento se encuentran en el Anexo C.

#### Filtro Grueso Dinámico (FGDi)

El Filtro Grueso Dinámico (FGDi) es la primera unidad hidráulica que se instala en el sistema de tratamiento FiME para iniciar el proceso de potabilización del agua. Esta unidad es utilizada para reducir los picos de turbiedad y proteger de esta manera la planta de tratamiento altas cargas de sólidos (Garcia, 2014).

El caudal que se utilizó para dimensionar los filtros gruesos dinámicos es el caudal del consumo medio diario (CMD) multiplicado por la razón de flujo del 1,25%, 6,24L/s (0,0062 m<sup>3</sup>/s), esto es para que los filtros trabajen a velocidad de sobre flujo para arrastrar los sólidos del agua cruda para su remoción. La velocidad de filtración y otros criterios, así como las ecuaciones para el dimensionamiento los filtros gruesos dinámicos aparecen en las páginas 25 a 30 de este documento. Se seleccionó una velocidad de 2 m/h debido a la calidad del agua de la fuente (Tabla 3.12).

Se construirán dos filtros gruesos dinámicos trabajando a una velocidad de 2 m/h, con un caudal individual de 0,0031 m<sup>3</sup>/s y un área de 5,6 m<sup>2</sup>. Las dimensiones de cada filtro grueso dinámico es de 4,1 m x 2,4 m x 1,1 m (Tabla 5.10).

**Tabla 5.1018: Resultado del dimensionamiento de los filtros gruesos dinámicos (FGDi).**

<b>Dimensionamiento del Filtro Grueso Dinámico</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Razón de Flujo	R	0,25	-
Caudal Total	Q <sub>T</sub>	0,0062	m <sup>3</sup> /s
Velocidad de Filtración	V <sub>F</sub>	2 (0,00056)	m/h m/s
Área Total	A <sub>T</sub>	11	m <sup>2</sup>
Numero de Filtros	n	2	-
Área Individual	A <sub>i</sub>	5,6	m <sup>2</sup>
Caudal Individual	Q <sub>i</sub>	0,0031	m <sup>3</sup> /s
Altura de Borde Libre	H <sub>BL</sub>	0,2	m
Altura de Medio Filtrante	H <sub>MF</sub>	0,6	m
Altura del Lecho de Soporte	H <sub>LS</sub>	0,3	m
Relación Longitud:Ancho		3:1	-
<b>Caja de Filtro</b>			
Altura del Filtro	H <sub>f</sub>	1,1	m
Largo	L	4,1	m
Ancho	W	1,4	m

Las características del medio filtrante y del medio de soporte de los filtros gruesos dinámicos se presentan en las Tablas 5.11 y 5.12.

**Tabla 5.11 Medio filtrante de un FGDI.**

Medio Filtrante	Espesor de la Capa (m)	Diámetro de la Grava (mm)
Superior	0,20	5
Intermedio	0,20	11
Inferior	0,20	20
	<b>0,60</b>	

**Tabla 5.12 Medio de soporte de un FGDI.**

Medio de Soporte	Tipo	Espesor de la Capa (m)	Diámetro de la Grava (mm)
Superior	Arena gruesa	0,05	2
Segunda	Grava fina	0,05	4
Tercera	Grava	0,05	8
Inferior	Grava Gruesa	0,15	20
		<b>0,30</b>	

### **Filtros Gruesos Ascendentes en Capas (FGAC)**

La función de este filtro es distribuir el flujo de agua procedente del filtro grueso dinámico de manera uniforme, para asegurar una mejor remoción de los contaminantes. Los accesorios que se le instalan a esta unidad permiten regular y controlar el caudal en el caso de presentarse una alteración repentina en el mismo (García, 2014). Para el dimensionamiento de los filtros gruesos ascendente en capas se empleó el caudal del consumo medio diario de 4,99 L/s (0,00499 m<sup>3</sup>/s) y una velocidad de filtración de 0,3 m/h. Las ecuaciones y criterios de diseño para el dimensionamiento de este tipo de filtros se encuentran disponibles en las páginas 30 a 33.

Los resultados de dimensionamiento muestran que se deben de construir tres filtros gruesos ascendente en capas con un área individual de 20 m<sup>2</sup>, cada filtro recibirá un caudal de 0,001667 m<sup>3</sup>/s y operará a una velocidad de 0,3 m/h. Las dimensiones de cada unidad son 4,5 m x 4,5 m x 1,7 m.

**Tabla 5.13: Resultado del dimensionamiento de los filtros gruesos ascendentes en capas (FGAC).**

<b>Dimensionamiento del Filtro Grueso Ascendente en Capas</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Caudal Total	$Q_T$	0,00499	m <sup>3</sup> /s
Velocidad de Filtración	$V_F$	0,3 0,000083	m/h m/s
Área Total	$A_T$	60	m <sup>2</sup>
Numero de Filtros	n	3	-
Área Individual	$A_i$	20	m <sup>2</sup>
Caudal Individual	$Q_i$	0,001667	m <sup>3</sup> /s
Altura de Borde Libre	$H_{BL}$	0,30	m
Altura de Capa de Agua	$H_{CA}$	0,20	
Altura de Medio Filtrante	$H_{MF}$	0,90	m
Altura del Lecho de Soporte	$H_{LS}$	0,30	m
Relación Longitud:Ancho		1:1	-
<b>Caja de Filtro</b>			
Altura del Filtro	$H_f$	1,7	m
Largo	L	4,5	m
Ancho	W	4,5	m

En la Tabla 5.14 se describen las características del medio filtrante y del medio de soporte de los filtros gruesos ascendentes en capas.

**Tabla 5.14 Características del medio filtrante y medio de soporte del FGAC.**

<b>Medio Filtrante</b>	<b>Espesor de la Capa (m)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
Superior	0,30	15
Intermedio	0,20	10
Intermedio	0,20	5
Inferior	0,20	2
	<b>0,90</b>	
<b>Medio de Soporte</b>	<b>Espesor de la Capa (m)</b>	<b>Diámetro de la Grava (mm)</b>
	<b>0,30</b>	20

## Filtro Lento de Arena (FLA)

Es la tercera y última unidad de los filtros que conforman el sistema de tratamiento FIME. Esta unidad es la garante que el agua tratada tenga la calidad microbiológica que asegure el consumo humano. Se considera a los filtros lentos de arena como la unidad de tratamiento principal al contar con la capa microbiológica (García, 2014). Los criterios de diseño y dimensionamiento se encuentran en las páginas 33 a 36. Se emplea el caudal del consumo medio diario de 4,99 L/s ( $0,00499 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y una velocidad de filtración de 0,1 m/h (Galvis et al, 2017).

Se propone la construcción de dos filtros lentos de arena con un caudal individual de  $0,002778 \text{ m}^3/\text{s}$ , una velocidad de filtración de 0,1 m/h y con dimensiones de 16,4 m x 5,5 m x 2,6 m.

**Tabla 5.15: Resultados del dimensionamiento de los filtros lentos de arena (FLA).**

Dimensionamiento del Filtro Lento de Arena			
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
Caudal Total	$Q_T$	0,00499	$\text{m}^3/\text{s}$
Velocidad de Filtración	$V_F$	0,1 0,000028	m/h m/s
Área Total	$A_T$	180	$\text{m}^2$
Numero de Filtros	n	2	-
Área Individual	$A_i$	90	$\text{m}^2$
Caudal Individual	$Q_i$	0,002778	$\text{m}^3/\text{s}$
Altura de Borde Libre	$H_{BL}$	0,30	m
Altura de Capa de Agua	$H_{CA}$	1,0	
Altura de Medio Filtrante	$H_{MF}$	1,0	m
Altura del Medio de Soporte	$H_{LS}$	0,30	m
Relación Longitud:Ancho		3:1	-
Caja de Filtro			
Altura del Filtro	$H_f$	2,6	m
Largo	L	16,4	m
Ancho	W	5,5	m

En la Tabla 5.16 se muestran las características del medio filtrante y del medio de soporte de los filtros lentos de arena.

**Tabla 5.16 Características del medio filtrante y medio de soporte del FLA.**

Medio Filtrante	Espesor de la Capa (m)	Diámetro (mm)
Monocapa	1,0	0,20
Coefficiente de Uniformidad		Menor a 3
Medio de Soporte	Espesor de la Capa (m)	Diámetro de la Grava (mm)
	0,30	15

## Desinfección

Según el Capítulo X Desinfección del agua de la NTON 09 003 99, *toda agua que se abastece para consumo humano debe de someterse a desinfección; incluso las de origen subterráneo para prevenir contaminación durante su distribución.* Para este sistema el método aplicado es la cloración con hipoclorito de calcio a través de una bomba pulsadora. Se emplearon las ecuaciones de la página 37 para estimar el peso del hipoclorito de calcio el cual se encuentra al 65% comercialmente, con un tiempo de contacto de 30 minutos y una dosis de cloro de 1,0 mg/L que asegura un efecto residual de 0,50 mg/L (NTON 09 003 99). Se seleccionó un volumen de tanque de 100 L para preparar la solución y que se recargue cada dos días. La solución se preparara al adicionar 1,38 Kg de  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  en los 100 litros de agua, solo la solución sobrenadante es la que se bombeara.

**Tabla 5.17 Características de los parámetros de desinfección.**

Desinfección		
Parámetros	Valores	Unidades
Caudal Total	0,00499	m <sup>3</sup> /s (4,99 L/s)
Dosis de Cloro	1,0	mg/L
Tiempo de Contacto de Cloro	30 (1 800)	min (s)
Porcentaje de Cloro	65	%
Peso del Hipoclorito de Calcio	1,38	Kg
Caudal de Dosificación	2	L/h
Volumen del Tanque Clorador	100 (0,10)	L (m <sup>3</sup> )
Altura del Tanque	1	m
Radio	0,35	m
Diámetro	0,70	m
Tiempo de Recarga del Tanque Clorador	2	d

### 5.3.3 Balance de la remoción de contaminantes por etapa de tratamiento

En la tabla se puede observar cómo van cambiando los valores de los parámetros de calidad del agua a medida que pasan por cada etapa de tratamiento, cumpliendo al final del tren de tratamiento con los valores recomendados o máximos admisibles, siendo un agua segura para la comunidad. En el Anexo D se encuentra una tabla que incluye los porcentajes de remoción que se usaron para elaborar el balance y las reacciones en la desinfección.

**Tabla 5.18 Balance de contaminantes.**

Parámetro	Unidad	Valor Medido	Parametros Removidos en el FGDI	Parametros Sin Remover en el FGDI	Parametros Removidos en el FGAC	Parametros Sin Remover en el FGAC	Parametros Removidos en el FLA	Parametros Sin Remover en el FLA	Parametros Removidos en la Desinfeccion	Desinfeccion Sin Remover	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Coliformes Total	UFC/100 mL	66	46	20	18	2	2	0		Negativo	Negativo	Negativo
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL	89	62	27	24	3	2	0		Negativo	Negativo	Negativo
Color Verdadero	mg/L Pt-Co	64	16.0	48	24	24	16.8	7.2	6.5	0.7	1	15
Turbiedad	UNT	15	7.5	7.5	5.3	2.3	1.6	0.7		0.7	1	5
Conductividad	uS/cm	51.4		51.4		51.4		51.4		51.4	400	
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	164		164		164		164		164	400	
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	95		95		95		95		95		
Temperatura	°C	21.8		21.8		21.8		21.8		21.8	25-35	
pH	-	7.2		7.2		7.2		7.2	0.19	7.01	6.5-8.5	
Oxígeno Disuelto	mg/L	4.2		4.2		4.2		4.2		4.2	4	
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	2		2		2		2		2	25	250
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0.2		0.2		0.2	0.14	0.06		0.06		0.2
Solidos Totales Disueltos	mg/L	52		52		52		52		52		1000
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	18		18		18		18		18	25	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.1		0.1		0.1		0.1		0.1		0.1-3
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	0.42		0.42		0.42	0.378	0.042	0.042	0	0.05	0.5
Hierro Total	mg/L	0.44	0.24	0.20	0.10	0.10	0.050	0.050		0.05		0.3
Manganeso total	mg/L	0.32	0.18	0.14	0.07	0.07	0.035	0.035		0.035		0.5
Fluoruro (F)	mg/L	0.2		0.2		0.2		0.2		0.2		0.7-1.5
Arsénico Total	mg/L	0.01		0.01		0.01	0.007	0.003		0.003		0.01
Plomo Total	mg/L	0.01		0.01		0.01	0.007	0.003		0.003		0.01
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	145		145		145		145	0.68	144.32		
Dioxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	mg/L	26		26		26		26	0.49	26.49		

### 5.3.4 Esquema del tren de tratamiento

El esquema de la propuesta de tren de tratamiento FIME con el número de unidades y dimensiones se muestra en la Figura 5.2.

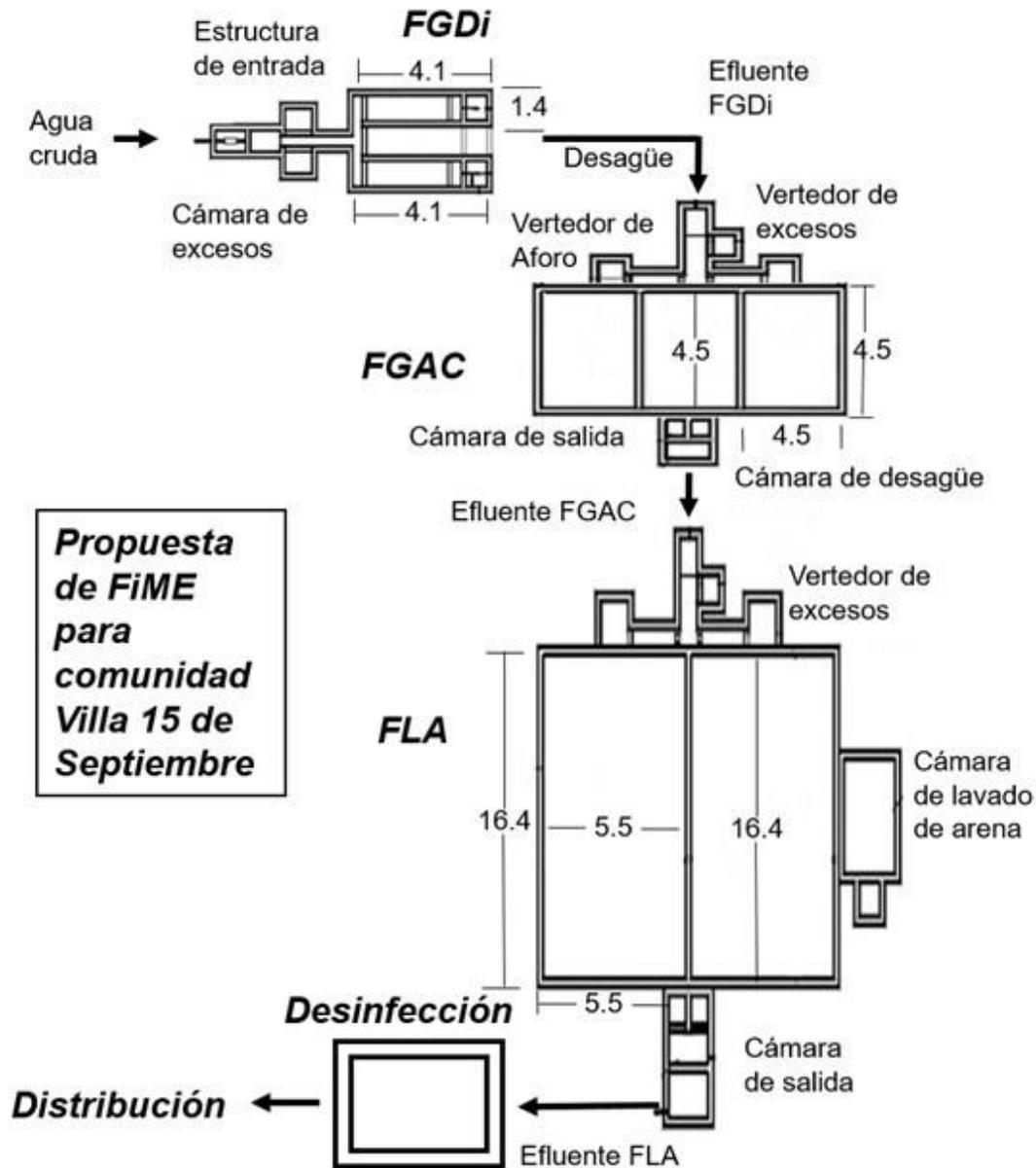


Figura 5.2: Esquema de la propuesta de tren de tratamiento.

#### **5.4 Análisis Observacional de la Vulnerabilidad de la Comunidad y el Pozo**

La vulnerabilidad es la incapacidad para recuperarse después de haber ocurrido un desastre. Para evaluar la vulnerabilidad del pozo y de la comunidad, se utilizaron matrices en donde se evaluaron los factores económicos, socio cultural, ambientales/ higiene, presentadas en las Tablas 5.19, 5.20 y 5.21.

Desde el punto de vista económico, se encontró que más de 51% de la población vive con menos de un dólar al día. Así mismo existe un porcentaje elevado (61%) de población dependiente (menor de 16 años y mayor a 64 años), y no existe fuente de empleo local, la gran mayoría de los habitantes se trasladan al casco urbano del municipio de Tipitapa para buscar fuentes de empleo, puesto que en la comunidad es baja la generación de este. El valor total del factor económico calculado fue de 1,44 (Tabla 5.19).

En la matriz ambiental-higiene se encontró que menos del 40% de la población paga la tarifa de agua establecida (C\$ 70), de igual manera se encontró que menos del 40% de los pobladores de esta comunidad utilizan algún método de desinfección (cloración, hervir el agua, filtros domiciliarios). Las practicas encontradas en este estudio que más afectan al pozo/ fuente de agua son la disposición inadecuada de desechos sólidos no peligrosos y aguas grises, ambos factores también inciden en un incremento de las enfermedades endémicas asociadas al agua. El valor total del factor ambiental-higiene es de 1,30 (Tabla 5.20).

En lo referente a la matriz socio cultural, los resultados más significativos indican que más del 60% de la población desconoce las amenazas de su comunidad y no manejan muchos aspectos sobre agua, saneamiento e higiene. También la matriz evidenció que no existe una estructura organizativa para la gestión de proyectos de agua, planes de emergencia ni comité de cuencas. El valor total del factor socio-cultural fue de 0,83 (Tabla 5.21).

El valor total de la vulnerabilidad fue de 1,19 lo que indica que en esta comunidad hay problemas económicos fuertes que podrían incidir en el pago de la tarifa y como consecuencia la operación y mantenimiento del sistema de agua potable propuesto estaría comprometida. También hay problemas en cuanto a la falta de organización de la misma comunidad lo que ocasionaría que desarrollar este proyecto con contribución de mano de obra de la comunidad como lo hace el Fondo de Inversión Social de Emergencia (FISE) con su

modalidad de Proyectos Guiados por la Comunidad (PGC) sería casi imposible por lo que se aumentarían los costos de ejecución de las obras. Además, existen problemas sanitarios graves en la comunidad Villa 15 de Septiembre.

Antes de que, en esta comunidad, la Alcaldía de Tipitapa y el FISE la incluyan en su cartera de proyectos se debe de realizar un trabajo con la comunidad para reducir el riesgo que una vez que el sistema se construya, este colapse por lo que se deben de tomar las siguientes acciones:

- Conformación del comité de agua potable y saneamiento. Asignación de roles que involucren la participación de la mujer.
- Implementación de campañas de sensibilización para el cambio de comportamiento enfocada en tema de cultura hídrica, saneamiento digno, higiene, higiene menstrual, manejo y disposición de desechos sólidos y aguas residuales de forma segura.
- Campaña de sensibilización para el pago de los micromedidores y de una tarifa mensual que cubra la operación y mantenimiento del sistema, incluyendo un monto para ahorro.
- Capacitación de miembros de la comunidad para el manejo y mantenimiento del sistema de tratamiento.
- Involucramiento de maestras y maestros para trabajar con niñas y niños en las escuelas para que sean promotores en sus casas de cambio de comportamiento en temas relacionados al ambiente.

**Tabla 5.19 Matriz para el análisis de vulnerabilidad económica.**

Nombre de la Comunidad: Villa 15 Septiembre			Municipio: Tipitapa Valoración Global			
Factores	Criterios de Valoración	≥ 3 Alta	2 Mediana Alta	1 Mediana Baja	0 Baja	
1	Nivel de pobreza (vive con menos de 1 USD/d)	0= Menos del 20% de la población 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%	X			
2	PEA local (ocupada/desocupada/subempleada), hombre y mujeres	0= menos del 10% desempleado 1= Entre 11% a 30% desempleado 2= Entre 31% a 50% desempleado 3= Más del 51% desempleado		X		
3	Población dependiente (menores de 16 años y mayores de 64 años)	0= menos del 20% es dependiente 1= Entre el 21% al 40% es dependiente 2= Entre el 41% al 60% es dependiente 3= Más del 61 % es dependiente	X		X	
4	Trabajo infantil (menores de 16 años que trabajan con o sin ingreso)	0= menos del 20% de la población 1= Entre 21% a 40% de la población 2= Entre 41% a 50% de la población 3= Más del 51% de la población			X	
5	Nivel de analfabetismo	0= menos del 10% de la población 1=Entre el 11% al 30% es analfabeto 2= Entre el 31% al 49% es analfabeto 3=Más del 50% es analfabeto			X	
6	Escolaridad (promedio 5 años de estudio)	0= Mas del 80% con 5 años 1=61% al 79% con 5 años 2= 41% al 60% con 5 años 3= menos del 40%		X		
7	Propiedad de la vivienda (alquilada, propia, prestada)	0= Mas del 80% propia 1= Entre el 61% al 79% Alquilada 2= Entre el 40% al 60% alquilada o prestada 3= Menos del 40% propia			X	
8	Propiedad de parcelas (alquilada, prestada, propia)	0= Mas del 80% propia 1= Entre el 61% al 79% Alquilada 2= Entre el 40% al 60% alquilada o prestada 3= Menos del 40% propia			X	
9	Existencia de fuentes de empleos locales	0= Mas del 80% de la demanda cubierta 1= Entre el 61% al 79% de la demanda 2= Entre el 41% al 60% de la demanda 3= Menos del 40%	X			
<b>Sumatoria</b>			<b>9</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	
<b>Total, del Factor Económico</b>				<b>1,44</b>	<b>0</b>	

**Tabla 5.20 Matriz para el análisis de vulnerabilidad ambiental e higiene.**

Nombre de la Comunidad: 15 Septiembre			Municipio: Tipitapa			
Factores			Valoración Global			
			≥ 3 Alta	2 Mediana Alta	1 Mediana Baja	0 Baja
1	Prácticas de quema en la cuenca en donde se ubica la fuente de captación	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%				X
2	Población que conoce sobre las amenazas en su comunidad y sistema de agua	0= Mas del 80% 1= Entre 61% a 79% 2= Entre 41% a 60% 3=Menos del 40%			X	
3	Hogares con practica de deposición de basura cerca de fuentes de agua	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%		X		
4	Empresas con prácticas de deposición de desechos sólidos o líquidos cerca de fuentes de agua	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%				X
5	Población con prácticas de fecalismo	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%			X	
6	Porcentaje de hogares que pagan regularmente su tarifa de agua	0= Mas del 80% 1= Entre 61% a 79% 2= Entre 41% a 60% 3=Menos del 40%	X			
7	Distancia de letrinas y pozos de consumo en menos de 20 m	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%				X
8	Presencia de enfermedades endémicas asociadas al agua (malaria, dengue, parásitos y Diarrea).	0= Menos del 20% de los hogares 1= Entre 21% a 40% 2= Entre 41% a 50% 3=Más del 51%		X		
9	Control familiar de la calidad de agua por algún método de desinfección: cloro, hervir, filtros	0= Mas del 80% 1= Entre el 61% al 79% 2= Entre el 41% al 60% 3= Menos del 40%	X			
10	Manejo de aguas grises	0= Mas del 80% 1= Entre el 61% al 79% 2= Entre el 41% al 60% 3= Menos del 40%			X	
<b>Sumatoria</b>			<b>6</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
<b>Total del Factor Ambiental e Higiene</b>			<b>1,30</b>			

**Tabla 5.21 Matriz para el análisis de vulnerabilidad socio-cultural.**

Nombre de la Comunidad: 15 Septiembre		Municipio: Tipitapa				
Factores		Criterios de Valoración	Valoración Global			
			≥ 3 Alta	2 Mediana Alta	1 Mediana Baja	0 Baja
1	% Población que conoce sobre las amenazas en su comunidad y sistemas de agua	0: Mas del 80 % 1: 61 a 79% 2: 41 a 60% 3: Menos del 40%				X
2	Participación comunitaria equitativa (hombres y mujeres) en juntas de agua / CAPS	0: 50 % H, 50 % M 1: Entre 49% a 40% M 2: 30% y 39% M 3: Menos 30 % M			X	
3	% Familias que participan en alguna organización comunitaria	0: Mas del 80 % 1: 61 a 79% 2: 41 a 60% 3: Menos del 40%			X	
4	Capacidad de gestión comunitaria (No. de proyectos gestionados por la com.)	0: Mas del 80 % 1: 61 a 79% 2: 41 a 60% 3: Menos del 40%			X	
5	Empresas municipales /comunitarias de gestion de agua organizada	0: Organizada y funcionando 1: Organizada pero poco activa 2: En proceso de organizada 3: No existe				X
6	Empresas municipales/comunitaria de gestion de agua con sistemas contables / administrativos	0: Con sistema Contable/ admins formal 1: Con sistema contable incipiente o manual 2: Sin sistema contable o desorganizado 3: No existe				X
7	% de hogares que pagan regulamente su tarifa de agua	0: Mas del 80 % 1: 61 a 79% 2: 41 a 60% 3: Menos del 40%	X			
8	Comités locales de agua organizados y funcionando	0: Tiene y aplica plan 1: Tiene Comite y Plan actualizado y lo aplican en mas del 70% 2: Tienen Comite, pero no tienen plan actualizado 3: No tiene comite, ni plan	X			
9	Atencion especial y provision a personas con capacidades diferentes	0: Si 3: No				X
10	Planes de emergencia comunitario que incluyen acciones en sistemas de agua	0: Tiene y aplica 1: Tiene pero aplica parcialmente 2: Tiene pero no aplica 3: No tiene				X
11	Comites Locales de Prevencion funcionando	0: Tiene y aplica 1: Tiene pero aplica parcialmente 2: Tiene pero no aplica 3: No tiene			X	
12	Comites Locales de Cuencas funcionando	0: Tiene y aplica 1: Tiene pero aplica parcialmente 2: Tiene pero no aplica 3: No tiene				X
<b>Sumatoria</b>			<b>6</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>
<b>Total del Factor Socio- Cultural</b>			<b>0,83</b>			

**Tabla 5.19 Vulnerabilidad total del sistema.**

<b>Vulnerabilidad</b>	<b>Valoración</b>
Vulnerabilidad Socio Cultural Organizativa	0,83
Vulnerabilidad Económica	1,44
Vulnerabilidad Ambiental higiene	1,30
<b>Sumatoria de Factores</b>	<b>3,57</b>
Vulnerabilidad Total (Promedio)	1,19

## 6. CONCLUSIONES

- El índice de calidad de agua del pozo de la Comunidad Villa 15 de Septiembre fue de 60,87 que indica que el agua del pozo está actualmente contaminada y por lo tanto es indispensable un tratamiento de potabilización para su consumo. Esto se evidenció al comparar los datos físicos, químicos y microbiológicos del agua cruda del pozo con los valores guías establecidos en la normativa de clasificación de los recursos hídricos (NTON 05 007 98), y la normativa de agua de consumo humano (CAPRE).
- Con los valores de la caracterización del agua del pozo se seleccionó y dimensiono un sistema de potabilización de agua usando la tecnología de Filtración en Múltiples Etapas o (FiME). La propuesta de tratamiento consiste en dos filtros gruesos dinámicos, tres filtros gruesos ascendente en capas, dos filtros lentos de arena y desinfección con hipoclorito de calcio. Los resultados teóricos del comportamiento de los parámetros después de cada una de las etapas de tratamiento muestran que la calidad del agua producida es potable y cumplen con los criterios de la Normativa CAPRE y por tanto se puede suministrar a la población.
- Los pobladores de la Villa 15 de Septiembre tiene que mejorar su aspecto organizacional comunitario y pasar por un proceso de cambio de comportamiento y sensibilización en temas de manejo comunitarios, aspectos ambientales y responsabilidad en el cuidado del agua y el pago de la tarifa antes de que se les construya un sistema de potabilización sino el sistema tiene el riesgo de colapsar como ha ocurrido en otras comunidades del país; solo de esta manera se reducirán los índices de vulnerabilidad económica, social-cultural, ambiental e higiene que actualmente es de 1,19 a un valor mas bajo.

## 7. RECOMENDACIONES

- Elaborar el manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento y potabilización del agua de la Comunidad Villa 15 de Septiembre, este documento debe de cumplir con lo estipulado en las Guías para la operación y mantenimiento de Sistemas de Filtración en múltiples Etapas, de la Organización Panamericana de la Salud y Manual para la Vigilancia Sanitaria del agua para consumo humano del Ministerio de Salud de Nicaragua.
- Una vez construido el sistema de tratamiento de potabilización, este debe ser evaluado (realización de muestreos físico químicos y bacteriológicos, e inspecciones in situ por parte de personal calificado) por un periodo de tres a seis meses, según lo recomendado por la OPS, con el objetivo de asegurar el buen funcionamiento de cada una de las unidades hidráulicas que lo conforman y aplicar las debidas acciones correctivas.
- Establecer coordinación entre comunidad (líderes y miembros del CAPS) y las autoridades municipales para implementar jornadas de concientización y educación ambiental referente al cuidado del sistema de tratamiento instalado y recursos hídricos en general.
- Verificar y valorar el estado físico actual de cada uno de los tramos de tuberías instaladas y utilizadas en la distribución del agua desde el pozo hacia cada una de las viviendas, y determinar de esta manera los sitios en los cuales se realizarán los cambios totales, parciales o instalación de nuevos accesorios o tuberías.
- La planta potabilizadora ha sido dimensionada, para abastecer una población menor a cien mil habitantes, por lo tanto se encontrará dentro de la Categoría Ambiental IV del Decreto 20-2017 “Sistema de Evaluación Ambiental de Permisos y Autorizaciones para el Uso Sostenible de los Recursos Naturales”, por lo anteriormente indicado es necesario la elaboración de un programa de gestión ambiental, para cuantificar y controlar todos los impactos ambientales que se deriven de su edificación y funcionamiento.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

Acosta, R. (2008). Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos . Córdoba: Editoria Brujas

AGUASAN, (2015). La filtración en Múltiples etapas en Nicaragua y Honduras. Revista Nicaragua

Altamirano, M. (Septiembre 2007). Estudio de la microcuenca y diseño de Plan de Acción Participativo para potenciar la disponibilidad y calidad de agua en la comunidad de Colonia Roque, municipio de Tipitapa. Departamento de Managua. 2002. Tesis Maestría en ciencias del agua. CIRA UNAN Managua.

Auge, M., (2006). "Agua. Fuente de vida". 27 pagina web: <http://www.gl.fcen.uba.ar/investigación/grupos/hidrogeologia/auge/aguafuente/entedevida.pdf>

Baird, C. (2001). Química ambiental. Barcelona: Reverté S.A.

Beltran, R., Ramírez, J., Sanchez, J. (2012). Comportamiento de la temperatura y el oxígeno disuelto. Hidrobiológica. Vol 22, No. 1. México

Brown R, Mcclelland N., Deininger R., Tozer R. (1970) "A water quality index-do we dare?. Water and Sewage Works. October.P. 339-343.

Capó, M. (2002). Principios de ecotoxicología, diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. Madrid: McGraw-Hill.

CAPRE. (2002). Guías para el agua potable en Nicaragua, comité regional para el agua potable y saneamiento para América Central, Panamá y República Dominicana. ENACAL.

Cogollo, M. (2010). Clarificación de agua usando coagulantes polimerizados: Caso del hidroxloruro de aluminio. Universidad Nacional del Colombia , 19-21.

Collazo M, Montaña J. (Agosto 2012), "Manual de agua subterránea", Primera edición, pag 33, Montevideo Uruguay  
<https://www.slideshare.net/juliocsierra/manual-de-aguasubterranabajo>

Dinius, S.H. (1987) "Desing of wáter quality index ,w,r,bulletin,v23,#5, pp 883-43

ENACAL. (1994). Estudio de priorización de inversiones en el sector agua potable y saneamiento. Managua.

ENACAL. (2000). Manual de operación y mantenimiento de la planta potabilizadora de Puerto Cabezas (RAAN). Puerto Cabezas.

ENACAL. (2004). Análisis sensorial de saneamiento y agua potable en Nicaragua. Managua.

EPA. (1998). Permeable Reactive Barrier Technologies for Contaminat Remedation. Obtenido de Permeable Reactive Barrier Technologies for Contaminat Remedation.

EPA. (1993). Parameters of water quality: interpretation and standards.

Fagundo, J. (2 de Agosto de 2014). Aguas naturales, minerales y mineromedicinales. Obtenido de <http://www.sld.cu/sitios/mednat/docs/aguas.pdf>

FAO. (1993). Evaluacion de la calidad del agua.

Garcia, I. (2015). Notas del curso de calidad del agua. FISE-PVIT. UNI. Managua, Nicaragua.

García, I. (2014). Fundamentos de Ingeniería Ambiental I. UNI. Managua, Nicaragua.

Galvis Castaño, Jorge Latorre Montero, Jan Teun Visscher; "Filtración en múltiples etapas"; CINARA, IRC; Colombia; 2007.  
<https://es.ircwash.org/resources/filtraci%C3%B3n-en-m%C3%BAltiples-etapas#:~:text=La%20Filtraci%C3%B3n%20en%20M%C3%BAltiples%20Etapas,para%20el%20tratamiento%20del%20agua>.

Glynn, H. (1999). Ingeniería ambiental . México : Pearson Educación .

Google. (2 de Agosto de 2014). Google maps. Obtenido de <https://www.google.com.ni/maps/place/San+Jos%C3%A9+de+los+Remates/@12.5969938,-85.7616805,1518m/data=!3m2!1e3!4b1!4m2!3m1!1s0x8f73affc24cd25a9:0x8825f3d055abf5cc>

Guia para la reduccion de la vulnerabilidad en sistemas de agua potable y saneamiento, cooperacion Suiza en america central, 2da edicion (2013).  
cosude.org.ni

Hornsby. (1986). Agua Subterranea: El recurso oculto. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/oculto.pdf>

INAA. (2 de Agosto de 2014). Estudio de priorización de inversiones en el sector de agua potable y alcantarillado sanitario. Obtenido de [http://www.bvsde.org.ni/Web\\_textos/Enacal/Enacal0034/Completo.pdf](http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/Enacal/Enacal0034/Completo.pdf)

INIDE. (10 de junio de 2014). Instituto nacional de información de desarrollo. Obtenido de <http://inide.gob.ni/censos2005/CifrasMun/Boaco/SAN%20JOSE%20DE%20LOS%20REMATES.pdf>

INIFOM. (2 de Agosto de 2014). San José de los Remates. Obtenido de [http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/BOACO/san\\_josedelosremates.pdf](http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/BOACO/san_josedelosremates.pdf)

Jiménez, B. (2001). La contaminación ambiental en México. México D.F: Limusa.

Lenntech. (3 de Agosto de 2014). Universidad Técnica de Delf. Obtenido de <http://www.lenntech.es/sobre/sobre-lenntech.htm>

Maquez, S. (2010). Distribucion espacial de la presencia de coliformes totales en el embalsede la ESPOL. Guayaquil.

Mendoza. (1976). Calidad del agua. Obtenido de <http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A0602E/A0602E.PDF>

NTON 05 007 98 (30 Febrero 2000). Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense. Norma para la Clasificación de los Recursos Hídricos. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados, INAA. Managua, Nicaragua.

NTON 09 003 99. Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense. Diseño de Abastecimiento y Sistema de Potabilización de Agua. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados, INAA. Managua, Nicaragua.

NTON 09 007 19. (2020). Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense Diseño de sistemas de abastecimiento, agua potable. Autoridad Nacional del Agua. Managua, Nicaragua.

OMS. (2018). Guías para la calidad del agua. Washintong D.C: Organización Mundial de la Salud.

OPS. CEPIS, Lima (2015). Guía Para Diseño De Sistemas De Tratamiento De Filtración En Múltiples Etapas

Ortuño, Mg. (2005). La cara oculta de los alimentos y cosméticos . México D.F: Aiyana.

Orvay, F. (1993). Acuicultura marina. Barcelona: Universidad de Barcelona.

Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní, Fundación ProTigre y Cuenca del Plata (octubre 2006) "Manual de divulgación destinado a docentes", Montevideo Uruguay [http://deltasur.org/manual\\_para\\_docentes.pdf](http://deltasur.org/manual_para_docentes.pdf)

Ramalho, R. (1996). Tratamiento de aguas residuales . Barcelona: Reverté S.A.

Ramos, R. (2003). El agua en el medio ambiente . México D.F: Plaza y Valdez S.A de C.V.

Romero, J. (1999). Potabilización de agua. México D.F: AlfaOmega grupo editor S.A de C.V.

Sánchez, O. (2007). Perspectivas sobre sistemas de conservación de ecosistemas acuáticos en México. México D.F: Instituto nacional de ecología.

Sheng, I. (1992). Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Roma.

Stanley, E. (2007). Introducción a la química ambiental . México D.F: Reverté S.A.

Valderrama, J. (1998). Información tecnológica. ISSN 07168756, 320-324.

Villegas de Brigard, M.P. Purificación de aguas, ejercicios 2 da edición Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería 2008, tablas de las páginas 110 y 113.

Weber, W. (2003). Control de la calidad del agua. Sevilla: Reverté.

Tabla A.1: Selección de tecnología.

<b>Rejillas</b>	• Retención de residuos u objetos grandes
<b>Filtración Dinámica</b>	• Sólidos Suspendedos, Turbiedad, Color, Hierro, Manganeseo, Coliformes
<b>Filtración Gruesa</b>	• Sólidos Suspendedos, Turbiedad, Color, Hierro, Manganeseo, Coliformes
<b>Filtración Lenta</b>	• Turbiedad, Color, Materia Organica, Hierro, Manganeseo, Aluminio, Plomo, Arsenico
<b>Desinfección</b>	• Coliformes

Proceso que Integran FIME

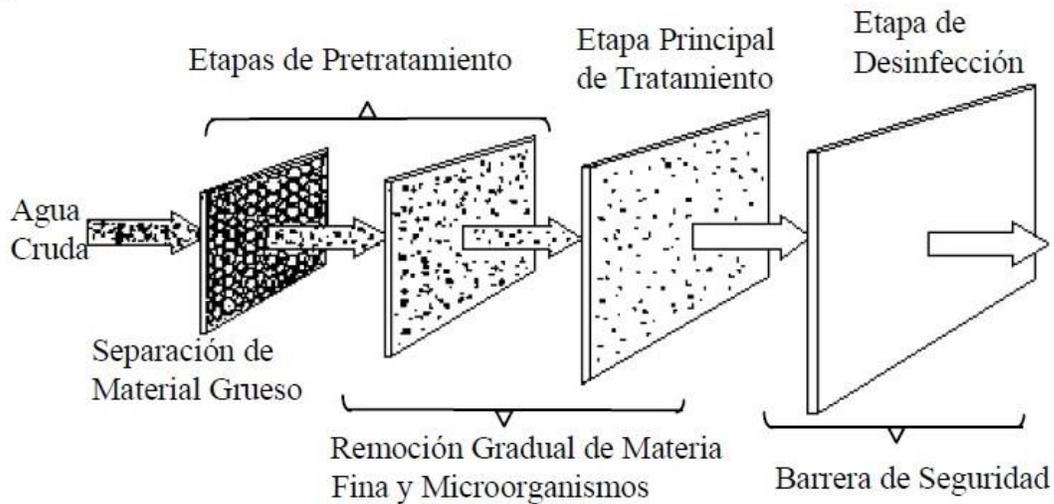


Figura A.1: Etapas del proceso.

**Anexo B:**

**Índice de Calidad de Agua (ICA)**

El Índice de Calidad del Agua (ICA) se estimó con la siguiente ecuación:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \tag{B.1}$$

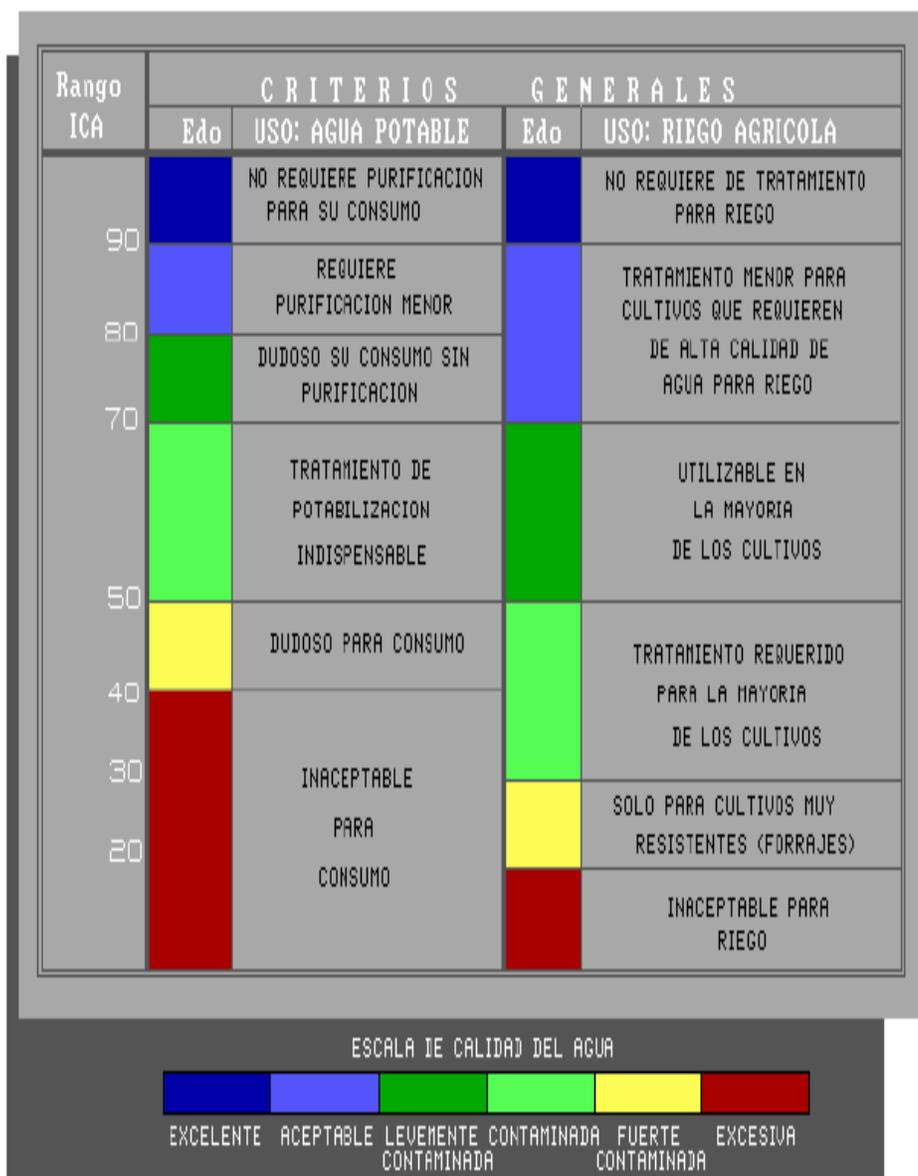
Wi es el peso asignado a cada parámetro

I es el subíndice calculado mediante ecuaciones determinadas para cada parámetro.

Para el cálculo de la función de subíndice I de cada parámetro se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Parámetro	Función del subíndice (I)	Parámetro	(SIMB-Unidad)	Valor de W
Coliformes Fecales	$I_{Colif} = 106 (CF)^{-0.1286}$	Oxígeno Disuelto	(OD-% Sat.)	0.103
OD % Sat	$I_{OD} = 0.82(OD) + 10.56$	Demanda Bioquímica Oxígeno	(DBO-mg/l)	0.096
DBO <sub>5</sub>	$I_{DBO5} = 108 (DBO_5)^{-0.3494}$	Demanda Química de Oxígeno	(DQO-mg/l)	0.053
Coliformes Totales	$I_{ColifT} = 136 (CT)^{-0.1311}$	Grado Acidez/Alcalinidad	(pH -)	0.063
Nitratos	$I_{NO3} = 125 (NO_3)^{-0.2718}$	Sólidos Suspendidos	(SST-mg/l)	0.033
Conductividad	$I_{Cond} = 506 (Cond)^{-0.3315}$	Coliformes Totales	(ColiT-#/100 ml)	0.083
Temperatura	$I_T = 10^{2.004 - 0.0382 \Delta T}$	Coliformes Fecales	(ColiF-#/100 ml)	0.143
pH	Si pH < 6.9      ⊗ $I_{pH} = 10^{0.6800 - 0.1856 (pH)}$	Nitratos	(NO3-mg/l)	0.053
	Si 6.9 ≤ pH ≤ 7.1      ⊗ $I_{pH} = 100$	Amonios	(NH3-mg/l)	0.043
	Si pH > 7.1      ⊗ $I_{pH} = 10^{3.65 - 0.2216 (pH)}$	Fosfatos	(PO4-mg/l)	0.073
Cloruros	$I_{Cl^-} = 391 (Cl)^{-0.3480}$	Fenoles	(Fenol-µg/l)	0.033
Dureza	$I_{Dur} = 552 (Dur)^{-0.4488}$	Diferencia Temperatura	(DT-°C)	0.043
Alcalinidad	$I_{Alc} = 110 (Alc)^{-0.1342}$	Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	(AlcT-mg/l)	0.055
Color	$I_{Color} = 127 (Color)^{-0.2394}$	Dureza como CaCO <sub>3</sub>	(DurT-mg/l)	0.058
		Cloruros	(Clor-mg/l)	0.068

**Figura B.1: Criterios para ICA.**



**Figura B.2: Escala del índice de calidad del agua.**

## **Anexo C: Cálculo de la Población Futura, Caudal de Diseño y Dimensionamiento**

La población de la Comunidad Villa 15 de septiembre y tasa de crecimiento fue facilitada por el comité auxiliar que representa a la Alcaldía Municipal de Tipitapa. Para proyectar el cálculo de la población futura se hace uso de la ecuación estadística:

$$Pf = Po(1 + i)^n \quad (C.1)$$

### ***Población Inicial***

$P_o = 1\ 500$  hab

$i = 3,2\%$

$n = 20$  años

### ***Población Futura***

$$Pf = Po(1 + i)^n$$

$$Pf = 1500(1 + 0,32)^{20}$$

$$Pf = 2816 \text{ hab}$$

### ***Estimación de Caudal***

Para diseñar el sistema de tratamiento se utiliza el caudal máximo diario del último año del período de diseño. Siendo este 4,99 L/s o 0,0049 m<sup>3</sup>/s. Usando la relación de retorno de 25%, el caudal a utilizar será el de 6,24 L/s o 0,0062 m<sup>3</sup>/s para el diseño de los filtros gruesos dinámico, en cambio para los filtros gruesos ascendente, filtros lentos y desinfección se empleará 4,99 L/s o 0,0049 m<sup>3</sup>/s.

En la Tabla C.1 se muestran los cálculos realizados y se adjunta la hoja de Excel que se puede activar para ver cómo se estimó el caudal.



Estimacion del  
Caudal.xlsx

**Tabla C.1: Estimación del caudal.**

Año	Población	Dotación (gal/hab-d) Tabla 5.10	Consumo Doméstico, CD (gal/d)	Consumo Doméstico, CD (L/s)	Consumo Comercial, CC (L/s) 0.07*CD	Consumo Industrial, CI (L/s) 0.07*CD	Consumo Público, CP (L/s) 0.02*CD	Otros Usos, OU (L/s) 0.02*CD	Fugas (L/s), 0.15*CD	Consumo Promedio Diario, CPD (L/s)	Consumo Medio Diario, CMD (L/s)	Consumo Medio Horario, CMH (L/s)
2022	1500	20	30000	1.31	0.09	0.09	0.03	0.03	0.20	1.75	2.62	4.37
2025	1756	20	35117	1.54	0.11	0.11	0.03	0.03	0.23	2.05	3.07	5.12
2030	2055	20	41107	1.80	0.13	0.13	0.04	0.04	0.27	2.40	3.59	5.99
2035	2406	20	48119	2.11	0.15	0.15	0.04	0.04	0.32	2.80	4.21	7.01
2040	2816	20	56327	2.47	0.17	0.17	0.05	0.05	0.37	3.28	4.99	8.20

## Dimensionamiento de las Etapas de Tratamiento

En las Tablas C2 a la C5 se presentan los criterios de diseño, ecuaciones y resultado del dimensionamiento de cada una de las etapas de tratamiento. También se incluye el documento en Excel para activarlo.



Dimensionamiento  
FIME+Desinfeccion.xls

**Tabla C.2: Dimensionamiento de los FGDI.**

FILTRO GRUESO DINAMICO					
Caudal, Q	0.00499	m <sup>3</sup> /s			
Relacion de Sobre Flujo, R	25	%	Criterio		
Velocidad de Filtracion, v,	2	m/h	Tabla 3.12		
Velocidad de Filtracion, v	0.00056	m/s			
Area Maxima, A <sub>M</sub>	10	m <sup>2</sup>	Tabla 3.12		
Altura de Borde Libre, H <sub>BL</sub>	0.2	m	Criterio		
Altura de Medio Filtrante, H <sub>MF</sub>	0.6	m	Tabla 3.10		
Altura de Medio de Soporte, H <sub>MS</sub>	0.3	m	Tabla 3.11		
Relacion Longitud:Ancho, L:a	03:01		Criterio		
<b>Caudal Total, Q<sub>T</sub></b>	<b>Q*(1+R)</b>		<b>0.0062</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>Area Total, A<sub>T</sub></b>	<b>Q<sub>T</sub>/v</b>		<b>11</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	
<b>Numero de Filtros, n</b>	<b>A<sub>T</sub>/A<sub>M</sub></b>		<b>1.12</b>		Por O y M se necesitaran dos unidades como minimo
<b>Numero de Filtros, n</b>			<b>2</b>		
<b>Area Individual, A<sub>I</sub></b>	<b>A<sub>T</sub>/n</b>		<b>5.6</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	
<b>Caudal Individual, Q<sub>I</sub></b>	<b>Q<sub>T</sub>/n</b>		<b>0.0031</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>Altura del Filtro, H<sub>T</sub></b>	<b>H<sub>BL</sub>+H<sub>MF</sub>+H<sub>MS</sub></b>		<b>1.1</b>	<b>m</b>	
<b>Area Individual, A<sub>I</sub></b>	<b>L x a</b>				
<b>Area Individual, A<sub>I</sub></b>	<b>3a x a</b>				Usando la relacion L = 3a
<b>Ancho, a</b>	<b>Raiz Cuadrada (A<sub>I</sub>/3)</b>		<b>1.4</b>	<b>m</b>	
<b>Longitud, L</b>	<b>3a</b>		<b>4.1</b>	<b>m</b>	

**Tabla C.3: Dimensionamiento de los FGAC.**

FILTRO GRUESO ASCENDENTE EN CAPAS					
Caudal, Q	0.00499	m <sup>3</sup> /s			
Velocidad de Filtracion, v,	0.3	m/h	Tabla 3.14		
Velocidad de Filtracion, v	0.000083	m/s			
Area Maxima, A <sub>M</sub>	15-25	m <sup>2</sup>	Tabla 3.14		
Altura de Borde Libre, H <sub>BL</sub>	0.3	m	Criterio		
Altura de Capa de Agua, H <sub>CA</sub>	0.1-0.2	m	Tabla 3.14		
Altura de Medio Filtrante, H <sub>MF</sub>	0.6-0.9	m	Tabla 3.14		
Altura de Medio de Soporte, H <sub>MS</sub>	0.3	m	Tabla 3.14		
Relacion Longitud:Ancho, L:a	01:01		Criterio		
<b>Area Total, A<sub>T</sub></b>	<b>Q<sub>T</sub>/v</b>		<b>60</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	
<b>Numero de Filtros, n</b>	<b>A<sub>T</sub>/A<sub>M</sub></b>		<b>3</b>		Seleccionando un area maxima de 20 m <sup>2</sup> por filtro
<b>Area Individual, A<sub>I</sub></b>	<b>A<sub>T</sub>/n</b>		<b>20</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	
<b>Caudal Individual, Q<sub>I</sub></b>	<b>Q<sub>T</sub>/n</b>		<b>0.001667</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>Altura del Filtro, H<sub>T</sub></b>	<b>H<sub>BL</sub>+H<sub>CA</sub>+H<sub>MF</sub>+H<sub>MS</sub></b>		<b>1.7</b>	<b>m</b>	
<b>Area Individual, A<sub>I</sub></b>	<b>L x a</b>				
<b>Area Individual, A<sub>I</sub></b>	<b>L x L</b>				Usando la relacion L = a
<b>Longitud, L</b>	<b>Raiz Cuadrada (A<sub>I</sub>)</b>		<b>4.5</b>	<b>m</b>	
<b>Ancho, a</b>	<b>a</b>		<b>4.5</b>	<b>m</b>	

**Tabla C.4: Dimensionamiento de los FLA.**

FILTRO LENTO DE ARENA					
Caudal, Q	0.00499	m <sup>3</sup> /s			
Velocidad de Filtracion, v,	0.1	m/h	Tabla 3.15		
Velocidad de Filtracion, v	0.000028	m/s			
Area Maxima, A <sub>M</sub>	100	m <sup>2</sup>	Criterio		
Altura de Borde Libre, H <sub>BL</sub>	0.2-0.3	m	Criterio		
Altura de Capa de Agua, H <sub>CA</sub>	1.0-1.5	m	Criterio		
Altura de Medio Filtrante, H <sub>MF</sub>	1.0	m	Tabla 3.15		
Altura de Medio de Soporte, H <sub>MS</sub>	0.3	m	Tabla 3.15		
Relacion Longitud:Ancho, L:a	03:01		Criterio		
<b>Area Total, A<sub>T</sub></b>	<b>Q<sub>T</sub>/v</b>		<b>180</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	
<b>Numero de Filtros, n</b>	<b>A<sub>T</sub>/A<sub>M</sub></b>		<b>2</b>		Seleccionando un area maxima de 100 m <sup>2</sup> por filtro
<b>Area Individual, A<sub>i</sub></b>	<b>A<sub>T</sub>/n</b>		<b>90</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	
<b>Caudal Individual, Q<sub>i</sub></b>	<b>Q<sub>T</sub>/n</b>		<b>0.002778</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>Altura del Filtro, H<sub>T</sub></b>	<b>H<sub>BL</sub>+H<sub>CA</sub>+H<sub>MF</sub>+H<sub>MS</sub></b>		<b>2.6</b>	<b>m</b>	
<b>Area Individual, A<sub>i</sub></b>	<b>L x a</b>				
<b>Area Individual, A<sub>i</sub></b>	<b>3a x a</b>				Usando la relacion L = 3a
<b>Ancho, a</b>	<b>Raiz Cuadrada (A<sub>i</sub>/3)</b>		<b>5.5</b>	<b>m</b>	
<b>Longitud, L</b>	<b>3a</b>		<b>16.4</b>	<b>m</b>	

**Tabla C.5: Cálculos del proceso de cloración.**

CLORACION					
Caudal, Q	0.00499	m <sup>3</sup> /s			
Caudal, Q	4.99	L/s			
Dosis de Cloro	1	mg/L	NTON 09-003-99		
Tiempo de Contacto	30	minutos	NTON 09-003-99		
Tiempo de Contacto	1800	s			
Porcentaje de Cloro	65	%	Disponibilidad Comercial		
Volumen del Tanque para preparar la Solucion de Hipoclorito de Calcio	100	L	Disponibilidad Comercial		
Caudal de Dosificacion	2	L/h	Disponibilidad Comercial		
Altura del Tanque	1	m	Disponibilidad Comercial		
Diametro del Tanque	0.7	m	Disponibilidad Comercial		
Radio del Tanque	0.35	m	Disponibilidad Comercial		
<b>Peso del Hipoclorito de Calcio. P</b>	<b>1.38</b>	<b>Kg</b>			
<b>Tiempo de Recarga del Tanque Clorador, t</b>	<b>2</b>	<b>d</b>			

$$P(Kg) = \frac{V_{\text{Tanque Clorador}} \times Q_{\text{Agua}} \times \text{Dosis de Cloro} \times 3600}{q_{\text{Dosificacion}} \times \frac{\text{Porcentaje del Hipoclorito}}{100} \times (1 \times 10^6)}$$

$$t(\text{dias}) = \frac{V_{\text{Tanque Clorador}}}{q_{\text{Dosificacion}} \times 24}$$

**Anexo D:****Calculo de la Remoción de Contaminantes**

La filtración de en múltiples etapas (FIME) es una solución integrada para mejorar la calidad del agua en sistemas de abastecimiento del agua en sistemas de abastecimiento de comunidades rurales, y en pequeños o medianos municipios. Utiliza una combinación de filtración en grava y filtración lenta de arena (FLA) con dos o tres etapas para el tratamiento del agua. Esta combinación permite el tratamiento del agua con niveles de contaminación por encima de los que se pueden tratar trabajando sólo con el sistema FLA. (Diplomado de Planeación y Diseño de Plantas de Tratamientos de Agua por Filtración en Múltiples Etapas, FIME, 2008).

**Tabla D.1: Remoción de contaminantes en la filtración dinámica.**

Parámetro	Reducción Típica
Sólidos suspendidos	Entre el 70% y el 80%, con fuentes en el rango de 10 a 200 mg/l
Turbiedad	Entre 30% y el 50% en fuentes de zona plana. En fuentes de ladera es del orden del 50%. La eficiencia de remoción puede afectarse por la naturaleza y la distribución del tamaño de las partículas.
Color real	Presenta remociones en el rango entre 10% y 25%, con fuentes en el rango de 15 y 20 UPC.
Hierro, Manganeseo	Se presentan entre el 40% al 70% como hierro total y entre el 40% y el 60% para manganeseo.
Coliformes fecales	Remociones típicas entre 50%-90%. Cuando los niveles de sólidos suspendidos están en el rango entre 10 y 50 mg/l y niveles de coliformes fecales en el rango 2000 a 100000 UFC/100 ml

**Tabla D.2: Remoción de contaminantes en la filtración gruesa ascendente.**

Parámetro	Reducción Típica
Sólidos Suspendidos	Alcanza hasta el 95%, siendo 90% el valor comúnmente reportado en fuentes superficiales con altos contenidos de material suspendido, en el rango de 50 mg/l a 200 mg/l. En Fuentes con contenidos de material suspendido en el rango de 5 mg/l a 50 mg/l, se reportan remociones del orden del 50% al 90%.
Turbiedad	Entre el 50% y el 80% en fuentes superficiales de Valle, siendo mayores para los FGAS. En fuentes superficiales de ladera la remoción está en el rango 50% - 90%
Color Real	Presenta remociones en el rango entre 20% y 50%
Hierro y Manganeseo	Están al rededor del 50%
Coliformes Fecales	Reducciones entre 0.65 -2.5 unidades log, siendo las mayores para FGAS tratando agua con contaminación bacteriológica en el rango de 20000 a 100000 UFC/100 ml y contenido de sólidos suspendidos entre 20 mg/l y 200 mg/l. Las menores eficiencias se presentan con fuentes de calidad bacteriológica entre 500 y 20000 UFC/100 ml.

**Tabla D.20: Remoción de contaminantes en la filtración lenta.**

PARAMETER	TYPICAL REDUCTION (%)
Entero-bacteria	90 - 99.9%, however coliform removal efficiency is reduced under low temperature conditions, increased hydraulic rate, use of coarse filter sand, shallow depth of sandbed, decreased contaminant concentration and just after removal of the biological filter skin;
Protozoan cysts	99 - 99.99% removal even after filter scraping
Cercariae of schistosomiasis	Virtually complete removal
Turbidity	Generally reduced to less than 1 NTU if the influent is below 10 NTU. The removal efficiency can be affected by particle size and distribution
Color	30 - 90% with 30% being mentioned as the most usual efficiency
Organic matter	COD 30 - 70%; TOC 15-30%. Organic matter such as humic acids, detergents, phenols, and some pesticides and herbicides are being removed from 5 to over 90%
Iron, manganese	Considerable removal
Heavy metals	30 - 90% or even higher

Con los porcentajes remoción de las Tablas D1, D2 y D3 para cada etapa de tratamiento propuesta de la tecnología FIME y las ecuaciones que se muestra a continuación se estimaron la disminución en la concentración de cada parámetro y la fracción no removida que se presentan en el balance de la Tabla 5.18 la cual es una tabla simplificada que muestra solo los resultados sin incluir los

porcentajes empleados. No obstante, al finalizar este anexo se encuentra una tabla completa.

$$\text{Porcentaje de Remoción} = \frac{[\text{Concentración Inicial}] - [\text{Concentración Final}]}{\text{Concentración Inicial}} \times 100 \quad (\text{D1})$$

$$\text{Concentración de Salida} = \text{Concentración Inicial} - \text{Concentración Removida} \quad (\text{D2})$$

## Desinfección

Para el cálculo de la remoción de color usando cloro como oxidante se utilizó un valor del 90% de acuerdo con la tabla de abajo:

**Tabla D4: Porcentajes de remoción de acuerdo con la tecnología.**

Contaminant categories	Selección de Tratamiento												
	Aeration and stripping	Coagulation processes, sedimentation, filtration	Lime softening	Ion exchanges		Membrane processes			Chemical oxidation, disinfection	SH Adsorption			
				Anion	Cation	Reverse osmosis	Ultra-filtration	Electro-dialysis		Granular activated carbon	Powdered activated carbon	Activated alumina	
<i>B. Secondary Contaminants</i>													
Carbon dioxide	G-E	P-F	E	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Chloride	P	P	P	F-G	P	G-E	P	G-E	P	P	P	P	—
Color	P	F-G	F-G	P-G	—	—	—	—	F-E	E	G-E	G	—
Copper	P	G	G-E	P	F-G	E	—	E	P-F	F-G	P	—	—
Hardness	P	P	E	P	E	E	G-E	E	P	P	P	P	P
Hydrogen sulfide	F-E	P	F-G	P	P	P	P	P	F-E	F-G	P	P	P
Iron	F-G	F-E	E	P	G-E	G-E	G	G-E	F-E	P	P	P	P
Manganese	P-F	F-E	E	P	G-E	G-E	G	G-E	F-E	P	P	P	P
Methane	G-E	P-E	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	G-E
Sulfate	P	P	P	G-E	P	E	P	E	P	P	P	P	P
Taste and odor	F-E	P-F	P-F	P-G	—	—	—	—	F-E	G-E	G-E	P-F	P-F
TOC	F	P-F	G	—	G-E	E	—	E	P	—	—	—	—
Total dissolved solids	P	P	P-F	P	P	G-E	P-F	G-E	P	P	P	P	P
Zinc	P	F-G	G-E	P	G-E	E	—	E	P	—	—	—	—
<i>C. Proposed Contaminants</i>													
Aluminum	P	F	F-G	P	G-E	E	—	E	P	—	—	—	—
Disinfection byproducts	—	P-E	P-F	P-F	—	P	F-G	F-G	F-G	F-E	P-G	—	—
Radon	G-E	P	P	P	P	P	P	P	P	E	P-F	P	P
Silver	F-G	G-E	P	G	—	—	—	P	F-G	P-F	—	—	—
Uranium	P	G-E	G-E	E	G-E	E	—	E	P	F	P-F	G-E	G-E

\*From C. L. Hamann, J. B. McEwen, and A. G. Myers (1990), "Guide to Selection of Water Treatment Processes," in *Water Quality and Treatment*, 4th ed., F. W. Pontius, ed., American Water Works Association, McGraw-Hill, pp. 157-187. Reproduced with permission of McGraw-Hill, Inc.

<sup>b</sup>P, poor (0-20% removal); F, fair (20-60% removal); G, good (60-90% removal); E, excellent (90-100% removal); "—", not applicable/insufficient data.

<sup>c</sup>After Himberg et al. (1989).

Usando una concentración de 1 mg/L de hipoclorito de calcio para mantener un cloro residual de 0,5 mg/L (NTON 09-003-99) más la concentración que se utilizó para la oxidación de cloro, se procedió a calcular la concentración de ácido hipocloroso y la de los iones hidroxilos con la siguiente reacción.

## SIN REMOCIÓN DE AMONIO

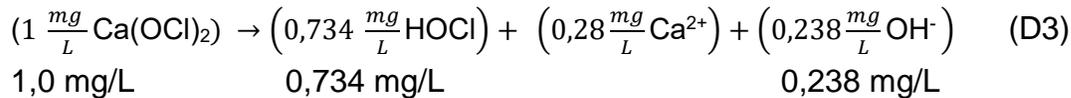


$$\left(1 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \times 143 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}} \text{Ca(OCl)}_2\right) \rightarrow \left(2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \times 52,5 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}} \text{HOCl}\right) + \left(1 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \times 40 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}} \text{Ca}^{2+}\right) + \left(2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \times 17 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}} \text{OH}^-\right)$$

$$\left(143 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Ca(OCl)}_2\right) \rightarrow \left(105 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{HOCl}\right) + \left(40 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Ca}^{2+}\right) + \left(34 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{OH}^-\right) / 143$$

$$\left(1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Ca(OCl)}_2\right) \rightarrow \left(0,734 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{HOCl}\right) + \left(0,28 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Ca}^{2+}\right) + \left(0,238 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{OH}^-\right)$$

**Figura D1: Reacción del hipoclorito de calcio.**

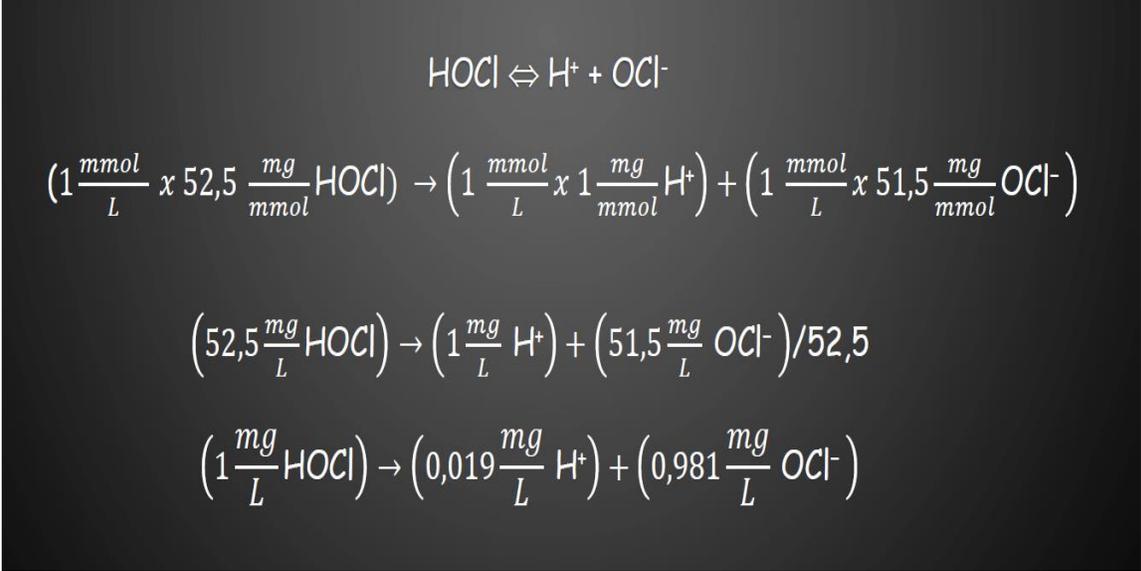


Es importante señalar, que el compuesto HOCl se disocia en  $\text{OCl}^-$  y  $\text{H}^+$ . El porcentaje de disociación varía según el pH del agua. En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de disociación.

**Tabla D.5: Porcentajes de disociación.**

pH	HOCl	$\text{OCl}^-$
<b>6</b>	<b>98%</b>	<b>2%</b>
<b>7</b>	<b>80%</b>	<b>20%</b>
<b>8</b>	<b>27%</b>	<b>73%</b>
<b>9</b>	<b>4%</b>	<b>96%</b>

Con el pH de 6,99 de la etapa de desinfección se encuentra que la disociación es HOCl es igual al 80% por lo tanto, la concentración de HOCl a disociarse es de 0,587 mg/L. Para determinar la producción de hidrógeno se utilizó la siguiente reacción:



**Figura D2: Disociación del ácido hipocloroso.**



La concentración proveniente de los iones OH se calcula a partir de la Ecuación D5.

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-14}$$

$$[\text{H}^+] = \frac{1 \times 10^{-14}}{0,238 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ mol}}{17 \text{ g}}}$$

$$= ,14 \times 10^{-10} \text{ mol/L} \quad (\text{D5})$$

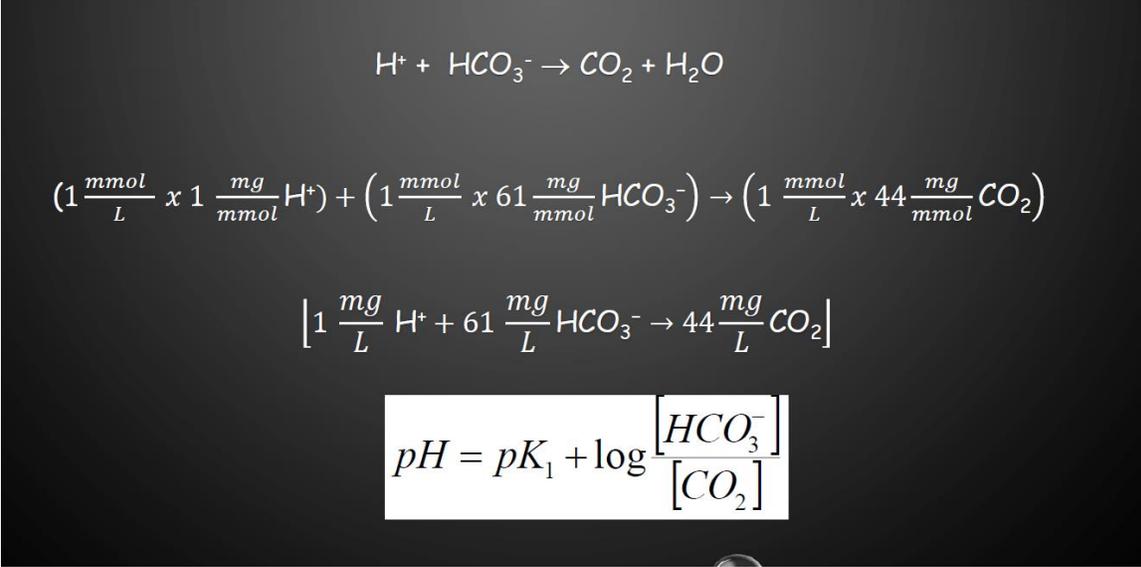
$$= 7,14 \times 10^{-10} \text{ mol/L} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

$$= 7,14 \times 10^{-7} \text{ mg/L}$$

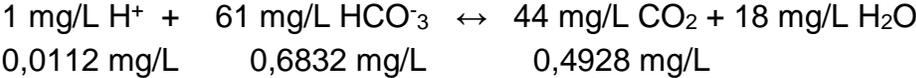
$$\text{H}^+_{\text{Total}} = 0,0112 \text{ mg/L} + 7,14 \times 10^{-7} \text{ mg/L}$$

En total, se han producido 0,0112 mg/L de H<sup>+</sup>.

Para calcular el consumo de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y la producción de CO<sub>2</sub> se utiliza la siguiente reacción:



**Figura D3: Calculo del pH.**



$$[HCO_3]_s = [HCO_3]_o - [HCO_3]_R = 145 - 0,6832 = 144,32 \text{ mg/L}$$

$$[CO_2]_s = [CO_2]_o + [CO_2]_p = 26 + 0,4928 = 26,49 \text{ mg/L}$$

$$[HCO_3]_s = 144,32 / (61) = 2,366$$

$$[CO_2]_s = 26,49 / (44) = 0,602$$

$$pH_s = 6,42 + \log (2,366 / 0,602) = 7,01$$

La Tabla D6 con las indicaciones de los porcentajes de remoción y los cálculos se presenta en la siguiente página. El Excel del calculo se incluye para que pueda ser activado.



Balance por Etapas  
Completo.xlsx

**Tabla D6: Balance de contaminantes por etapa de tratamiento.**

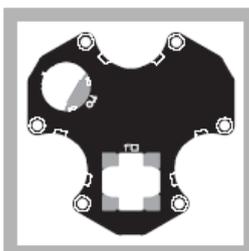
Parámetro	Unidad	Valor Medido	Porcentaje de Remocion Tabla D1	Parametros Removidos en el FGDI	Parametros Sin Remover en el FGDI	Porcentaje de Remocion Tabla D2	Parametros Removidos en el FGAC	Parametros Sin Remover en el FGAC	Porcentaje de Remocion Tabla D3	Parametros Removidos en el FLA	Parametros Sin Remover en el FLA	Porcentaje de Remocion en la Desinfeccion	Parametros Removidos en la Desinfeccion	Desinfeccion Sin Remover	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Coliformes Total	UFC/100 mL	66	70	46	20	90	18	2	90	2	0			Negativo	Negativo	Negativo
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL	89	70	62	27	90	24	3	90	2	0			Negativo	Negativo	Negativo
Color Verdadero	mg/L Pt-Co	64	25	16.0	48	50	24	24	70	16.8	7.2	90	6.5	0.7	1	15
Turbiedad	UNT	15	50	7.5	7.5	70	5.3	2.3	70	1.6	0.7			0.7	1	5
Conductividad	uS/cm	51.4			51.4			51.4			51.4			51.4	400	
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	164			164			164			164			164	400	
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	95			95			95			95			95		
Temperatura	°C	21.8			21.8			21.8			21.8			21.8	25-35	
pH	-	7.2			7.2			7.2			7.2	Reaccion	0.19	7.01	6.5-8.5	
Oxígeno Disuelto	mg/L	4.2			4.2			4.2			4.2			4.2	4	
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	2			2			2			2			2	25	250
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0.2			0.2			0.2	70	0.14	0.06			0.06		0.2
Solidos Totales Disueltos	mg/L	52			52			52			52			52		1000
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	18			18			18			18			18	25	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.1			0.1			0.1			0.1			0.1		0.1-3
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	0.42			0.42			0.42	90	0.378	0.042	100	0.042	0	0.05	0.5
Hierro Total	mg/L	0.44	55	0.24	0.20	50	0.10	0.10	50	0.050	0.050			0.05		0.3
Manganeso total	mg/L	0.32	55	0.18	0.14	50	0.07	0.07	50	0.035	0.035			0.035		0.5
Fluoruro (F)	mg/L	0.2			0.2			0.2			0.2			0.2		0.7-1.5
Arsénico Total	mg/L	0.01			0.01			0.01	70	0.007	0.003			0.003		0.01
Plomo Total	mg/L	0.01			0.01			0.01	70	0.007	0.003			0.003		0.01
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	145			145			145			145	Reaccion	0.68	144.32		
Dioxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	mg/L	26			26			26			26	Reaccion	0.49	26.49		

Color Verdadero

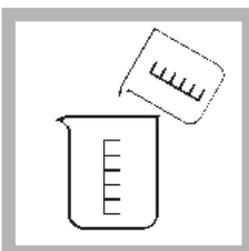
Platinum-Cobalt Method 8025



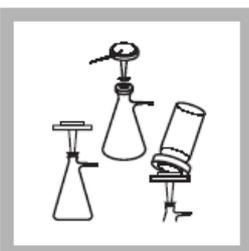
1. Select the test.  
**NCASI:** Use Program 125 for the NCASI test.



2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.



3. Collect 200 mL of sample in a 400-mL beaker.  
**NCASI:** Adjust the pH as described in [Test Preparation](#).



4. Assemble the filtering apparatus (0.45 micron membrane filter, filter holder, filter flask, and aspirator).  
**NCASI:** Test prescribes a 0.8-micron filter.



5. Rinse the filter by pouring about 50 mL of deionized water through the filter. Discard the rinse water.



6. Pour another 50 mL of deionized water through the filter.

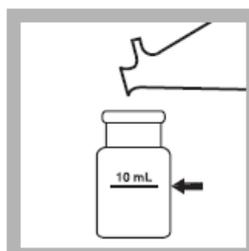


7. **Blank Preparation:** Fill a square sample cell with 10 mL of filtered deionized water from step 6.  
 Discard the excess water in the flask.



8. Pour about 50 mL of sample through the filter.

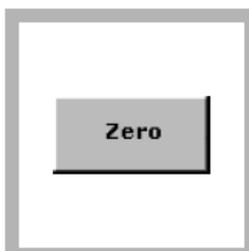
Turbiedad (0 a 999 NTU)



9. **Prepared Sample:** Fill a second square sample cell with 10 mL of filtered sample.



10. Wipe the blank and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.



11. Press ZERO.  
 The display will show:  
 0 units PtCo



12. Wipe the prepared sample and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.  
 Results are in mg/L PtCo.

Este parámetro es determinado usando el Turbidímetro 2010P "HACH". Este dispositivo fue previamente calibrado por la fábrica con formazina para la primera

vez que debería ser usado. Se recoge la muestra y se coloca en una celda del 2100P hasta la línea (cerca de 15 mL) teniendo cuidado de manipular la celda por la parte superior tapando la celda. A continuación, se procede con los siguientes pasos:

- Limpiar la celda con una tela suave y sin hilachas, para quitar gotas de agua y huellas digitales.
- Aplicar una capa fina de aceite de silicona. Limpiar con una tela suave para obtener una capa más fina en toda la superficie.
- Presionar el botón 1/0. El instrumento se enciende, se coloca el instrumento en una superficie plana y firme.
- Se pone la celda de la muestra en el compartimiento del instrumento de tal manera que las marcas de la celda y el compartimiento coincidan.
- Escoger selección de rango manual o automática presionando RANGE, cuando el instrumento está en selección automática de rango la pantalla mostrará: AUTORNG.
- Se selecciona el modo de señal promedio presionando SIGNAL AVERAGE. La pantalla mostrará SIG AVG, cuando el instrumento esté usando promedio de señal. Usar el modo de señal promedio, si la muestra causa una señal ruidosa (la pantalla cambia constantemente).
- Presionar READ. La pantalla mostrará la turbidez en NTU. Apuntar la turbidez después de que se apaga la luz.

## **Temperatura**

Este parámetro se mide en el momento de la toma de las muestras. Usando un termómetro o leyendo el valor en el pH metro "HACH".

## **pH**

Este parámetro es medido en el momento que la muestra fue tomada usando la combinación del método pH electrodo y un medidor portátil EC 10 USEPA. El procedimiento es el siguiente:

- Presionar el botón dispensador una vez (hasta que haga click).
- Enjuague bien con agua desmineralizada y seque. Poner el electrodo en el contenedor de la muestra.
- Apuntar el valor del pH cuando la pantalla esté estable.
- Enjuagar el electrodo completamente con agua desmineralizada y secarlo bien.

## **Conductividad**

Este parámetro es determinado usando el Conductivímetro 2010P "HACH", y es medido en el momento que la muestra fue tomada. El procedimiento es el siguiente:

- Presionar el botón on/off una vez.
- Enjuague con agua destilada el electrodo y seque bien.
- Introduzca el electrodo dentro del contenedor de muestra, asegurando que esté bien sumergido y presione READ.
- Anote el valor de conductividad cuando la pantalla es estable.
- Enjuague el electrodo completamente y seque.

## **Sólidos Totales Disueltos (STD)**

Este parámetro es determinado usando el Conductivímetro 2010P "HACH", y es medido en el momento de la toma de muestra. El procedimiento es el siguiente:

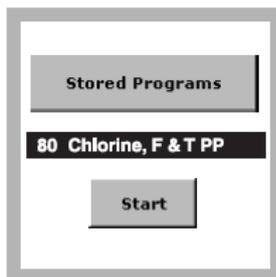
- Presionar el botón on/off una vez.
- Enjuague con agua destilada.
- Introduzca el electrodo dentro del contenedor de muestra, asegurando que esté bien sumergido y presione READ.

- Anote el valor de STD cuando la pantalla es estable. (La compensación automática de temperatura corrige los cambios de temperatura)
- Enjuague el electrodo y seque.

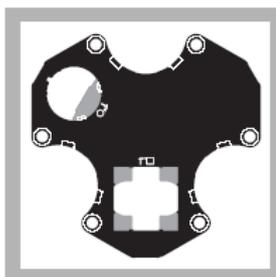
## Cloro Libre

### Powder Pillows

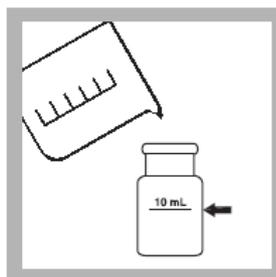
### Method 8021



1. Select the test.



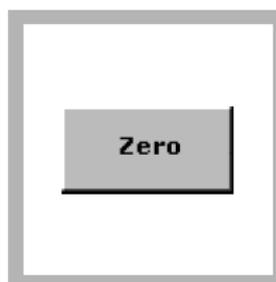
2. Install the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.



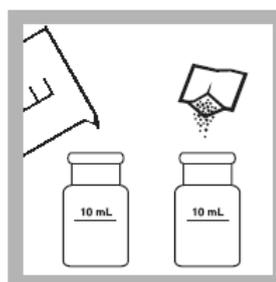
3. **Blank Preparation:** Fill a square sample cell with 10 mL of sample.



4. Wipe the blank and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.



5. Press **ZERO**.  
The display will show:  
0.00 mg/L Cl<sub>2</sub>



6. **Prepared Sample:** Fill a second square cell with 10 mL of sample. Add the contents of one DPD Free Chlorine Powder Pillow to the sample cell.



7. Swirl the sample cell for 20 seconds to mix. A pink color will develop if chlorine is present. Proceed to step 8 immediately.



8. Within one minute of adding the reagent, insert the prepared sample into the cell holder with the fill line facing the user. Results are in mg/L Cl<sub>2</sub>.

## Alcalinidad: Método de Titulación (SM 2320)

### Discusión General

a) *Principio:* Los iones hidróxilos presente en una muestra como resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos reaccionan con las adiciones de ácidos estándar. Por tanto, la alcalinidad depende del pH de punto final utilizado. Para conocer los métodos de determinación de puntos de inflexión a partir de curvas de titulación a puntos finales de pH fijados. Para muestra de alcalinidad baja (menos de 20 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ), utilícese una técnica de extrapolación basada en la proporcionalidad cercana de la concentración de hidrogeniones y el exceso de reactivo más allá del punto de equivalencia. Se mide con precisión la cantidad de ácido estándar requerida para reducir el pH exactamente en 0,30 unidades. Como este cambio del pH corresponde a una duplicación exacta de la concentración de hidrogeniones, puede hacerse una extrapolación simple para el punto de equivalencia.

b) *Puntos Finales:* Cuando la alcalinidad se debe enteramente al contenido de carbonato o bicarbonato, el pH en el punto de equivalencia de la titulación se determina en función de la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en esta fase. Esta concentración depende, a su vez, del tipo de carbonato total nativo existente y de cualquier pérdida que pueda haberse producido durante la titulación. Como puntos de equivalencia de las concentraciones de alcalinidad correspondientes, en mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , se sugieren los valores de pH que se expresan a continuación. Alcalinidad de fenolftaleína es un término empleado tradicionalmente para designar la cantidad medida mediante titulación a pH 8,3, independientemente del indicador de color utilizado en su caso para la determinación. Las llamativas variaciones de color producidas por el púrpura de metacresol (pH 8,3) y el verde de bromocresol (pH 4,5) conceden utilidad estos indicadores para la titulación de alcalinidad.

c) *Interferencias:* Los jabones, las materias oleosas y los sólidos en suspensión o precipitados pueden recubrir el electrodo de vidrio y causar una respuesta retardada. Déjense un tiempo adicional entre las adiciones del reactivo para permitir que el electrodo recupere el equilibrio, o límpiense éste en su caso. No se debe filtrar, diluir, concentrar o alternar la muestra.

d) *Selección del Método:* Determínese la alcalinidad de la muestra a partir del volumen de ácido estándar requerido para titular una porción a un pH determinado. Titúlese a temperatura ambiente con un medidor de pH adecuadamente calibrado o un titulador eléctrico, o utilizando indicadores de color. Infórmese de una alcalinidad menor de 20 mg de  $\text{CaCO}_3$  solamente si ha

sido determinada por el método de alcalinidad baja. Confecciónese una curva de titulación para estandarización de loes reactivos. Los indicadores de color pueden utilizarse para titulaciones habituales y de control en ausencia de color y turbidez que puedan interferir, y en titulaciones preliminares para seleccionar el tamaño de la muestra y la potencia del reactivo.

e) *Tamaño de la Muestra:* Para seleccionar el tamaño de la muestra que va a titularse y la normalidad del reactivo, sustituyendo ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) o clorhídrico (HCl) 0,02 ó 0,1 N por el álcali estándar de este método. Si se sigue el método de alcalinidad baja, titúlese una muestra de 20 mL con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,02 N, a partir de una bureta de 10 mL.

f) *Toma de Muestras y Conservación:* Recójense las muestras en botellas de polietileno o vidrio borosilicato y consérvense a baja temperatura. Llénense las botellas por completo y tápanse herméticamente.

### Aparatos

a) *Titulador Electrométrico:* Utilícese cualquier medidor de pH disponible en el mercado o un titulador electrolítico provisto de un electrodo de cristal y que pueda ser leído hasta unidades de pH 0,05. Estandarícese y equilíbrense con arreglo a las instrucciones del fabricante. Debe presentarse una especial atención a la compensación de la temperatura y al cuidado del electrodo. Si la temperatura no se compensa de forma automática, titúlese a  $25 \pm 5$  °C.

b) *Vaso de Titulación:* Su tamaño y forma dependerán de los electrodos y del tamaño de la muestra. El espacio queda libre sobre la muestra debe ser lo más reducido posible, dejando sitio para el reactivo y la inmersión completa de la porción indicadora de los electrodos. Para electrodos de tamaño convencional, llénese un vaso Berzelius sin ranuras, de tipo alto con una capacidad de 200 mL. Colóquese un tapón con tres orificios, para ajustar los dos electrodos y la bureta. Con un electrodo miniatura de combinación vidrio-referencia, empléese un erlenmeyer de 250 mL con un tapón de dos orificios.

c) *Agitador Magnético*

d) *Pipeta Volumétricas*

e) *Matraces Volumétricos, 1 000, 200, 100 mL*

f) *Buretas, 50, 25 y 10 mL*

g) *Botella de Poliolefina, 1L*

## Reactivos

a) *Solución de Carbonato Sódico, aproximadamente 0,05 N:* Séquense entre 3 y 5 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  estándar primario a  $250^\circ\text{C}$  durante 4 h y enfríense en desecador. Se pesan  $2,5 \pm 0,2$  mg y se transfiere a un matraz volumétrico de 1 litro, llenando hasta la marca con agua destilada y mezclando el reactivo. No debe conservarse más de una semana.

b) *Ácido Sulfúrico o Clorhídrico Estándar, 0,1 N:* Prepárese la solución ácida de normalidad aproximada a la indicada en preparación de reactivos de mesa. Estandarícese frente a una solución de 40 mL de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,05 N en probeta, con unos 60 mL de agua, titulando potenciométricamente a un pH aproximado de 5. Elévense los electrodos, enjuáguese en la misma probeta y háganse hervir suavemente durante 3-5 minutos cubriendo con un vidrio de reloj. Enfríese a temperatura ambiente, enjuáguese el cristal en la probeta y conclúyase la operación titulando en el punto de inflexión de pH. Calcúlese la normalidad.

$$\text{Normalidad} = \frac{A \times B}{53.00 \times C} \quad (\text{E.1})$$

*Dónde:*

A = g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , pesados em matraz de 1 L

B = mL de solución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  tomados para titulación

C = mL de ácido empleados

c) Utilícese la normalidad medida en los cálculos o ajústese a 0,1000 N; 1 mL de solución 0,1000 N = 5,0 mg de  $\text{CaCO}_3$ .

d) *Ácido Sulfúrico o Clorhídrico Estándar, 0,02 N:* Dilúyanse 200 mL de ácido estándar 0,1000 N hasta 1 000 mL de agua destilada o desionizada. Estandarícese mediante titulación potenciométrica de 15,0 mL de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,05 N, donde 1 mL = 1,0 mg de  $\text{CaCO}_3$ .

e) *Solución Indicadora de Verde de Bromocresol, Indicador de pH 4,5:* Disuélvanse 100 mg de púrpura de verde de bromocresol, sal sódica, en 100 mL de agua destilada.

f) *Solución Indicadora de Púrpura de Metacresol, Indicador de pH 8,3:* Disuélvanse 10 mg de púrpura de metacresol en 100 mL de agua.

g) *Solución Alcohólica de Fenolftaleína, Indicador a pH 8,3:* Ver procedimiento C.1.8.

h) *Tiosulfato sódico, 0,1 N:* Dilúyanse 25 g de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  y disuélvanse en 1 000 mL en agua destilada.

### **Procedimiento**

a) *Cambio de Color:* Ajústese la muestra a la temperatura ambiente si es necesario, y vacíese con pipeta en un erlenmeyer, manteniendo la punta de la pipeta cerca del fondo del matraz. Si existe cloro residual libre, añádanse 0,05 ml (dos gotas) de solución de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,1 M, o destrúyase mediante la aplicación de rayos ultravioleta. Añádanse 0,2 mL (cinco gotas) de solución indicadora y titúlese sobre la superficie blanca hasta conseguir un cambio de color persistente, característico del punto de equivalente. Puede emplearse las soluciones o los sólidos indicadores que se encuentran disponibles en el mercado diseñados para margen adecuado de pH (3,7 u 8,3). Investíguese el color de la misma cantidad a una solución tampón al pH designado.

### **Cálculo**

a) Titulación Potenciométrica a pH de Punto Final:

$$\text{Alcalinidad, mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{A \times N \times 50000}{\text{ml de muestra.}} \quad (\text{E.2})$$

Dónde:

A = mL utilizados de ácidos estándar

B = Normalidad de ácido estándar

### **Dureza: Método de Titulométrico de EDTA(SM 2343)**

### **Discusión General**

a) *Principio:* El ácido etilendiaminotetracético y sus sales de sodio (EDTA) forman un complejo de quelato soluble al añadirse a las soluciones de algunos cationes metálicos. Si a una solución acuosa que contenga iones calcio y magnesio a un pH de  $10 \pm 0,1$  se añade una pequeña cantidad de colorante, como negro de eriocromo T o calmadita, la solución toma un color rojo vino. Si se añade EDTA como reactivo de titulación los iones de calcio y magnesio formarán un complejo, y, cuando todos estos iones estén incluidos en dicho complejo, la solución cambiará de rojo vino al azul, señalando el

punto final de la titulación. Para obtener un punto final satisfactorio han de estar presente los iones de magnesio. Para asegurar esta presencia, se añade al tampón una pequeña cantidad de sal magnésica de EDTA, neutra desde el punto de vista complexométrico; de este modo se introduce automáticamente una cantidad suficiente de magnesio y evita la necesidad de una corrección de blanco. La nitidez de punto final aumento con los incrementos de pH. Sin embargo, el pH no puede aumentar indefinidamente debido al peligro de precipitación de carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) o hidróxido magnésico,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  y porque la tentación cambia de color a pH alto. El valor de pH especificado de  $10 \pm 0,1$  constituye una solución satisfactoria. Se fija un límite de cinco minutos de duración para la titulación, a fin de reproducir al mínimo la tendencia a la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ .

- b) *Interferencia:* Algunos iones metálicos interfieren produciendo puntos finales débiles o indiferenciados, o provocando un consumo estequiométrico de EDTA. Redúzcase esta interferencia añadiendo algunos inhibidores antes de la titulación. El Mg-EDTA secuestra selectivamente a los metales pesados, libera magnesio en la muestra y puede utilizarse como sustituto de inhibidores tóxicos o malolientes. Solamente es útil cuando el magnesio sustituido por los metales pesados no contribuye significativamente a la dureza total. Las materias orgánicas coloidales o en suspensión también pueden interferir en el punto final. Elimínese la interferencia mediante evaporación de la muestra por secado en baño de vapor y calentamiento en horno mufla a  $550^\circ\text{C}$  hasta que se produzca la oxidación completa de la materia orgánica. Dilúyase el residuo en 20 mL de ácido clorhídrico (HCl) 1 N, neutralícese pH 7 con hidróxido sódico (NaOH) 1 N y complétese hasta 50 mL con agua destilada; enfríese a temperatura ambiente y continúese de acuerdo con el procedimiento general.
- c) *Precauciones en la Titulación:* Practíquese la titulación a la temperatura ambiente. El cambio de color se hace demasiado lento a medida que la muestra se acerca a la temperatura de congelación. La descomposición del indicador llega a constituir un problema cuando se emplea agua caliente. El pH especificado puede producir un ambiente propicio a la precipitación del  $\text{CaCO}_3$ . Aunque el titulante disuelve lentamente estos precipitados, un punto final desviado suele proporcionar resultados pobres. La realización de la titulación en cinco minutos reduce el mínimo la tendencia a precipitar el  $\text{CaCO}_3$ .

## **Reactivos**

- a) *Solución Tampón:*

- Disuélvase 16,9 g de cloruro amónico ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) en 143 mL de hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) concentrado. Añádase 1,25 g de sal de magnesio de EDTA y dilúyase hasta 250 mL de agua destilada.
- Si no se dispone de sal de magnesio de EDTA, disuélvase 1,179 g de sal disódica de ácido etilendiaminotetraacéticodihidrato y 780 mg de sulfato de magnésico ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) o 644 mg de cloruro de magnésico ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) en 50 mL de agua destilada. Para alcanzar la máxima exactitud, ajústese a equivalente exacto por medio de la adición de una pequeña cantidad de EDTA,  $\text{MgCl}_2$  o  $\text{MgSO}_4$ . Consérvanse las soluciones 1) y 2) en un recipiente plástico o de vidrio borosilicato, durante un período no superior a un mes. Tapónese herméticamente para evitar pérdidas de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) o captura de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Manipúlese la solución tampón mediante una pipeta de bulbo. Se prescindirá del tampón cuando, al añadirse 1 ó 2 mL a la muestra, éstos no puedan producir un pH de  $10,0 \pm 0,1$  en el punto final de la titulación.
- También puede adquirirse en el mercado tampones inodoros, los cuales constituyen una alternativa satisfactoria. Contienen sal de magnesio de EDTA y tienen la ventaja de ser relativamente inodoros y más estables que los tampones de  $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_4\text{OH}$ . Por lo general, los tampones inodoros no proporcionan un punto final tan favorable como los de  $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_4\text{OH}$ . A causa de su reacción más lenta, y pueden resultar inútiles cuando el método está automatizado. Prepárese uno de esos tampones mezclando 55 mL de HCl concentrado con .400mL de agua destilada y a continuación añádase, lentamente y agitándolo, 300 mL de 2-aminoetanol (libre de aluminio y metales pesados). Agréguese 5,0 g de sal de magnesio de EDTA y dilúyase hasta 1 L de agua destilada.

*b) Indicadores:* Se han propuesto muchos tipos de soluciones indicadoras, que pueden utilizarse si el analista demuestra que proporcionan valores exactos. El principal problema que presentan estas soluciones es que se deterioran con el tiempo, produciendo puntos finales poco netos. Por ejemplo, las soluciones alcalinas de negro de eriocromoT son sensibles a los oxidantes, y sus soluciones acuosas o alcohólicas son inestables. En general, utilícese la menor cantidad de indicador capaz de obtener un punto final neto.

Negro de EriocromoT: Sal sódica de ácido 1-(1-hidroxi-2-naftilaza)-5-nitro-2-naftol-4-sulfónico. Disuélvase 0.5 g de colorante en 100 g de 2,2', 2''-nitrilotrietanol (también llamado trietanolamina) o 2-metoximetanol (también

llamado etilenglicol-monometiléter). Añádanse 2 gotas por 50 mL de solución a titular. Si es necesario, ajústese el volumen.

- c) *Titulante EDTA Estándar, 0,01 M:* Se pesan 3,723 g de etilendiaminotetracetatodisódicotrihidrato, grado de reactivo analítico, también llamado (etilenodinitrilo) sal disódica del ácido tetraacético (EDTA), a continuación, se disuelve en agua destilada hasta 1000 mL. Estandarícese frente a solución de calcio estándar (2d) como se describe más adelante (Apartado 3a). El titulante extrae cationes productores de dureza de los recipientes de vidrio blando, por lo que debe conservarse en frasco de polietileno (preferible) o vidrio borosilicato. El deterioro gradual se compensa mediante la reestandarización periódica y la utilización de un factor de corrección adecuado.
- d) *Solución de Calcio Estándar:* Se pesan 1,000 g de polvo de  $\text{CaCO}_3$ . Anhidro (estándar principal o reactivo especial, bajo metales pesados, álcalis y magnesio) en un erlenmeyer de 500 mL. Colóquese un embudo en el cuello del matraz y añádase, poco a poco, 1 + 1 HCl hasta la disolución total de  $\text{CaCO}_3$ . Mézclense 200 mL de agua destilada y hágase hervir durante unos minutos para expeler el  $\text{CO}_2$ . Enfríese, añádase unas gotas de indicador rojo de metilo y ajústese al color naranja intermedio por adición de  $\text{NH}_4\text{OH}$  3 N o 1 + 1 HCl, según se requiera. Transválese cuantitativamente y dilúyase hasta 1 000 mL con agua destilada; 1 mL = 1,0 mg de  $\text{CaCO}_3$ .

## **Procedimiento**

- a) *Titulación de Muestras:* Selecciónese un volumen de muestra que requiera menos de 15 mL de reactivo EDTA y realícese la titulación en cinco minutos, medidos a partir del momento de la adición del tampón. Dilúyanse 25,0 mL de muestra hasta alrededor de 50 mL de agua destilada en una batea de porcelana u otro recipiente adecuado. Añádase entre 1 y 2 mL de solución tampón. Por lo general, 1 mL será suficiente para dar un pH de 10,0 a 10,1. La ausencia de un cambio de color de punto final neto en la titulación suele significar la necesidad de un inhibidor en este punto, o que el indicador se ha deteriorado.
- b) Añádanse una o dos gotas de solución indicadora o una cantidad adecuada del reactivo en polvo seco. Poco a poco, añádase titulante EDTA estándar, removiendo continuamente, hasta que desaparezcan las últimas gotas con intervalo de 3-5 segundos. En el punto final, la solución suele ser azul. Se recomienda utilizar luz natural o una lámpara fluorescente de luz día, ya que

las lámparas de incandescencia tienden a producir un matiz rojizo en el azul de punto final.

### **Cálculos**

$$\text{Dureza (EDTA) como mg de CaCO}_3/\text{L} = \frac{A \times B \times 1000}{\text{ml de muestra}} \quad (\text{E.3})$$

Dónde:

A = mL de titulación para la muestra

B = mg CaCO<sub>3</sub> equivalente a 1,0 mL de titulante EDTA

### **Coliformes Termotolerantes: Método de Filtro Membrana**

#### **Preparación del Medio de Cultivo**

Para preparar 1 litro de medio de cultivo, pesar los siguientes reactivos:

- 71,2 g de lauril sulfato (BBL)
- 14 g de agar técnico No.3
- 0,2 g de rojo fenol

Mezclar en un balón aforando a 1 litro con agua destilada, esterilice en autoclave por 15 minutos a 121°C. Enfriar a 45°C y verter en las placas petri aproximadamente 3 mL del medio de cultivo.

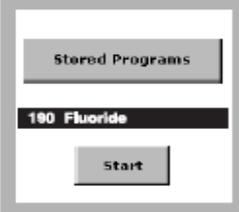
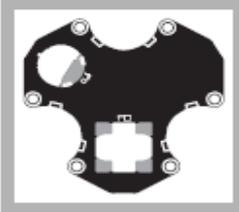
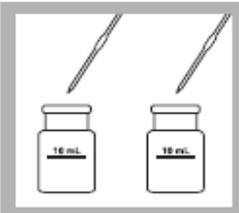
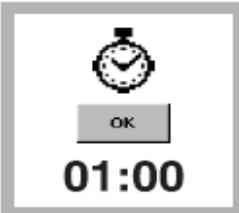
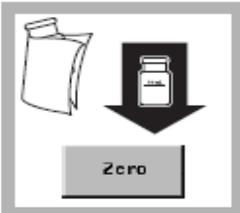
#### **Procedimiento**

- a) Se esteriliza el sistema de filtración adicionando 1 mL de metanol y flameando, en el mechero.
- b) Si se usa el sistema Gelman de plástico, esterilice en Baño María a 100°C por 5 minutos, previo a cada análisis.
- c) Con la pinza se toma la membrana; se coloca sobre la placa petri con medio de cultivo y se incuba a 47°C por 18 horas. Se cuentan los puntos amarillos

y se reportan como número de colonias coliformes termotolerantes en 100 mL.

- d) Este método, es únicamente para agua con baja contaminación, de fuentes superficiales o subterráneas, con turbiedad menor a 5 NTU. En caso de muestras con turbidez entre 5 y 30 NTU se filtran 50 mL y el número de colonias detectadas se multiplica, por dos.

## Flúor

Using SPADNS Reagent		Method 8029	
			
<p>1. Select the test.</p>	<p>2. Install the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.</p>	<p>3. <b>Prepared Sample:</b> Pipet 10.0 mL of sample into a dry square sample cell.</p>	<p>4. <b>Blank Preparation:</b> Pipet 10.0 mL of deionized water into a second dry square sample cell.</p>
			
<p>5. Carefully pipet 2.0 mL of SPADNS Reagent into each cell. Swirl to mix.</p>	<p>6. Press <b>TIMER&gt;OK</b>. A one-minute reaction period will begin.</p>	<p>7. When the timer expires, insert the blank into the cell holder with the fill line facing the user. Press <b>ZERO</b>. The display will show: 0.00 mg/L F<sup>-</sup></p>	<p>8. Insert the prepared sample into the cell holder with the fill line facing the user. Results are in mg/L F<sup>-</sup>.</p>

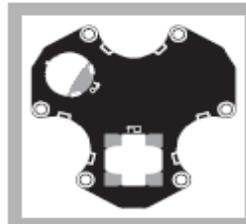
## Hierro Total

### Powder Pillows

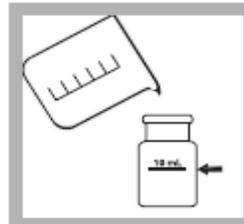
### Method 8008



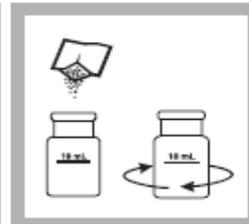
1. Select the test.



2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.

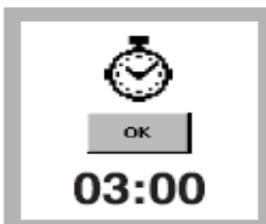


3. **Prepared Sample:** Fill a clean square sample cell with 10 mL of sample.



4. Add the contents of one FerroVer Iron Reagent Powder Pillow to the sample cell. Swirl to mix.

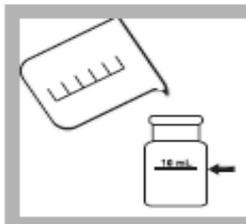
An orange color will form, if iron is present



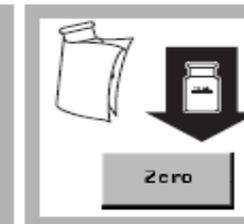
5. Press **TIMER>OK**.

A three-minute reaction period will begin.

(Allow samples that contain rust to react for at least 5 minutes.)



6. **Blank Preparation:** Fill a second square sample cell with 10 mL of sample.



7. When the timer expires, insert the blank into the cell holder with the fill line facing the user.

Press **ZERO**.

The display will show:

**0.00 mg/L Fe**



8. Place the prepared sample into the cell holder with the fill line facing the user.

Results are in mg/L Fe.

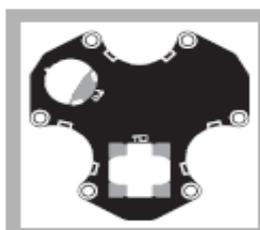
## Manganeso

### Powder Pillows

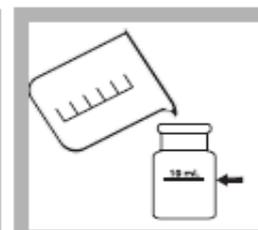
### Method 8034



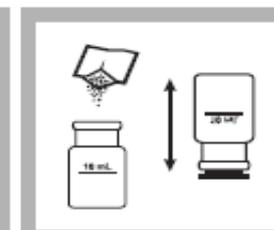
1. Select the test.



2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.



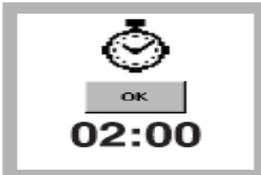
3. **Prepared Sample:** Fill a square sample cell with 10 mL of sample.



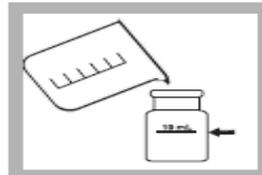
4. Add the contents of one Buffer Powder Pillow, Citrate Type for Manganese. Stopper and invert to mix.



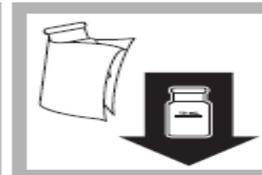
5. Add the contents of one Sodium Periodate Powder Pillow to the sample cell. Stopper and invert to mix.  
A violet color will develop if manganese is present.



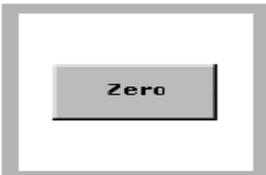
6. Press **TIMER>OK**. A two-minute reaction period will begin.



7. **Blank Preparation:** Fill a second square sample cell with 10 mL of sample.



8. When the timer expires, insert the blank into the cell holder with the fill line facing the user.

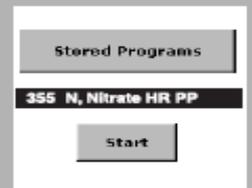
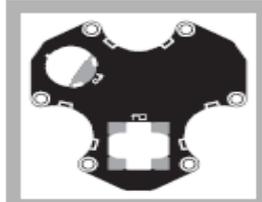
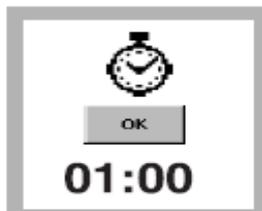
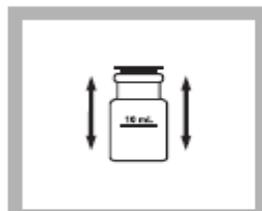
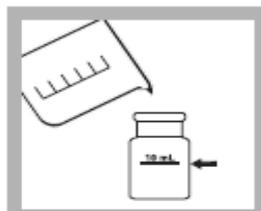


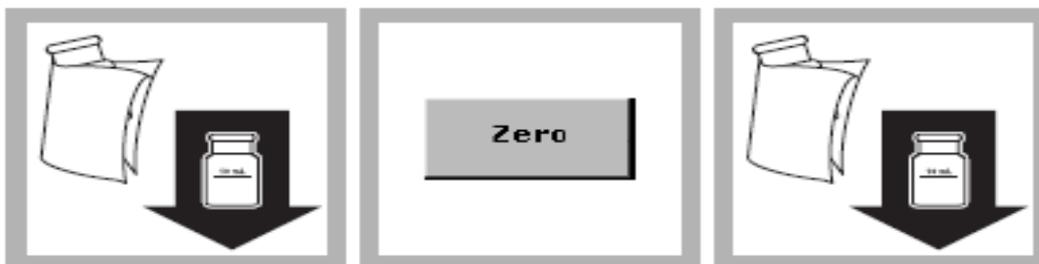
9. Press **ZERO**.  
The display will show:  
0.0 mg/L Mn



10. Within eight minutes after the timer expires, insert the sample into the cell holder with the fill line facing the user.  
Results are in mg/L Mn

## Nitrates

Powder Pillows		Method 8039	
 <p>1. Select the test.</p>	 <p>2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.</p>	 <p>3. Fill a square sample cell with 10 mL of sample.</p>	 <p>4. <b>Prepared Sample:</b> Add the contents of one NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillow. Stopper.</p>
 <p>5. Press <b>TIMER&gt;OK</b>. A one-minute reaction period will begin.</p>	 <p>6. Shake the cell vigorously until the timer expires.</p>	 <p>7. When the timer expires, press <b>TIMER&gt;OK</b> again. A five-minute reaction period will begin. An amber color will develop if nitrate is present.</p>	 <p>8. <b>Blank Preparation:</b> When the timer expires, fill a second square sample cell with 10 mL of sample.</p>



9. Wipe the blank and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.

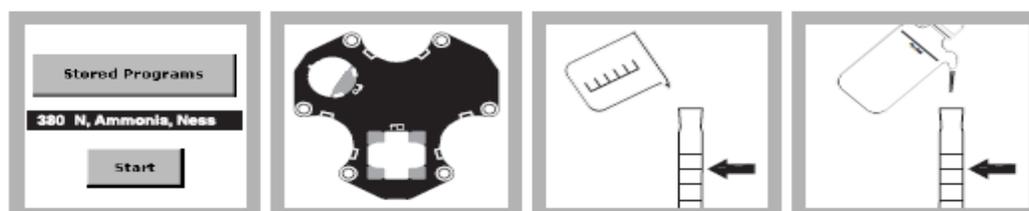
10. Press ZERO.  
The display will show:  
0.0 mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N

11. Within one minute after the timer expires, wipe the prepared sample and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.

Results are in mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N.

## Amonio

### Nessler Method 8038

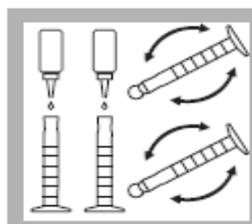


1. Select the test.

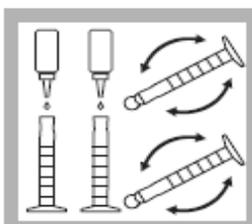
2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.

3. **Prepared Sample:** Fill a 25-mL mixing graduated cylinder to the 25-mL mark with sample.

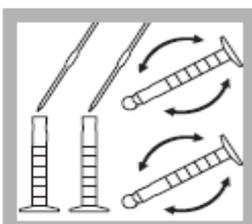
4. **Blank Preparation:** Fill a 25-mL mixing graduated cylinder to the 25-mL mark with deionized water.



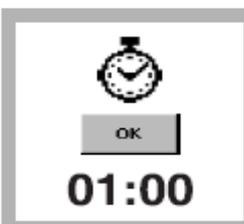
5. Add three drops of Mineral Stabilizer to each cylinder. Stopper and invert several times to mix.



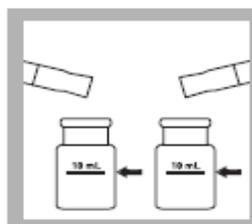
6. Add three drops of Polyvinyl Alcohol Dispersing Agent to each cylinder. Stopper and invert several times to mix.



7. Pipet 1.0 mL of Nessler Reagent into each cylinder. Stopper and invert several times to mix.



8. Press **TIMER>OK**. A one-minute reaction period will begin.



9. Pour 10 mL of each solution into a square sample cell.



10. When the timer expires, insert the blank into the cell holder with the fill line facing the user. Press **ZERO**. The display will show:  
0.00 mg/L NH<sub>3</sub>-N



11. Wipe the prepared sample and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.  
Results are in mg/L NH<sub>3</sub>-N.

**Anexo F:**

**Comunidad 15 de Septiembre**



Pozo artesanal



Estacion de bombeo



Toma de muestra



Viviendas



Calles principal



Escuela



Puesto Medico



Atención medica



Reunión con líderes comunitarios



Análisis de las muestras en el laboratorio de la UNI-FIQ