

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**Propuesta de Diseño para Potabilizar Agua en la Comunidad Cerro
Blanco del Municipio de San Juan de Río Coco**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO, PRESENTADO POR:**

**Br. Jorge Joaquín Crespo Solórzano
Br. Félix Alberto Espinoza Zavala**

Tutor: Ing. Nelly Ivette Betanco Figueroa

**Managua, Nicaragua
Abril, 2023**

Índice de Contenido

1. Introducción	10
2. Objetivos	12
2.1 Objetivo general	12
2.2 Objetivos específicos	12
3. Marco de referencia	13
3.1 Tipos de agua según su fuente	13
3.2 Tipos de contaminantes	14
3.3 Tipos de tratamiento	18
3.3.1 Tratamiento preliminar	19
3.3.2 Tratamiento por filtración en múltiples etapas (FIME)	25
3.3.3 Desinfección	40
3.4 Normativa técnica obligatoria nicaragüense NTON 05 007 98	42
3.5 Normativa CAPRE	43
3.6 Selección de tratamiento	44
4. Descripción de la comunidad	46
4.1 Clima	46
4.2 Suelo	46
4.2.1 Usos del suelo	46
4.3 Aspectos socioeconómicos	47
4.4 Distribución poblacional	47
4.5 Abastecimiento de agua y saneamiento	47
4.6 Calidad del agua	48
4.6.1 Fuentes de contaminación	48
5. Metodología	50
5.1 Tipo de investigación	50
5.2 Universo	50
5.3 Estimación de caudal	50
5.4 Determinación de la calidad del agua cruda del Rio Coco en la	51

comunidad	
5.5 Comparación del agua cruda con la NTON 05 007 – 98 y con la Normativa CAPRE	52
5.6 Selección y propuesta de dimensionamiento de un sistema de tratamiento	52
5.7 Balance de contaminantes y comparación con Normas CAPRE	53
6. Discusión de resultados	54
6.1 Caracterización de la fuente	54
6.2 Selección del tren de tratamiento	56
6.2.1 Selección de las etapas del tratamiento	57
6.2.2 Composición del tren de tratamiento	57
6.3 Dimensionamiento de las unidades de tratamiento	57
6.3.1 Determinación de la población y caudal de diseño	57
6.3.2 Rejillas	60
6.3.3 Sedimentador	60
6.3.4 Filtro grueso dinámico	61
6.3.5 Filtro grueso ascendente en capas	63
6.3.6 Filtro lento de arena	65
6.3.7 Desinfección	66
6.4 Balance de la remoción de contaminantes por etapa de tratamiento	67
6.5 Esquema del tren de tratamiento	68
7. Conclusiones	69
8. Recomendaciones	70
9. Referencias	71
10. Anexos	74

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Criterios de diseño para rejillas de limpieza manual	21
Tabla 3.2 Velocidad y tiempo de sedimentación según el tipo de planta a diseñar	23
Tabla 3.3 Criterios de diseño para sedimentadores	25
Tabla 3.4 Lecho Filtrante	27
Tabla 3.5 Granulometría y espesor de capas	27
Tabla 3.6 Valores de diseño para el Filtro Grueso Dinámico (FGDi)	28
Tabla 3.7 Granulometría y espesor de capas FGAC	33
Tabla 3.8 Guías de diseño para filtros gruesos ascendentes	34
Tabla 3.9 Granulometría del lecho filtrante FLA	38
Tabla 3.10 Características de agua tipo 1 para uso doméstico	42
Tabla 3.11 Categorías 1A y 1B	43
Tabla 3.12 Normativa CAPRE	43
Tabla 3.13 Criterios de selección para FIME	45
Tabla 4.1 Uso actual del suelo	47
Tabla 4.2 Suministro de agua	47
Tabla 5.1 Porcentaje de dotación para otros usos del agua en comunidades rurales	51
Tabla 5.2 Metodología de análisis	52
Tabla 6.1 Resultados de los parámetros de calidad del agua	54
Tabla 6.2 Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de los Recursos Hídricos (NTON 05 007 - 98)	55
Tabla 6.3 Normativa CAPRE o Normativa 066	56
Tabla 6.4 Parámetros a ser removidos vs tratamiento	56
Tabla 6.5 Dotación de agua para usos no domésticos	58
Tabla 6.6 Calculo de la población y del caudal de diseño	59
Tabla 6.7 Valores de dimensionamiento de rejillas gruesas	60
Tabla 6.8 Valores de dimensionamiento del sedimentador	61

Tabla 6.9 Valores de dimensionamiento de los filtros gruesos dinámicos	62
Tabla 6.10 Medio filtrante	63
Tabla 6.11 Lechos de soporte	63
Tabla 6.12 Valores de dimensionamiento de filtros gruesos ascendentes	64
Tabla 6.13 Características del medio filtrante y lecho de soporte	64
Tabla 6.14 Valores de dimensionamiento de los filtros lentos de arena	65
Tabla 6.15 Características del medio filtrante y lecho de soporte	66
Tabla 6.16 Características de los parámetros de desinfección	66
Tabla 6.17 Balance de contaminantes	67
Tabla B.1 Aguas tipo 1	88
Tabla C.1 Parámetros bacteriológicos	89
Tabla C.2 Parámetros organolépticos	89
Tabla C.3 Parámetros físico-químicos	90
Tabla C.4 Parámetros para sustancias no deseadas	90
Tabla C.5 Parámetros para sustancias inorgánicas con significado para la salud	91
Tabla D.1 Calculo de la población y del caudal de diseño	92
Tabla D.2 Remoción en sedimentador	93
Tabla D.3 Remoción en filtración dinámica	93
Tabla D.4 Remoción en filtración gruesa	94
Tabla D.2 Remoción en filtración lenta	94

Índice de Figuras

Figura 3.1 Sedimentador	22
Figura 3.2 Tiempo de sedimentación vs Altura de sedimentación	23
Figura 3.3 Procesos que integran FiME	25
Figura 3.4 Esquema isométrico de un filtro grueso dinámico	26
Figura 3.5 Vertederos en un filtro grueso dinámico	31
Figura 3.6 Esquema isométrico de un filtro grueso ascendente en capas	32
Figura 3.7 Esquema isométrico de un filtro grueso ascendente en serie	32
Figura 3.8 Componentes básicos de un FLA con control a la entrada	36
Figura 3.9 Selección del tratamiento considerando aspectos socio, económicos de la localidad	44
Figura 4.1 Mapa de la micro región III, San Juan de rio Coco, Madriz	49
Figura 4.2 Mapa de la comunidad de Cerro Blanco, San Juan de rio Coco, Madriz	49
Figura 6.1 Tren de tratamiento	57
Figura 6.2 Esquema del tren de tratamiento	68

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien nos dio la vida y nos ha acompañado durante nuestros estudios, dándonos el don de la sabiduría y la inteligencia, y sobre todo mucha salud.

A nuestra familia, quienes nos han brindado su apoyo y comprensión todo el tiempo.

Queremos agradecer con mucho esmero y de manera especial, el apoyo, conocimientos, experiencias e ideas recibidas en todo momento por el personal docente de la universidad, y muy especialmente a nuestra profesora la PhD. Indiana García por su continua disposición, paciencia, por compartirnos sus conocimientos en las aulas de clases e incluso fuera de ellas y por qué no decir también los regaños. También a nuestra profesora y secretaria de la facultad, Msc. Maritza Sánchez (qepd) quien fungió más como nuestra tía que como docente siempre pendiente de muchos de nosotros. De forma muy especial queremos agradecer también a nuestra tutora Ing. Nelly Betanco por brindarnos su disposición, apoyo y comprensión en todo momento, y por compartirnos sus conocimientos para culminar este trabajo.

DEDICATORIA

A Dios en primera instancia, nuestro señor y sostén que siempre nos guía en la vida.

A mi madre, María Emelyn Solórzano (qdep), con mucho amor y cariño, por haberme apoyado en todo momento, con sus consejos, por ser madre, padre, hermana y amiga.

A mi esposa Anielka, por estar siempre a mi lado apoyándome incondicionalmente, al Enano, al Goyo, a mi hija Joanie quien es y será el derivado de hidrocarburo para el motor de combustión interna de mi vida para llegar hasta donde estoy.

A todos mis profesores, no solo de la universidad, sino a todos los que contribuyeron al desarrollo de mi vida, porque cada uno de ellos aportó a formar parte de lo que soy, como persona y como estudiante. Gracias por brindarme sus conocimientos y amistad.

A mis amigos y compañeros, con quienes compartimos tantas experiencias, lecciones, con quienes pasamos las buenas y malas.

DEDICATORIA

A Dios en primera instancia, nuestro señor y sostén que siempre nos guía en la vida por la senda del bien y la felicidad.

A mis padres Félix Alberto Espinoza Zamora y Berania Rosalía Zavala Juárez por darme la vida y haberme educado y apoyado en todo momento.

A mi esposa Elia Guerrero y mis hijos Elizabeth, Félix y David quienes son fuente de motivación e inspiración para superarme cada día y por brindarme su apoyo y comprensión durante todo el tiempo que le he dedicado a la carrera.

A todos mis profesores, quienes me compartieron sus conocimientos de forma desinteresada y que de alguna forma han contribuido para llegar hasta aquí.

A mis amigos y compañeros, quienes me han brindado su respeto, confianza y comprensión durante todo el tiempo que hemos compartido en la universidad.

I. Introducción

Nicaragua dispone de una gran variedad de recursos hídricos como los lagos, lagunas y numerosos ríos, pero a pesar de esa abundancia, existen áreas de escasez hídrica debido a la distribución irregular y estacional de las lluvias. En general estos recursos hídricos se encuentran sometidos a un proceso de degradación progresiva que arriesga la disponibilidad futura de agua para usos vitales de la población. Algunos recursos hídricos se encuentran en zonas de mayor densidad poblacional y donde se realiza la mayor actividad agrícola e industrial del país.

Aproximadamente el 90% de la producción de agua proviene de los pozos. Su productividad o cantidad de agua extraíble en un cierto tiempo (galones por minuto, litros por minuto, metros cúbicos por día, etc.) depende de las características en la estructura geológica, geomorfología, tipos de roca y precipitación que se dan en el territorio, además de la cobertura forestal, la cual facilita la infiltración del agua desde la superficie (ENACAL, OPS, 2006). El restante 10% proviene de las aguas superficiales tales como ríos, lagunas y lagos. La cuenca más grande de Centroamérica es la cuenca de los Grandes Lagos, o Cuenca del Río San Juan, formada por los Lagos, de Managua (Xolotlán), Nicaragua (Cocibolca) y el Río San Juan.

Los recursos de agua subterránea más productivos se localizan en los acuíferos aluviales de la era Cuaternaria, los cuales están entrelazados con materiales piroclásticos; y en los depósitos volcánicos de las eras Terciaria a Cuaternaria. Estas fuentes están localizadas en las tierras bajas del noroeste del Pacífico, en la depresión de los lagos de Managua y Nicaragua y en un área de más de 100 Km² tierra adentro de la costa del Caribe. Estas planicies aluviales, las tierras bajas y la depresión de los lagos abarcan aproximadamente el 55% del país y contienen aproximadamente el 80% de las reservas de agua disponibles. En todo el resto del país, especialmente en las tierras altas del interior del territorio, las condiciones del agua subterránea no son favorables debido a las formaciones geológicas que tienen permeabilidad y porosidad bajas (ENACAL, OPS, 2006).

La contaminación, sobre explotación, pérdida de la capa forestal, están haciendo que cada día sea más difícil y costoso extraer agua de los pozos. En la medida que las profundidades son mayores de 90 m no se puede usar tecnología simple, como malacates o bombas de mecate. Pero además de los recursos de agua subterránea, existen en muchas comunidades rurales, vertientes u “ojos de agua”, o bien pequeños

ríos represados, los cuales, canalizados correctamente, permiten un flujo constante de agua hacia pequeños caseríos. Esos acueductos alimentados por esta vía o a través de la extracción de las aguas subterráneas superficiales, abastecen al 50% de la población (ENACAL, OPS, 2006).

Estos problemas se acentúan en la llamada zona del corredor seco la cual abarca 85 de los 153 municipios del país, incluidos los departamentos de León y Chinandega, Nueva Segovia, Estelí, Matagalpa y Madriz, donde se ejecutó la propuesta del presente tema de tesis.

La comunidad Cerro Blanco está ubicada en la micro región III del municipio de San Juan de Río Coco del departamento de Madriz. Esta comunidad la conforma un caserío de 183 casas, los cuales son distribuidos de forma dispersa. La comunidad no cuenta con el servicio de agua potable por lo cual la población se ve en la necesidad de consumir agua de pozos o de aguas superficiales, como la del río Coco. Un cuerpo de agua lotico de agua de aforo considerable, tanto en invierno como en verano. Sin embargo, este río es el cuerpo receptor de las escorrentías superficiales de la zona, las cuales arrastran gran cantidad de sedimentos, debido al alto grado de erosión de los suelos y esta es consumida sin un previo tratamiento de potabilización lo que conlleva a consumir agua de muy mala calidad, la cual a mediano plazo tiende a producir problemas de salud.

Para mejorar la calidad de vida y restituir el derecho humano a un servicio de agua potable con calidad en la comunidad se propone un tren de tratamiento que consiste de una unidad de captación del agua proveniente del río Coco en el cual el agua pasaría por un sistema de rejillas para separar los objetos grandes, ajenos al proceso, seguida de un sedimentador en el cual se bajarían los niveles de turbiedad, luego a las unidades FIME que consisten en un filtro grueso dinámico (FGDI), un filtro grueso ascendente (FGAC), un filtro lento de arena (FLA), posterior pasarían al proceso de desinfección con hipoclorito de calcio, para su posterior almacenaje en un tanque para su distribución por una red de tuberías de pvc de 3/4" hasta cada vivienda.

II. Objetivos

2.1 Objetivo General

Elaborar una propuesta de tratamiento para un sistema de agua potable para los habitantes de la comunidad Cerro Blanco en el municipio de San Juan de Rio Coco.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a través de cuatro muestreos puntuales la calidad del agua del rio Coco que pasa por la comunidad y que servirá de fuente de abastecimiento y compararlos con las Normas NTON 05-007-98 y CAPRE.
- Seleccionar y dimensionar un sistema de tratamiento de potabilización de agua acorde a las posibilidades socioeconómicas de la comunidad.
- Realizar un balance de contaminante en la etapa del tratamiento propuesto y compararlo con las normas CAPRE.

III. Marco de Referencia

En este capítulo se abordan los conceptos más relevantes a ser considerados en el diseño del sistema de tratamiento de agua potable. Primeramente, se presenta una definición del agua y tipos de fuentes, así como los parámetros que definen su calidad en términos físicos, químicos y microbiológicos. Se muestra también el marco legal jurídico y ambiental nicaragüense. Para finalizar se plantearán algunos tipos de tratamiento para la remoción de los compuestos indeseables.

3.1 Tipos de Agua según su Fuente

El agua es un recurso natural que se encuentra disponible en numerosas fuentes: ríos, lagos, océanos, acuíferos, manantiales, entre otras. Sin embargo, cada fuente proporciona agua de distinta calidad, y en distinta cantidad.

Agua Superficial: Se encuentra en abundante cantidad, con altos valores de turbiedad, sólidos suspendidos (SS) y agentes patógenos. En algunas zonas geográficas, los ríos y arroyos se secan durante la época seca.

Agua Subterránea: No tan abundante como las aguas superficiales, pero al atravesar un lecho filtrante natural (suelo) los niveles de turbiedad y sólidos suspendidos (SS) son menores. Por lo general poseen alto contenido de hierro, calcio, manganeso, entre otros. Es muy difícil tratarla una vez se ha contaminado.

Agua Oceánica: Los requerimientos energéticos para potabilizar este tipo de agua son muy costosos. La desalinización se puede lograr mediante ósmosis inversa, destilación e intercambio catiónico. Es poco factible para poblaciones con escasos recursos económicos (Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J. & Tchobanoglous, G., 2012).

En Nicaragua, el agua para consumo humano proviene principalmente de dos fuentes: subterránea y superficial. En la zona pacífico del país, 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 de la costa caribe se abastece de ambos tipos de fuentes.

3.2 Tipos de Contaminantes

Según Lin (2014), la contaminación del agua puede ser producida principalmente por:

- **Compuestos Minerales:** Como el manganeso, hierro, aluminio y otros tóxicos como mercurio, arsénico, plomo y cobalto. Estos contaminantes pueden ser aportados por las formaciones geológicas que entran en contacto con el agua; en otros casos, las actividades antropogénicas introducen estos compuestos al agua.
- **Compuestos Orgánicos:** Como hidrocarburos, plaguicidas, abonos, entre otros. Generalmente la presencia de estos compuestos en el agua son indicadores de contaminación antropogénica. Los posibles contaminantes son numerosos, debido a la gran cantidad de compuestos orgánicos que se sintetizan día a día.
- **Contaminantes Microbiológicos:** Agentes biológicos patógenos como coliformes termotolerantes, protozoos, virus, entre otros, pueden estar presentes en el agua. La ingesta de agua contaminada por este tipo de agentes puede ocasionar muchas afectaciones graves a la salud.

Cabe señalar, que ciertas propiedades del agua también son indicadores de contaminación. Entre ellos se encuentra la turbiedad y el color. Aunque no posean un efecto directo sobre la salud, están directamente relacionados con otros contaminantes que sí pueden ser perjudiciales.

Algunos tipos de contaminantes son más frecuentes en los cuerpos de agua que otros, debido a numerosas razones como la localización, actividades que se realizan en los alrededores, clima, etc. Es necesario describir a los contaminantes más frecuentes, así como los efectos que tienen sobre la salud.

Coliformes Termotolerantes

Son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Debido a que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal (Madigan, 1997).

Según la Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua (2002), la presencia de coliformes termotolerantes en el agua es un indicio de que pueden estar presentes otros microorganismos que resultan ser patógenos para el ser humano (bacterias como *E. coli*, *Shigella*, *Vibrio* y protozoos como *Giardia* y *Cryptosporidium*).

Estos microorganismos pueden provocar síntomas como náuseas, vómitos, diarrea y calambres estomacales. En las personas adultas con un buen estado de salud, estas enfermedades suelen ser leves y duran poco tiempo. En bebés, niños, ancianos y personas con el sistema inmunológico deprimido, pueden revestir mayor gravedad.

Turbiedad

Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbiedad. Las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol, haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes, lo que reduce la concentración de oxígeno en el agua (el oxígeno se disuelve mejor en el agua más fría). Las partículas en suspensión dispersan la luz, de esta forma decreciendo la actividad fotosintética en plantas y algas, que contribuye a bajar la concentración de oxígeno aún más.

De acuerdo con Lin (2014), una alta turbiedad suele asociarse a altos niveles de microorganismos causantes de enfermedades, como, por ejemplo, virus, parásitos y algunas bacterias. Estos organismos pueden provocar síntomas tales como náuseas, retortijones, diarrea y dolores de cabeza asociadas. Por lo general, los cuerpos de agua lóticos presentan niveles altos de este parámetro en épocas lluviosas, cuando las escorrentías acarrearán gran cantidad de partículas del suelo.

Sólidos Totales Disueltos (STD)

Los sólidos totales disueltos (STD) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Los STD presentes en el agua de consumo proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. Debido a las diferentes solubilidades de diferentes minerales, las concentraciones de STD en el agua varían considerablemente de unas zonas geológicas a otras. No se dispone de datos fiables sobre posibles efectos para la salud asociados a la ingestión de STD presentes en el agua de consumo y no se propone

ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud. No obstante, la presencia de concentraciones altas de STD en el agua de consumo puede resultar desagradable para los consumidores.

Capó (2002) expresa que 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.

pH

La OPS (1987) explica que, el pH en el sistema acuoso es una medida del equilibrio ácido-base. Es imposible determinar una relación directa entre la salud humana y el pH del agua potable debido a que el pH tiene una estrecha relación con otros aspectos de la calidad del agua. En la medida en que el pH afecta diversos métodos de tratamientos de agua podría decirse que ejerce un efecto indirecto sobre la salud.

Henry & Heinke (1999) afirman el pH no tiene efecto sobre la salud humana, sin embargo, puede provocar cambios en el sabor por lo cual lleva al desagrado en cuanto al consumo.

Color Verdadero

Cuando un consumidor abre el grifo y descubre que el agua presenta color, éste pone en duda su garantía sanitaria. El color, junto con la turbidez, el olor y el sabor, son los parámetros que usa el consumidor para establecer si el agua es saludable y apta para el consumo humano, o no.

La Organización Mundial de la Salud asume que, en general, la apariencia del agua con un color inferior a 5 unidades colorimétricas (expresadas como mg/L en la escala de Platino-Cobalto) es aceptable para los consumidores (Hidrogea, 2017).

El color se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias. El color en el agua doméstica puede manchar los accesorios sanitarios y opacar la ropa. Las pruebas se llevan a cabo por comparación con un conjunto estándar de concentraciones de una sustancia química que produce un color similar al que presenta el agua. El color aparente se produce cuando hay materia suspendida y disuelta en el agua y el color verdadero es el color remanente una vez que se ha eliminado el material suspendido.

Temperatura

Jiménez (2001) señala que la temperatura no causa daños directos a la salud humana. No obstante, una mayor temperatura (alrededor de 40°C) favorece al desarrollo de microorganismos y acrecienta los problemas de color, olor, sabor y corrosión.

Campos (2000) señala que la temperatura es un parámetro importante ya que de esta depende directamente la existencia de la biota. Además, señala que el aumento de la temperatura tiene un efecto directo de las reacciones químicas y bioquímicas que ocurren en el agua. Si la temperatura aumenta, se aceleran las reacciones que envuelven la disolución de sólidos y a la vez decrece la solubilidad de los gases como el oxígeno que es fundamental para la existencia de la biota.

Conductividad

La conductividad del agua está relacionada con la concentración de sólidos y sales disueltas en ella. No se ha registrado un efecto a la salud debido a la conductividad. Rigola (1990) señala que solamente es un indicativo de materia (sólidos disueltos, dureza y alcalinidad) presente en el agua.

Hierro

El hierro es uno de los elementos más abundantes en la tierra y también se encuentra en el agua potable. Los altos contenidos de hierro pueden ser fatales, pero la cantidad que se encuentra en el agua potable suele ser demasiada baja para ser peligrosa. En cambio, los altos niveles de hierro en el agua potable pueden causar efectos no sanitarios, incluyendo el mal gusto y la decoloración. Según Pérez, et al. (2005) existen diversos estudios que revelan que el consumo de altos niveles de hierro causa hemocromatosis.

Oxígeno Disuelto (OD)

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.

Nitratos (NO₃-) y Nitritos (NO₂-)

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.

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

De acuerdo a Jiménez (2001) el ambiente 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 Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, 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 CO₂ del H₂CO₃ aprovechándolo para sus actividades fotosintéticas, (Baird, 2001).

3.3 Tipos de Tratamiento

Con el objetivo de potabilizar y emplear determinado tipo de agua para consumo humano, se llevan a cabo una serie de operaciones y procesos unitarios que permiten

remover sustancias contaminantes del agua. Teniendo en cuenta la capacidad socioeconómica y el número de habitantes de la Comunidad Cerro Blanco del Municipio de San Juan de Río Coco se utilizó un tratamiento basado en la filtración en múltiples etapas (FIME) precedida de una etapa de desinfección con hipoclorito de calcio. En vista de la calidad del agua cruda fue necesario someter el agua a pre-tratamiento con rejillas y sedimentadores.

3.3.1 Tratamiento Preliminar

El sistema de pretratamiento es una estructura auxiliar que debe preceder a cualquier sistema de tratamiento. Esta estructura persigue principalmente los objetivos de reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños que traen consigo las aguas.

Las rejillas y los sedimentadores se consideran como unidades de pretratamiento en las cuales las partículas de diferentes tamaños se comportan como partículas discretas y aisladas.

Rejillas

El pretratamiento con rejillas es uno de los procesos más antiguos. En las plantas de tratamiento de aguas potable, las rejillas tienen por objeto separar del agua cruda objetos flotantes como ramas, basura e incluso animales procedentes de la corriente, para proteger de posibles daños la operación y los equipos de las unidades siguientes. Las rejillas pueden ser de limpieza manual o de limpieza mecánica. Con el objeto de reducir los costos de operación se seleccionaron rejillas de limpieza manual.

Dimensionamiento

Área de las rejillas

El área total se calcula, mediante la división del caudal de diseño, entre la velocidad a través de las barras.

$$A = \frac{Q}{V} \quad \text{Ec (3.1)}$$

Ancho de las aberturas

El ancho de las aberturas (w), se calcula mediante la división del área de las rejillas entre la profundidad del agua (d).

$$w = \frac{A}{d} \quad \text{Ec (3.2)}$$

Espaciamiento entre las barras

El espaciamiento libre entre las barras (e), se estima de acuerdo a la tabla 3.1, considerándose una limpieza manual.

Número de aberturas

El número de aberturas (n), para el sistema de rejillas se calculó, mediante la siguiente ecuación, donde w es el ancho de las aberturas, y e es el espaciamiento.

$$n = \frac{w}{e} \quad \text{Ec (3.3)}$$

Número de barras

Es la cantidad total de barras necesarias para el caudal propuesto, necesarias para impedir el paso de residuos grandes como ramas, animales muertos, plásticos, papeles, etc. El cual se calcula, mediante la ecuación:

$$n_b = n - 1 \quad \text{Ec (3.4)}$$

Ancho total del canal

El ancho total del canal (W_t) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$W_t = w + (n_b * \text{ancho de la barra}) \quad \text{Ec (3.5)}$$

Altura total del canal

La altura total del canal H_T se estima mediante la división de la profundidad del agua

entre el seno del ángulo que posee el sistema de rejillas, el cual en este caso es el valor máximo permitido, siendo 60°, más el borde libre.

$$H_T = \frac{d}{\sin \theta} + B_L \quad \text{Ec (3.6)}$$

Los criterios de diseño son:

Tabla 3.1 Criterios de diseño para rejillas de limpieza manual.

Criterio	Valor
Ancho de la barra	(5 – 15 mm)
Espaciamiento libre entre barras	(25 - 50 mm)
Profundidad	(25 - 38 mm)
Velocidad máxima de aproximación	(0,3 – 0,6 m/s)

Fuente: García (2018).

Sedimentador

Tiene por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar se produzcan depósitos en las obras de conducción, proteger las bombas de la abrasión y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. La sedimentación se refiere normalmente a la remoción de las partículas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm.

Esta unidad normalmente se divide en cuatro partes o zonas.

- Zona de entrada: Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.
- Zona de sedimentación: Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.
- Zona de salida: Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.

- Zona de recolección de lodos: Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.

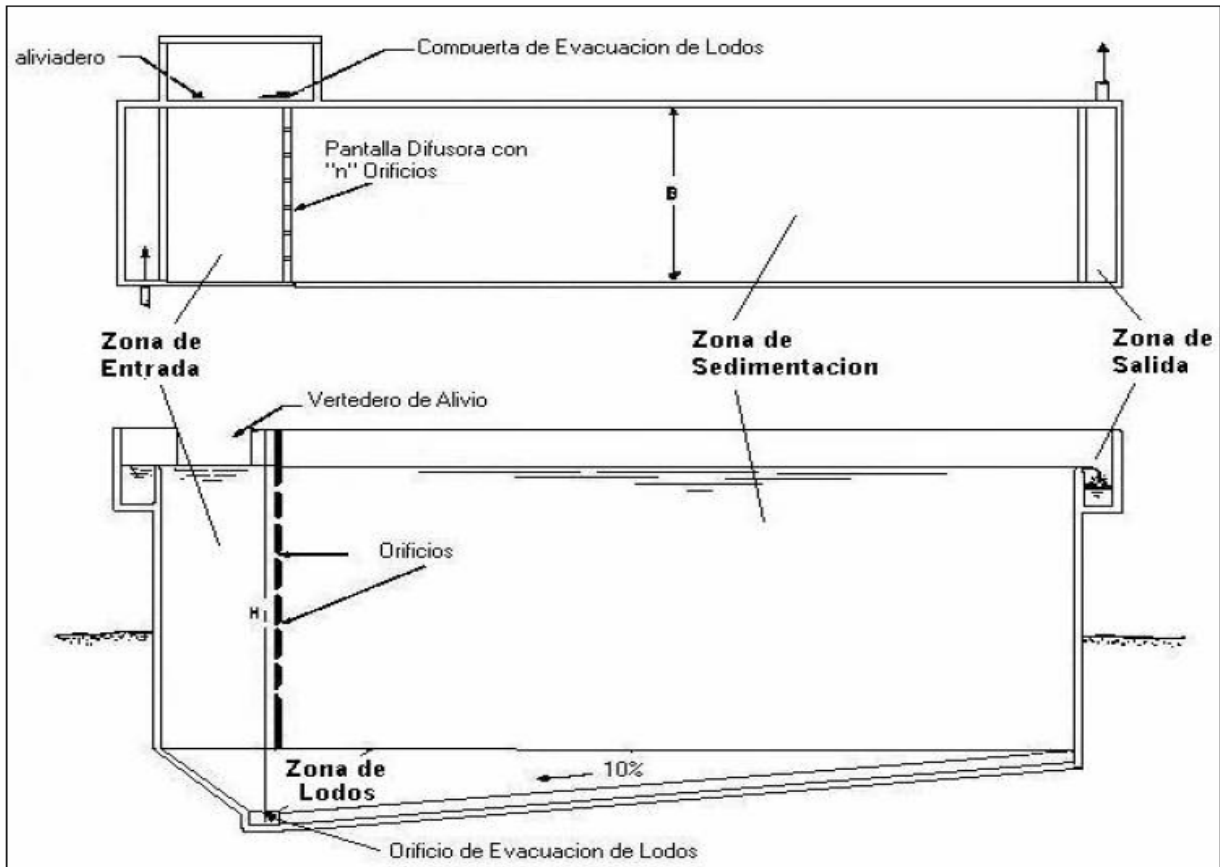


Figura 3.1 Sedimentador (planta y corte longitudinal).

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

Dimensionamiento

Velocidad y tiempo de sedimentación

La velocidad y el tiempo de sedimentación se pueden determinar según el tipo de planta que se diseña. En la tabla 3.2 se describen los tipos de instalaciones, la velocidad y el tiempo de sedimentación de cada una de ellas.

Tabla 3.2 Velocidad y tiempo de sedimentación según el tipo de planta a diseñar

Tipo	Descripción	Velocidad de sedimentación (m/d)	Tiempo (h)
A	Pequeñas instalaciones	20-30	3-4
B	Instalaciones planeadas con nuevas tecnologías y razonable operación	30-40	2,5-3,5
C	Instalaciones planeadas con nuevas tecnologías y buena operación	35-45	2-3
D	Grandes instalaciones con tecnologías nuevas y excelente operación	40-60	1,5-2,5

Fuente: García, 2014

La Altura (H) del sedimentador se determina utilizando la figura 3.2 con los valores del tiempo y la velocidad seleccionadas de la tabla 3.2.

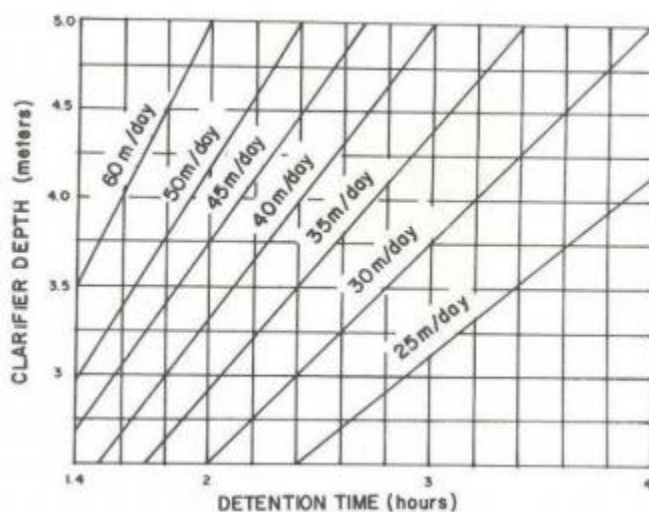


Figura 3.2 Tiempo de sedimentación vs Altura de sedimentación

Fuente: García, 2014

Área del sedimentador

$$A = \frac{Q}{V} \quad \text{Ec (3.7)}$$

Área individual (A_i)

$$A_i = \frac{A}{n} \quad \text{Ec (3.8)}$$

Caudal individual (Q_i)

$$Q_i = \frac{Q}{n} \quad \text{Ec (3.9)}$$

Ancho y longitud

$$A_i = L * a \quad \text{Ec (3.10)}$$

$$L = 3a \quad \text{Ec (3.11)}$$

Profundidad relativa

$$L_R = \frac{L_{\text{placa}}}{e} \quad \text{Ec (3.12)}$$

Profundidad relativa efectiva

$$L_U = L_R - 0.013 R_N \quad \text{Ec (3.13)}$$

Donde R_N es el número de Reynolds

Velocidad en áreas de alta sedimentación (V_o)

$$V_o = \frac{Q_i}{L * a} \quad \text{Ec (3.14)}$$

Velocidad de sedimentación crítica (V_s)

$$V_s = \frac{K * V_o}{\text{Sen}\theta + L\text{ucos}\theta} \quad \text{Ec (3.15)}$$

Los criterios de diseño son:

Tabla 3.3 Criterios de diseño para sedimentadores.

Criterio	Valor
Periodo de diseño	8-16 años
Unidades mínimas en paralelo	2
Periodo de operación	24 h/d
Tiempo de retención	(2 – 6 h)
Carga superficial	(2 - 10 m ³ /m ² /d)
Profundidad del sedimentador	(1,5 – 2,5 m)

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE (2005).

3.3.2 Tratamiento por Filtración en Múltiples Etapas (FiME)

La tecnología de filtración en múltiples etapas (FiME) consiste en la combinación de procesos de filtración gruesas en grava y filtros lentos de arena. Esta tecnología debe de estar precedida de un detallado proceso de análisis técnico y de las capacidades locales de construcción y operación de la planta (Figura 3.2).

La FiME puede estar conformada por dos o tres procesos de filtración, dependiendo del grado de contaminación de las fuentes de agua. Integrada por tres procesos, filtro grueso dinámico (FGDI), filtro grueso ascendente en capas (FGAC), y filtros lentos de arena (FLA). Los dos primeros constituyen el pretratamiento que permite la reducción en la concentración de sólidos suspendidos disueltos.

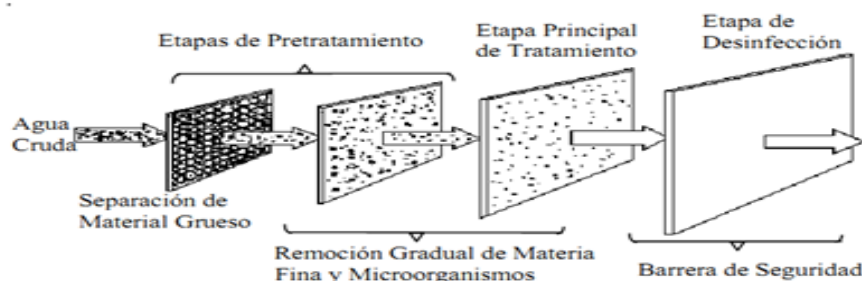


Figura 3.3 Procesos que integran la FiME.

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

Filtración Gruesa Dinámica (FGDI)

Los filtros dinámicos son tanques que contiene una capa delgada de grava fina (6 a 13 mm) en la superficie, sobre un lecho de grava más grueso (13 a 25 mm) y un sistema de drenaje en el fondo (OPS, CEPIS & COSUDE, 2005).

Esta unidad es utilizada para reducir los extremos de los picos de turbiedad y proteger de esta manera la planta de tratamiento antes altas cargas de sólidos transportados por la fuente durante unas pocas horas.

Cuando la fuente transporta valores elevados de sólidos fácilmente sedimentables, estos se depositan en la superficie del lecho de grava, colmatándolo rápidamente y restringiendo parcial o totalmente el paso de agua. Esta respuesta protege las unidades de tratamiento siguientes (OPS, CEPIS & COSUDE, 2005).

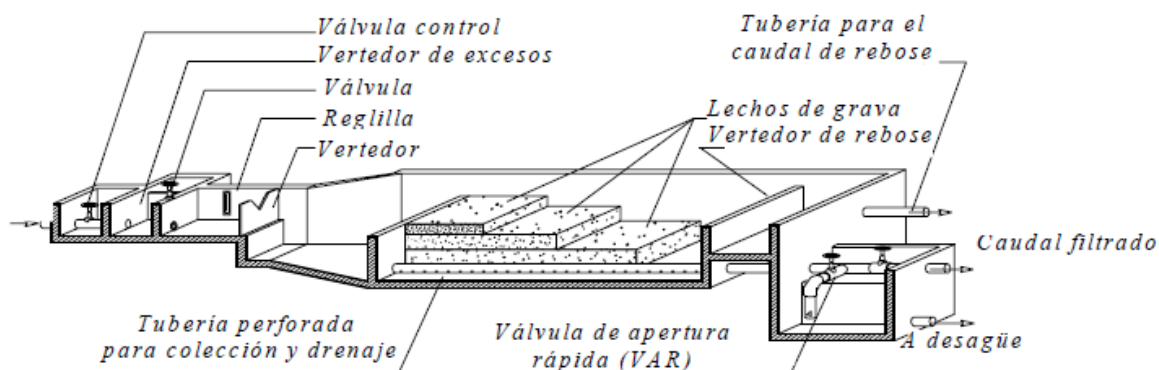


Figura 3.4 Esquema isométrico de un filtro grueso dinámico.

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

Los filtros gruesos dinámicos generalmente esta constituidos por: cámara de filtración, lechos filtrantes y de soporte, estructuras de entrada y de salida, sistemas de drenaje y cámara de lavado y accesorios de regulación y control.

Criterios de diseños del Filtro Grueso Dinámico (FGDi)

Cámara de filtración

Las dimensiones de esta unidad están en dependencia del caudal y de 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.

Lecho filtrante y de soporte

Para el lecho Filtrante se recomienda la siguiente granulometría y espesor de capas.

Tabla 3.4 Lecho filtrante

Posición en la Unidad	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

Para el lecho de soporte se recomienda las siguientes granulometría y espesor de capas.

Tabla 3.5 Granulometría y espesor de capas

Capa	Tipo	Diámetro de la Partícula (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

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.

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 regilla de aforo, donde se remueve el material grueso. Inmediatamente, ingresa a una cámara de disipación por medio de un vertedero de entrada.

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.

Sistema de drenaje y cámara de lavado

El sistema de drenaje es una tubería perforada que cumple la función de recolección de agua filtrada 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 m² y 5 m² profundidades entre 0,20 y 0,40 m.

La cámara debe ser abastecida con agua cruda para facilitar el mantenimiento eventual del FGD_i. El conducto de desagüe debe ser calculado para evacuar el caudal máximo de lavado y evitar sedimentación en su interior.

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.

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.

Tabla 3.6 valores de diseño para el Filtro Grueso Dinámico (FGD_i)

Criterio	Valores Recomendados
Periodo de diseño (años)	8 – 12
Periodo de operación (h/d) (*)	24
Velocidad de filtración (m/h)	2 – 3
Número mínimo de unidades en paralelo	2
Área de filtración por unidad (m ²)	< 10
Velocidad superficial del flujo durante el lavado superficial (m/s)	0,15 – 0,3
Longitud del Lecho Filtrante (m)	0,6
Tamaño de gravas del Lecho Filtrante (mm)	Según tabla 3.4
Altura del vertedero de rebose (m)	0,03 – 0,05 (**)

Fuente: Galvis, 1999.

(*) En estaciones de bombeo de agua con periodos de bombeo inferiores a 24 h/d se recomienda proyectar un almacenamiento de agua cruda a partir del cual se suministre agua de manera continua al FGD_i y demás componentes de la FIME.

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

Dimensionamiento

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_f): El área total del filtro se puede obtener del caudal de agua en m³/h y de la tasa de filtración.

$$A_f = \frac{Q_t}{V_f} \quad \text{Ec (3.16)}$$

Donde: A_f es el área total del filtro, m²

Q_t es el caudal total, m³/h

V_f es la tasa filtración, m³/m²-h

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

$$A_{fi} = \frac{A_f}{N} \quad \text{Ec (3.17)}$$

Donde: N es el número de unidades

Caudal del filtro (Q_{fi}):

$$Q_{fi} = \frac{Q_t}{N} \quad \text{Ec (3.18)}$$

Donde: Q_{fi} es el caudal del filtro, m³/h

Caudal total (Q_t):

$$Q_t = Q_{md} + (R \times Q_{md}) \quad \text{Ec (3.19)}$$

Donde: (R) Razón de flujo

Caudal de diseño (Q_d):

$$Q_d = \frac{Q_t}{N} \quad \text{Ec (3.20)}$$

Caja de filtro:

Relación largo/ancho: $M = L/b$, ambos en (m)

$$b = \frac{(A_f)^{1/2}}{N} \quad \text{Ec (3.21)}$$

$$L_f = L \times 1, \quad \text{Ec (3.22)}$$

Donde: L es la longitud de la caja de filtro

El valor de la caja de recuperación de arena (que debe ser 1/5 (20%) de la longitud del filtro) se debe sumar al valor de L.

Pared de la caja de filtro será

$$H_f = H_{ls} + H_{lf} + H_{bl} \quad \text{Ec (3.23)}$$

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_{lf} : Altura de lecho de arena (0,5-0,7 m)

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

Vertederos triangular o en “V”

En función de Q y h

$$Q = 775 \times h^2, \quad \text{Ec (3.24)}$$

En función de b, Q_s y V_s

$$b = 3, x \frac{Q_s}{(V_s)^{1/2}} \quad \text{Ec (3.25)}$$

Donde Q es el caudal de entrada (m³/s)

Qs es el caudal disponible para lavado (m³/s) b es el ancho de estructura (m)

Vs es la velocidad superficial para lavado (m/s)

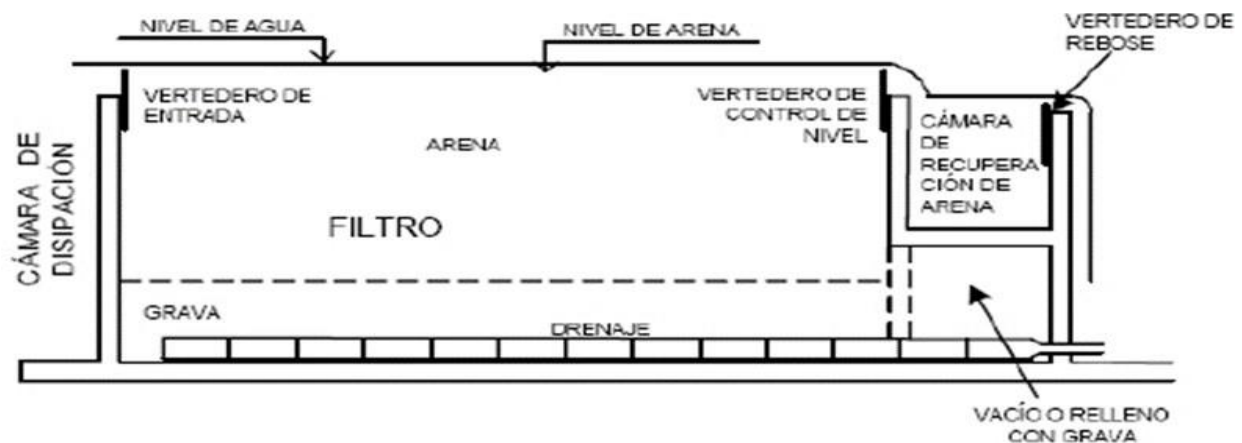


Figura 3.5 Vertederos en un filtro grueso dinámico.

Fuente: Galvis, 1999.

Filtros Gruesos Ascendentes en Capa (FGAC)

Los filtros gruesos de grava pueden ser de flujo horizontal o vertical. Consiste en un compartimiento principal donde se ubica un lecho filtrante de grava. El tamaño de los granos de grava disminuye con la dirección del flujo.

Para el caso de un filtro ascendente se tiene un sistema de tuberías, ubicado en el fondo de la estructura, permite distribuir el flujo de agua en forma uniforme dentro del filtro.

Conforme funciona el filtro, los espacios vacíos se van colmatando con las partículas retenidas del agua, por lo cual se requiere una limpieza semanal controlada mediante las válvulas de apertura a la salida de la unidad.

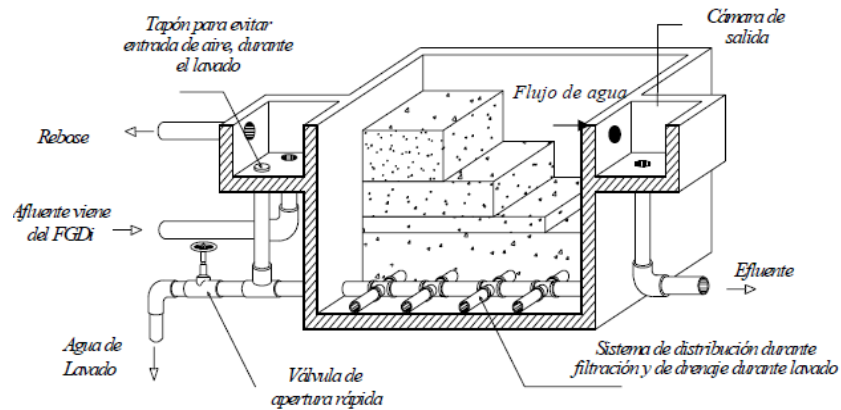


Figura 3.6 Esquema isométrico de un filtro grueso ascendente en capas.

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

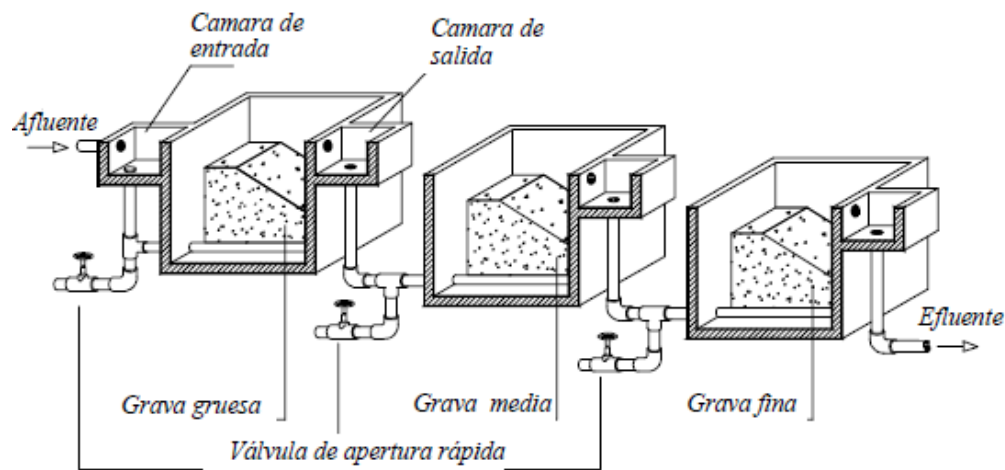


Figura 3.7 Esquema isométrico de un filtro grueso ascendente en serie.

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

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.

Los criterios de diseño son:

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.

Lecho filtrante

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

Tabla 3.7 Granulometría y espesor de capas FGAC

Lecho filtrante (mm)	Altura (m)					
	FAGC	FGAS 2		FGAS 3		
		1	2	1	2	3
19 – 25	0,30*	0,30*		0,30*	0,20*	
13 – 19	0,20 – 0,30	0,30 – 0,45	0,20*	0,15	0,15*	0,15*
6 – 13	0,15 – 0,20	0,30 – 0,45	0,15*	0,45 – 0,75	0,15*	0,15*
3 -6	0,15 – 0,20		0,30 – 0,45		0,40 – 0,70	0,15*
1,6 – 3	0,10 - 0,20		0,25 – 0,40			0,45 – 0,75
Total (m)						
Soporte	0,30	0,30	0,35	0,30	0,50	0,45
Lecho Filtrante	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, 1999.

Velocidad de filtración

La velocidad de filtración varía entre los 0.3 a 0.6 m/h dependiendo de la calidad del agua cruda. A mayor contaminación del agua afluente menor velocidad de filtración.

Lecho de soporte

En algunos casos la altura del lecho 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 lecho 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.

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.

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.

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.

Tabla 3.8 Guías de diseño para filtros gruesos ascendentes.

Criterio	Valores Recomendados
Periodo de diseño (años)	8 – 12
Periodo de operación (h/d)	24
Velocidad de filtración (m/h)(*)	0,3 – 0,6
Número de unidades en serie	
- FGAC	1
- FGAS	2 – 3
Lecho Filtrante	
Longitud total (m)	
- FGAC	0,60 – 0,90
- FGAS	1,15 – 2,35
Tamaño (mm)	Según tabla 3.7
Lecho de soporte total	
- Longitud (m)	0,30 – 1,25
- Tamaño (mm) (**)	Según tabla 3.6
Altura sobrenadante de agua (m)	0,10 – 0,20
Carga estática de agua para lavado en contraflujo (m) (***)	3,0
Área de filtración por unidad (m ²)	15-25

Fuente: Galvis, 1999.

(*) A mayor contaminación del agua afluyente, menor velocidad de filtración.

(**) Depende del tamaño de grava predominante en cada unidad, del tamaño de grava en contacto con lecho de soporte y del diámetro de los orificios en el múltiple, dado lo anterior, en algunos casos la altura del lecho de soporte puede ser superior a lo indicado en la tabla 3.7.

(***) Diferencia entre el nivel de agua máximo en el filtro grueso ascendente durante el lavado y el nivel de descarga de la tubería de drenaje en la cámara de lavado.

Dimensionamiento

Área superficial (A_s)

$$A_s = \frac{Q d}{N * V_f} = b * L \quad \text{Ec (3.26)}$$

Donde A_s es el área 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)

Sistema de distribución

Está compuesto por un distribuidor y tuberías laterales con orificios.

$$n A_o / A_L \leq 0,42 \quad \text{Ec (3.27)}$$

Donde A_o es el área del orificio

A_L es el área lateral de la tubería

n es el número de orificios

Sistema de Drenaje

$$n A_o / A_L \leq 0,15 \quad \text{Ec (3.28)}$$

Filtros Lentos de Arena (FLA)

El tratamiento del agua en una unidad del 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 (OPS, CEPIS & COSUDE, 2005).

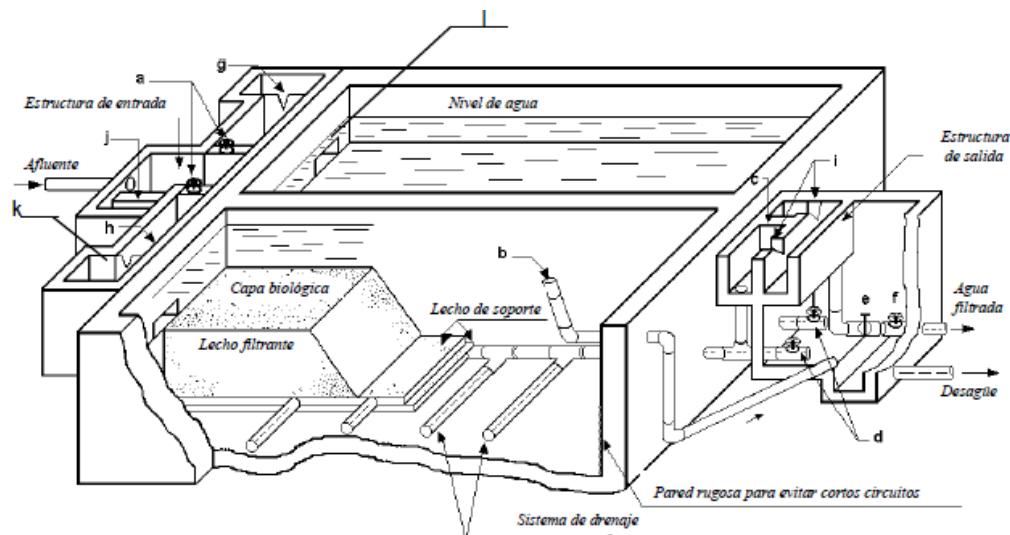


Figura 3.8 Componentes básicos de un FLA con control a la entrada.

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE, 2005.

- a. Válvula para controlar entrada de agua pretratada y regular la velocidad de filtración
- b. Dispositivo para drenar capa de agua sobrenadante, “cuello de ganso”.
- c. Conexión para llenar lecho filtrante con agua limpia
- d. Válvula para drenar lecho filtrante
- e. Válvula para desechar agua tratada
- f. Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia
- g. Vertedero de entrada
- h. Indicador calibrado de flujo
- i. Vertedero de salida
- j. Vertedero de excesos
- k. Cámara de entrada a FLA
- l. Ventana de acceso a FLA

Conforme circula el agua las partículas más pequeñas son eliminadas hasta llegar al filtro lento de arena, reconocido como una tecnología sencilla confiable y eficiente puede

producir agua con baja turbiedad libre de impurezas suspendidas y virtualmente libres de enterobacterias, enterovirus y quistes de protozoarios.

Los filtros lentos son una capa no graduada de arena fina a través del cual el agua es filtrada a baja velocidad, el filtro es limpiado periódicamente raspando una capa delgada de arena sucia de la superficie del lecho a intervalos de varias semanas a meses. La baja velocidad de filtración permite la formación de una capa de microorganismos llamada "*schmutzdecke*" encima del lecho de arena; la cual es efectiva en la remoción de microorganismos, incluyendo patógenos del agua (Lin, 2007). La filtración lenta se caracteriza por los menores costos de operación y los mayores costos de inversión respecto a la filtración rápida. Debe considerarse que en la filtración lenta se requiere un área por lo menos 20 veces mayor, lo cual limita su campo de aplicación en grandes poblaciones.

Criterios de diseño de los Filtros Lentos de Arena (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.

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 m² para facilitar las labores manuales de operación y mantenimiento el filtro.

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.

Lecho 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 (Tabla 3.9).

Tabla 3.9 Granulometría del lecho filtrante FLA.

Criterios de Diseño	Valores Recomendados
Altura de arena (m)	
Inicial	1,0
Mínima	0,50
Diámetro efectivo (mm)	0,15 – 0,35
Coeficiente de uniformidad	
Aceptable	<3
Deseable	1,8 – 2,0
Altura del lecho de soporte, incluye drenaje (m)	0,1 – 0,3

Fuente: G. Galvis, 1999.

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. La altura del agua sobre el lecho filtrante puede variar de 1,0 y 1,50 m.

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 por encima de la superficie del lecho 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.

Dimensionamiento

Caudal de diseño (Q_d): Se expresa en (m³/h)

Número de unidades (N): Mínimo dos unidades de filtración

Área superficial (A_s):

$$A_s = \frac{Q_d}{N * V_f} = b * L \quad \text{Ec (3.29)}$$

Donde: A_s es el área superficial, m²

V_f es la velocidad de filtración, 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 la longitud de la unidad (m)

Coeficiente de mínimo costo (K):

$$K = \frac{2 * N}{N + 1} \quad \text{Ec (3.30)}$$

Longitud de unidad:

$$L = (A_s * K)^{1/2} \quad \text{Ec (3.31)}$$

Ancho de unidad:

$$b = \frac{(A_s)^{1/2}}{K} \quad \text{Ec (3.32)}$$

Velocidad de filtración real (V_R):

$$V_R = \frac{Q_d}{2 * A * B} \quad \text{Ec (3.33)}$$

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 (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.

Pérdidas de carga:

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

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

Drenes: (menor a 10%)

$$h_d = 0,1 \frac{v^2}{d h 2 g} \quad \text{Ec (3.34)}$$

Donde d_h es el diámetro hidráulico

V es la velocidad del dren, ($d_h = 4 A_d/P$)

A_d es el área del dren

P es el perímetro del dren

Compuerta de entrada:

$$h_{f1} = k \frac{v^2}{2 g} \quad \text{Ec (3.35)}$$

$$V = V_f \frac{A_f}{A_c} \quad \text{Ec (3.36)}$$

Donde A_c es el área de la compuerta (m^2)

A_f es el área de filtración (m^2)

V_f es la velocidad de filtración (m/s)

Vertedero de salida:

$$h_{f2} = \frac{Q_d^2}{3} * 1, \quad \text{Ec (3.37)}$$

Donde L_v es la longitud de cresta del vertedero general (m)

Q_d es el caudal de diseño (m^3/h)

3.3.3 Desinfección

La etapa final del tratamiento es la desinfección, donde se asegura protección contra el riesgo de infecciones de origen hídrico y constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos (especialmente las bacterias) durante el tratamiento del agua de consumo (Desinfección del agua, 1999).

El uso de productos químicos desinfectantes en el tratamiento del agua genera habitualmente subproductos. No obstante, los riesgos para la salud que ocasionan estos subproductos son extremadamente pequeños en comparación con los asociados a una

desinfección insuficiente, y es importante que el intento de controlar la concentración de estos subproductos no limite la eficacia de la desinfección.

La cloración

Se entiende por cloración la operación que consiste en añadir cloro al agua con el propósito de desinfectarla y se puede realizar mediante la aplicación de cloro gas, soluciones de hipoclorito de sodio o calcio.

Entre sus ventajas se señalan:

- Existe disponible como gas, líquido o en forma granular.
- Es relativamente barato.
- Deja un residual en la solución, el cual provee protección sanitaria en el sistema de distribución.
- Tiene una alta característica de toxicidad para los microorganismos causantes de enfermedades hídricas.
- Es un agente oxidante poderoso.

Entre sus desventajas se señalan:

- Es un gas venenoso que requiere un manejo cuidadoso.
- Es altamente corrosivo en solución.
- Forma clorofenoles con los fenoles, los cuales originan problemas serios de olores.
- Forma trihalometanos con algunas sustancias orgánicas, de los cuales el cloroformo es de máximo interés por sospecharse que es un agente cancerígeno, cuando no existe una adecuada dosificación

En zonas rurales se emplean bombas dosificadoras la cual adiciona una solución de hipoclorito de calcio que se prepara generalmente a una concentración de 2 mg/L, 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.

Para la desinfección se seleccionó el tratamiento químico basado en hipoclorito de calcio debido a su bajo costo, fácil uso y excelente poder desinfectante para eliminar muchos tipos de bacterias y microorganismos en general.

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

$$P(\text{Kg}) = \frac{V_{\text{Tanque Clorador}} * Q_{\text{Agua}} * \text{Dosis de Cloro} * 3600}{q_{\text{Dosificación}} * \frac{\text{Porcentaje de Hipoclorito}}{100} * (1 * 10^6)} \quad \text{Ec (3.38)}$$

El tiempo de recarga del tanque clorador es:

$$t(\text{días}) = \frac{V_{\text{Tanque Clorador}}}{q_{\text{Dosificación}} * 24} \quad \text{Ec (3.39)}$$

3.4 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 3.10).

Tabla 3.10 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 3.11 Categorías 1A y 1B.

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

3.5 Normativa CAPRE

En la Tabla 3.12 se presentan los valores recomendados y máximos admisibles para agua de consumo humano.

Tabla 3.12 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.

3.6 Selección de Tratamiento

La selección del tratamiento de potabilización a emplear está relacionada con la calidad del agua cruda, los requisitos a cumplir para la calidad del agua de consumo y las condiciones que aseguren la sostenibilidad del sistema y su eficiencia a través del tiempo. La alternativa a elegir debe ser aquella que presente un costo moderado y que se encuentre dentro de las posibilidades económicas de la población, en comparación con otras alternativas que produzcan beneficios sanitarios equivalentes y que sean compatibles con los objetivos de calidad y sostenibilidad mencionados.

La sostenibilidad de los proyectos de este tipo depende de factores institucionales, ambientales, socioeconómicos y financieros. Entre ellos destacan: Factibilidad de tercerización de actividades, capacidad gerencial, aptitud técnica y calidad de los recursos humanos, voluntad y capacidad de pago de la población. En cuanto a la calidad del agua cruda, se utilizan criterios establecidos para determinar el tratamiento más adecuado en relación con ciertos parámetros del agua cruda y al número de habitantes a abastecer.

En la siguiente figura se compara las ventajas que presenta el tratamiento basado en la filtración en múltiples etapas FIME en relación con el sistema convencional.

Factor	Variable	F+GD+FGA3+FLA+ Desinfección	Sistema convencional (C+F+S+F+ Desinfección)
Aspectos demográficos y socioculturales	Tamaño de la población	✓✓✓	✗
	Nivel educativo	✓	✓
	Cobertura y cantidad	✓✓✓	✓✓✓
Características del agua	Origen del agua	✓	✓
	Composición del agua	✓✓✓	✓
	Caudal de la fuente	✓✓✓	✓
Capacidad y disponibilidad de pago	Capacidad de pago	✓	✗
	Tarifa	✓	✗
	Voluntad de pago	✓	✗
Costos	Costos de inversión	✓✓✓	✗
	Costos de operación y mantenimiento	✓✓✓	✗
Objetivos de tratamiento	Expectativas de calidad del efluente	✓✓✓	✓✓✓
	Nivel de tratamiento	✓	✓✓✓
	Disponibilidad de insumos químicos	✗	✗
	Requerimiento de energía	✓✓✓	✓
	Disponibilidad de mano de obra local	✓	✓
	Necesidad de equipos mecánicos	✓✓✓	✓
Aspectos tecnológicos	Impacto ambiental	✓	✓
	Eficiencia de la tecnología	✓✓✓	✓✓✓

Figura 3.9 Selección del tratamiento considerando aspectos socio económicos de la localidad.

Se elige el sistema de tratamiento FIME porque es el más indicado teniendo en cuenta la ubicación y la cantidad de población, y los bajos costos de operación y mantenimiento de la planta.

A continuación, se presentan los criterios de selección para el tratamiento por múltiples etapas (FIME) los cuales están en función de la turbiedad, color verdadero o real y número de unidades formadoras de colonias de coliformes termotolerantes:

Tabla 3.13 Criterios de selección para FIME.

Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	Turbiedad (UNT)	< 10	10-20	20-50	50-70 (*)
	Color Real (UC)	< 20	20-30	30-40	30-40 (*)
< 500	Sin FGA		FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3.0.3}
500 - 10000		FGAC _{0.6}	FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3.0.3}
10000 - 20000 (*)		FGAC _{0.45}	FGAC _{0.45}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3.0.3}

Fuente: OPS, CEPIS & COSUDE (2005).

IV. Descripción de la Comunidad

La comunidad Cerro Blanco pertenece a la micro región III del Municipio de San Juan de Río Coco, el cual se encuentra ubicado en la parte norte de Nicaragua, ocupando el extremo este del departamento de Madriz. Por su extensión territorial de 221 Km² ocupa el tercer lugar entre los nueve que conforman el departamento, ubicado a 205 Km de la capital Managua, localizado entre las coordenadas 13°32' latitud Norte, 86°10' longitud Oeste, con elevaciones que van desde los 800 msnm hasta 1 343 msnm (SINAPRED, 2003).

El Municipio de San Juan del Río Coco comprende 37 comunidades organizadas en 5 micro regiones (una urbana y cuatro rurales), con una población aproximada de 21 114 habitantes de los cuales 6 586 habitantes se encuentran asentados en el área urbana representando un 31% y 14 528 asentados en el área Rural representando un 69% de la población total (SINAPRED, 2003).

4.1 Clima

El municipio de San Juan de Río Coco se caracteriza por tener un clima tipo tropical húmedo con temperaturas que oscilan entre los 22°C y 23°C, aumentando su humedad y reduciendo sus temperaturas en las partes más elevadas del territorio. La precipitación oscila entre los 1 200 mm y 1 400 mm, caracterizándose por una buena distribución durante todo el año (SINAPRED, 2003).

4.2 Suelo

Los suelos son francos arcillosos con erosión fuerte (INIDE & MAGFOR, 2013). “determinando las propiedades físico-mecánicas de suelo. De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, el suelo del sitio se clasifica como un suelo arcilloso de color gris (CH) de alta plasticidad y arena arcillosa (SM) con resistencia variable desde 0,40 kg/cm² hasta 3,50 kg/cm² (Traña, 2004 Citado por INETER, 2004).

4.2.1 Usos del Suelo

La vegetación del municipio se encuentra muy deteriorada por la explotación maderera intensiva. Sin embargo, aún se encuentran pequeñas áreas de bosque de coníferas. Territorialmente el uso predominante son los pastos, los cuales abarcan el 40,6 % de la superficie municipal (SINAPRED, 2003).

Tabla 4.1: Uso actual del suelo.

Tipo de uso	Área	
	Km ²	%
Bosque	23,4	10,6
Tacotales	43,5	19,7
Pastos naturales	39,3	17,8
Pastos mejorados	50,4	22,8
Cultivos temporales	16,4	7,4
Cultivos permanentes	48,0	21,7
Área total	221,0	100,0

Fuente: Censo Agropecuario. PRODERE 1995 (Citado por SINAPRED, 2003).

4.3 Aspectos Socioeconómicos

En el municipio de San Juan de Rio Coco la actividad económica que predomina es la agricultura. En este municipio un total de 126 hogares presentan actividad económica, dentro de los cuales destaca el comercio al por menor, el vestuario y los servicios comunitarios (INIDE, 2008). Según la ERCERP (2004), (Citado por MINSA & OPS, 2004) el 73,4% de la población vive en la pobreza y 34,8% en la pobreza extrema.

4.4 Distribución Poblacional

Según datos del Censo (2005), la población del municipio de San Juan de Rio Coco presenta un total de 21 114 personas, de las cuales 14 528 personas viven en las zonas rurales del municipio y de éstas 921 pertenecen a la comunidad Cerro Blanco lo que representa el 4,36% de la población.

4.5 Abastecimiento de Agua y Saneamiento

El suministro de agua potable por parte de la empresa ENACAL es deficiente, a como se muestra en la Tabla 4,2, la población rural es la más afectada según datos del INIDE, 2008.

Tabla 4.2: Suministro de agua.

Municipio	Sin Servicio de Agua Potable	
	Barrio	Comarca
San Juan de Rio Coco	24,87%	65,88%

Fuente: INIDE, 2008.

Las principales fuentes de agua de este municipio son las quebradas, que, en el caso particular de San Juan de Río Coco, la Red de Agua Potable que abastece a 907 conexiones domiciliarias, el agua proviene de pilas receptoras que se abastecen de las quebradas El Majaste, Los Cítricos, las Nubes y La Dalia, aguas que no son muy seguras debido a que fácilmente se ensucian principalmente en la época de invierno (SINAPRED, 2003).

En el caso de la población rural, estas se abastecen principalmente de quebradas y criques. Actualmente existen un buen número de comunidades que se abastecen de pozos perforados a mano y mini acueductos, utilizando fuentes o pilas en elevaciones de donde baja el agua por gravedad. Estos pozos se han realizado con el apoyo de ONGs y ya existen varios en el municipio, aumentando el número de pobladores consumiendo agua más segura (SINAPRED, 2003).

El municipio no cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario, utilizando el sistema de sumideros y letrinas (SINAPRED, 2003).

4.6 Calidad del Agua

4.6.1 Fuentes de Contaminación

En el municipio de San Juan del Río Coco, no se cuenta con sistemas de alta tecnología ni industrial, sin embargo, presenta algún nivel de contaminación ambiental producto de la deforestación y diseminación de productos químicos (fertilizantes, plaguicidas), afectando a los seres humanos, y animales.

Las empresas que se dedican a beneficiar café en el área del casco urbano son varias, las que no cuentan con un sistema de manejo de desechos del café en esta labor de beneficios de café, provocando contaminación ambiental en la ciudad anualmente siendo las aguas mieles y la pulpa del café desechadas de las grandes haciendas de café que existen en el municipio durante la temporada de cosecha cafetalera hacia las quebradas y ríos.

También otra causa de contaminación es el no contar con un sistema de alcantarillado y la principal causa de contaminación permanente es la Quebrada de San Juan de Río Coco, la misma que pasa por el casco urbano ya que en ésta drenan todas las aguas negras de las casas del casco urbano, este problema es desde la fundación de este municipio. El basurero municipal es fuente de contaminación, aunque es el que

legalmente está reconocido por la Alcaldía, ya que su ubicación a orillas de la carretera afecta a los pobladores del Bálsamo y también contamina una fuente de agua que pasa por la Zona 5 y 6 del Casco Urbano de la ciudad (SINAPRED, 2003).

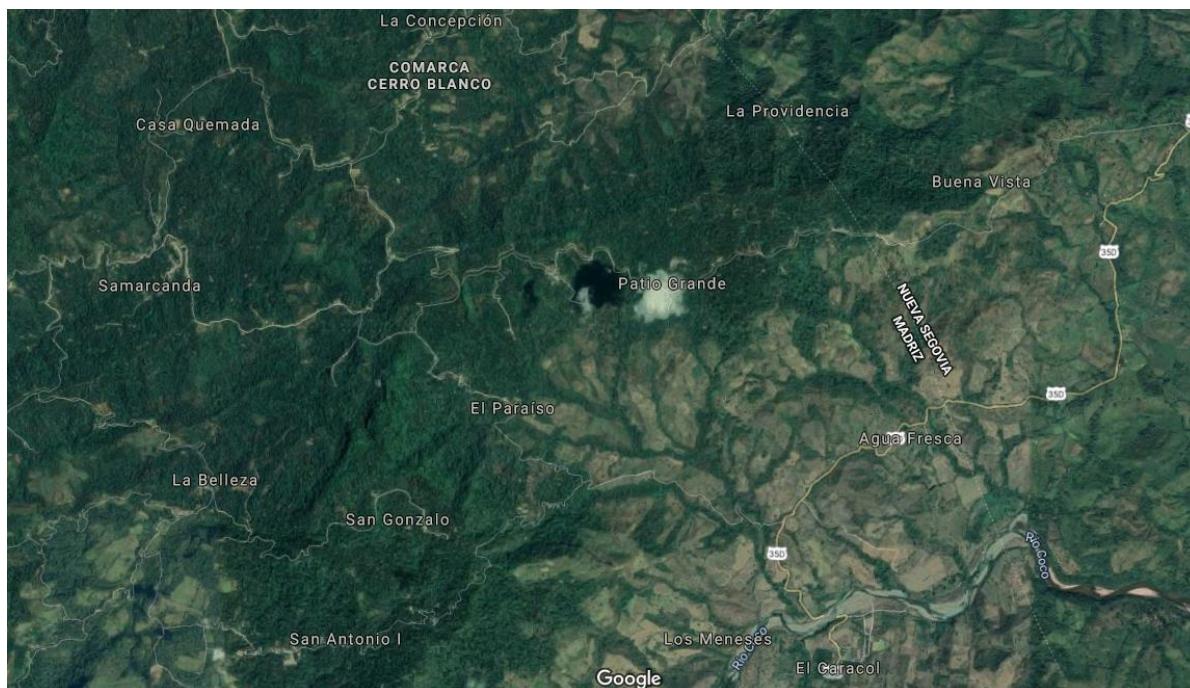


Figura 4.1: Mapa de la micro región III, San Juan de río Coco, Madriz.

Fuente: Google Map.

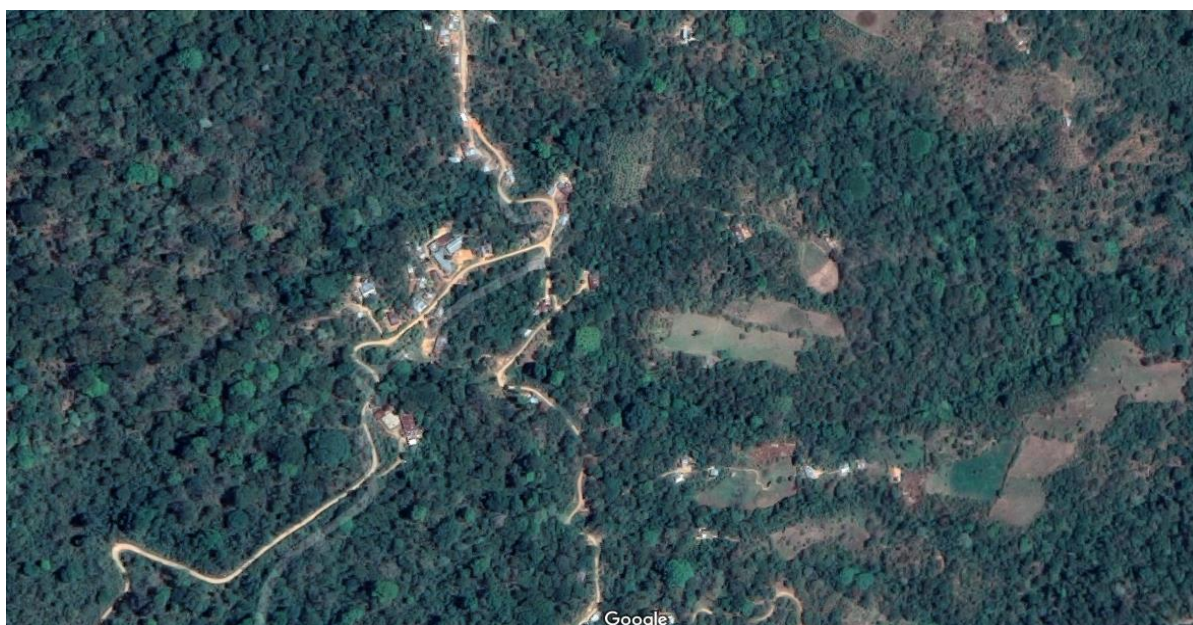


Figura 4.2: Mapa de la comunidad de Cerro Blanco, San Juan de río Coco, Madriz.

Fuente: Google Map.

V. Metodología

En este capítulo se abordó la metodología aplicada en la realización del presente estudio. También se definió el tipo de investigación y el universo en estudio.

5.1 Tipo de Investigación

En función al nivel de profundidad con que se aborda el diseño y evaluación tecnológica de la calidad del agua en un tramo del río Coco, se definió este trabajo como una investigación descriptiva exploratoria.

La investigación se desarrolló tomando cuatro muestras puntuales en el Río Coco para la caracterización fisicoquímica y microbiológica. Se midieron parámetros como: temperatura (°C), pH, turbiedad (NTU), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos totales disueltos (mg/L), oxígeno disuelto (mg/L), hierro (mg/L), color (mg/L Pt-Co), nitratos (mg/L), nitritos (mg/L), alcalinidad (mg/L CaCO_3), dureza (mg/L CaCO_3) y coliformes termotolerantes. Los datos de calidad sirvieron de base para realizar el diagnóstico del estado de la fuente de agua, la clasificación del recurso hídrico, y la propuesta de tratamiento.

5.2 Universo

Como universo de estudio se delimitó la sección del Río Coco que pasa por la Comunidad de Cerro Blanco a 205 km de Managua.

5.3 Estimación de Caudal

Primeramente, se efectuó la proyección de la población al 2023 con datos del censo 2005 del INIDE y luego se proyectó a 20 años, para hacer ambas proyecciones se hizo uso de la siguiente ecuación geométrica:

$$P_f = (P_o)(1+t)^n \quad \text{Ec (5.1)}$$

Donde: P_f es la población final
 P_o es la población inicial
 t es la tasa de crecimiento
 n el periodo de diseño

Posteriormente se conoció la dotación por persona al día, que se le asignó a cada habitante, de conformidad con la normativa NTON 09 007 19, la dotación es de 100 lppd. Luego se calculó el consumo doméstico (CD) al multiplicar el número de habitantes por la dotación:

$$CD = \text{Número de habitantes} \times \text{dotación} \quad \text{Ec (5.2)}$$

Como en una comunidad siempre hay pequeños negocios, alguna delegación de gobierno o se hace necesario utilizar el agua para otros propósitos, se debió considerar estos usos a través de una serie de porcentajes que se aplican al consumo doméstico (CD) de acuerdo con la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Porcentajes de dotación para otros usos del agua en comunidades rurales.

Tipo de Consumo	Dotación
Comercial (CC)	7%
Público (CP)	7%
Industrial (CI)	2%

Además, para el cálculo del caudal (Q) se debió, considerar otros usos (OU) que representa el consumo de agua en la misma planta y que corresponde al 2% del (CD) y fugas (FU) que representa el 15% del (CD). Para estimar el caudal de diseño ($Q_{\text{diseño}}$) hay que multiplicar el caudal (Q) por el factor de 1.5. El caudal máximo horario se obtiene de multiplicar el caudal de diseño ($Q_{\text{diseño}}$) por el factor máximo horario (FMH) que es de 2,5:

$$Q = CD + CC + CP + CI + OU + FU \quad \text{Ec (5.3)}$$

$$Q_{\text{diseño}} = Q \times 1.5 \quad \text{Ec (5.4)}$$

$$Q = Q_{\text{diseño}} \times \text{FMH} \quad \text{Ec (5.5)}$$

5.4 Determinación la Calidad del Agua Cruda del Rio Coco en la Comunidad

La caracterización físicoquímica y microbiológica, para determinar la calidad del agua de la fuente de abastecimiento para la comunidad Cerro Blanco se realizó tomando cuatro muestras de agua en la fuente, las que se transportaron al laboratorio de Ingeniería

Ambiental de la FIQ, donde se determinó la calidad del agua. En la Tabla 5.2 se detalla el método utilizado para el análisis de los 13 parámetros que permitieron conocer la calidad de la fuente.

Tabla 5.2 Metodología 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
Turbiedad	<i>In Situ</i>	Turbidimetría
Oxígeno Disuelto	<i>In Situ</i>	Electrometría, Oxigenómetro
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
Nitritos	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8039
Hierro Total	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8008
Coliformes Termotolerantes	Laboratorio	Filtración por Membrana

Para asegurar la calidad de los análisis se tomaron todas las recomendaciones de preservación para los distintos compuestos y siguieron los protocolos de análisis del Manual HACH (2005). Los procedimientos de cada análisis se encuentran en el Anexo A.

5.5 Comparación del agua cruda con la NTON 05 007 – 98 y con la Normativa CAPRE

La fuente de agua cruda se comparó con la NTON 05 007 – 98 y con la Normativa CAPRE. La NTON 05 007 – 98 es la norma Nicaragüense que clasifica los recursos hídricos en base a los usos para los cuales el agua será destinada. Se encuentra en el Anexo B. La normativa CAPRE (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana), son normas de calidad del agua para consumo humano. Se encuentra en el anexo C.

5.6 Selección y Propuesta de Dimensionamiento de un Sistema de Tratamiento

Conocida la calidad del agua y el caudal se hizo uso de la Figura 3.9 y de la Tabla 3.13

donde cada parámetro a remover tiene un tipo de tratamiento. Esto permitió construir el tren de tratamiento para la fuente de agua. Posteriormente se efectuó el dimensionamiento de cada etapa propuesta tomando en consideración los criterios de diseño de la Sección 3.3.

5.7 Balance de Contaminantes y Comparación con la Normativa CAPRE

Con los datos de calidad del agua cruda y utilizando los porcentajes de remoción de los distintos parámetros en cada etapa de tratamiento propuesto se realizaron los balances de entrada y salida para determinar si el tren de tratamiento propuesto logra reducir las concentraciones o valores de los contaminantes de tal forma que el agua sea apta para el consumo de la población de Cerro Blanco. La muestra de agua se comparó con la Norma de potabilización de Agua, CAPRE (Anexo C).

VI. Discusión de Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos para cumplir con cada objetivo específico propuesto para el desarrollo de este trabajo monográfico. En el Anexo D se incorpora la memoria de Cálculo donde se presentan los cálculos efectuados para el caudal de diseño.

6.1 Caracterización de la Fuente

A continuación, se presenta la tabla 6.1 con la caracterización de la calidad del agua del río coco que pasa por la comunidad, mediante un promedio de los valores obtenidos a través de cuatro muestreos puntuales que se realizaron en la época lluviosa.

Tabla 6.1 Resultados de los parámetros de calidad del agua

Parámetro	Valor Medido
Temperatura (°C)	26,7
pH	7,2
Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	64
Turbiedad NTU	520
Conductividad (μS/cm)	184
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	164
Alcalinidad Total (mg/L CaCO ₃)	120
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4,2
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	156
Nitratos (mg/L)	18
Nitritos (mg/L)	0,1
Hierro (mg/L)	0,44
Coliformes Termotolerantes (UFC/100 mL)	89

En la siguiente tabla 6.2 se hace una comparación en detalle con las Categorías 1A y 1B de la Normativa de Clasificación de los Recursos Hídricos, NTON 05 007 98. El color verdadero 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 turbiedad, oxígeno disuelto y nitratos sobre pasa los valores de ambas categorías. No obstante, se debe de aclarar que en el caso del oxígeno disuelto un valor mayor al

permisible es mejor porque asegura un agua aireada al consumidor.

Tabla 6.2 Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON 05 007 - 98).

Parámetro	Valor Medido	Valores de Criterios de Calidad			
		Categoría 1 A	Categoría 1 B	Cumple	
				Si	No
Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	64	15	150		*
Turbiedad NTU	520	5	250		*
Temperatura (°C)	26,7				
pH	7,2	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	*	
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4,2	4	4		*
Conductividad (µS/cm)	184				
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	164	400		*	
Alcalinidad Total (mg/L CaCO ₃)	120				
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	156				
Nitratos (mg/L)	18	1 0	10		*
Nitritos (mg/L)	0,1				
Hierro (mg/L)	0,44	0,3	3	*	
Coliformes Termotolerantes(UFC/100 mL)	89	2 000	10 000	*	

La comparación con la Norma CAPRE indica que los resultados de calidad de los parámetros como coliformes, color verdadero, hierro y turbiedad exceden los valores recomendados o máximo admisibles de la norma de potabilización de agua, lo que significa que la población está consumiendo agua no apta para el consumo humano.

Tabla 6.3 Normativa CAPRE o Normativa 066.

Parámetro	Unidad	Valor Medido	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 MI	89	Negativo	Negativo
Color Verdadero	mg/L(Pt-Co)	64	1	15
Turbiedad	UNT	520	1	5
Conductividad	uS/cm	184	400	
Dureza	mg/L CaCO ₃	164	400	
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	120		
Temperatura	°C	26,7	25-35	
pH	-	7,2	6,5-8,5	
Oxígeno Disuelto	mg/L	4,2	4,0	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	156		1 000
Nitratos	mg/L	18	25	50
Nitritos	mg/L	0,1		0,1-3
Hierro	mg/L	0,44		0,3

6.2 Selección del Tren de tratamiento.

En la tabla 6.4 se muestran los tipos de tratamiento de acuerdo a los parámetros a ser removidos. Los parámetros a considerar son los que exceden los valores recomendados o máximos admisibles de la Normativa CAPRE. Se seleccionan tratamientos que sean de bajo costo en su construcción, operación y mantenimiento.

Tabla 6.4 Parámetros a ser removidos vs tratamiento.

Parámetros que No Cumplen con la Normativa CAPRE	Posibles Operaciones o Procesos Unitarios de Tratamiento
Coliformes Termotolerantes	Filtración, Desinfección
Color Verdadero	Filtración, Oxidación
Turbiedad	Filtración Gruesa, Filtración Lenta
Hierro	Filtración Gruesa, Filtración Lenta

6.2.1 Selección de las etapas de tratamiento.

Como se puede ver en la tabla anterior las etapas de tratamiento que deben de ser incluidas en la propuesta de tratamiento son filtración y desinfección, por lo que se considera el dimensionamiento de unidades de Filtración en Múltiple Etapas (FIME). Esta tecnología es barata y eficaz para remover parámetros de contaminación en el agua cruda de la comunidad Cerro Blanco. Además, como los valores de turbiedad son muy altos, se considera un sistema de pretratamiento con rejillas y sedimentadores.

6.2.2 Composición del tren de tratamiento.

Con los valores de turbiedad, color y coliformes y la Tabla 3.13 se seleccionaron las unidades que deben de conformar el tren de tratamiento por filtración en múltiples etapas. Se adiciono una etapa de pretratamiento con rejillas y sedimentadores debido al alto valor obtenido de turbiedad. El tren propuesto consiste de rejillas, sedimentadores, Filtración Dinámica, Filtración Gruesa Ascendente, Filtración Lenta y Desinfección. Siendo este el recomendado ya que posee grandes ventajas para su diseño y construcción.



Figura 6.1: Tren de tratamiento.

6.3 Dimensionamiento de las Unidades de Tratamiento

Para realizar el dimensionamiento de los equipos, se realizó previamente el cálculo poblacional para conocer la cantidad de personas las cuales abastecerá la planta potabilizadora.

6.3.1 Determinación de la población y caudal de diseño

La densidad poblacional de la comunidad Cerro Blanco fue calculada proyectando la

población al 2023 con datos del censo de 2005 del INIDE y luego se proyectó a 20 años, en ambos casos se utilizó la ecuación 6.1

Población Futura.

Se proyectó para un periodo de 20 años

$$P_f = P_o(1 + i)^n \quad \text{Ec (6.1)}$$

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 cada habitante. Según la norma NTON 09 007 19 para poblaciones rurales concentradas, la dotación es de 100 lppd.

Tabla 6.5 Dotación de agua para usos no domésticos.

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

Cálculo de Caudales

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

Caudal Diario (CD)

$$CD = \text{Población Actual} \times \text{Dotación} \quad \text{Ec (6.2)}$$

Consumo Promedio Diario (CPD)

$$\text{CPD} = \text{CD} + \text{CI} + \text{CC} + \text{CP} + \text{OU} + \text{Fugas} \quad \text{Ec (6.3)}$$

Consumo Medio Diario (CMD)

$$\text{CMD} = 1,5 \times \text{CPD} \quad \text{Ec (6.4)}$$

Consumo Medio Horario

$$\text{CMH} = 2,5 \times \text{CPD} \quad \text{Ec (6.5)}$$

En la Tabla 6.6 se muestran los resultados para la estimación del caudal de diseño, la población inicial proyectada a 2023 es de 1624 habitantes y la población futura proyectada para el año 2043 es de 3049 habitantes. Usando una dotación de 100 lppd según la norma NTON 09 007 19 para poblaciones rurales concentradas y multiplicándola por el número de habitantes en el 2043, se encontró el caudal diario (CD) en L/día. Posteriormente, el caudal diario se convirtió a L/s y usando los porcentajes de la Tabla 6.5 se realizaron los cálculos del consumo comercial (CC), consumo industrial (CI), consumo público (CP), otros usos (OU), y fugas. Se realizó 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 7,1 L/s.

Tabla 6.6 Calculo de la población y del caudal de diseño.

Año	Población (hab)	Dotación (lppd)	CD (l/día)	CD (l/s)	CC	CP	CI	OU	Fugas	CPD	CMD	CMH
2023	1,624	100	162,400	1.88	0.13	0.13	0.04	0.04	0.28	2.50	3.75	6.25
2028	1,901	100	190,101	2.20	0.15	0.15	0.04	0.04	0.33	2.93	4.39	7.32
2033	2,225	100	222,527	2.58	0.18	0.18	0.05	0.05	0.39	3.43	5.14	8.56
2038	2,605	100	260,484	3.01	0.21	0.21	0.06	0.06	0.45	4.01	6.01	10.02
2043	3,049	100	304,916	3.53	0.25	0.25	0.07	0.07	0.53	4.69	7.1	11.75

Para diseñar el sistema de tratamiento se utiliza el caudal máximo diario del último año del periodo de diseño, siendo este de 7,1 L/s o 0,0071 m³/s. Para el diseño de los distintos componentes del tren de tratamiento, se adicionará 25% del caudal, por lo que el caudal de diseño de estas unidades será de 8,88 L/s o 0,00888 m³/s.

Una vez realizados los cálculos para la estimación del caudal de diseño se dimensionaron las unidades del tren de tratamiento. A continuación, se presentan los resultados del dimensionamiento de cada una de las etapas del tren de tratamiento.

6.3.2 Rejillas

Como sistema de pretratamiento se incorpora una rejilla que tiene por objeto separar del agua cruda objetos flotantes como ramas, basura e incluso animales procedentes de la corriente, para proteger de posibles daños la operación y los equipos de las unidades siguientes. Los resultados del dimensionamiento de la rejilla se muestran en la tabla 6.7

Tabla 6.7 Valores de dimensionamiento de rejillas gruesas

Dimensionamiento de rejillas gruesas			
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
Caudal de diseño	Q	0.008	m ³ /s
Velocidad de flujo	V	0.5	m/s
Área	A	0.02	m ²
Profundidad del agua	D	0.60	M
Ancho de abertura total	W	0.03	M
Espaciamiento entre barra	E	0.05	M
Numero de abertura	N	3.00	-
Numero de barras	Nb	2.00	-
Ancho de cámara	Wt	0.18	M
Altura Total	Ht	1.00	M

6.3.3 Sedimentador

Continuando con la etapa de pretratamiento se incorpora dos sedimentadores que tienen por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar se produzcan depósitos en las obras de conducción y evitar sobrecargas en los

procesos posteriores de tratamiento. Los resultados del dimensionamiento de los sedimentadores se muestran en la tabla 6.8

Tabla 6.8 Valores de dimensionamiento del sedimentador

Dimensionamiento del sedimentador			
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
Caudal de diseño	Q	0.009	m ³ /s
Velocidad de sedimentación	V	25	m/d
Tiempo de sedimentación	T	3.00	h
Área del sedimentador	A	30.69	m ²
unidades en paralelo	N	2.00	Unid.
Área individual del sedimentador	Ai	15.34	m ²
Largo	L	6.78	m
Ancho	A	2.26	m
Con placas inclinadas de longitud 50% con inclinación de 60°			
Profundidad relativa	Lr	0.20	m
Profundidad relativa efectiva	Lu	0.16	m
Velocidad de alta sedimentación	Vo	25.00	m/d
Velocidad de sedimentación crítica	Vs	2.76	m/d

6.3.4 Filtro Grueso Dinámico (FGDi)

El Filtro Grueso Dinámico es la primera unidad hidráulica que se instala en el sistema de tratamiento, 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 de altas cargas de sólidos. Los resultados del dimensionamiento de cada una de las unidades se muestran en la Tabla 6.9

Tabla 6.9 Valores de dimensionamiento de los filtros gruesos dinámicos, (FGDi).

Dimensionamiento del Filtro Grueso Dinámico			
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
Razón de Flujo	R	0,25	-
Caudal de Diseño	Q _d	0.00888	m ³ /s
Caudal Total	Q _T	0.0111	m ³ /s
Velocidad de Filtración	V _F	2 0.0056	m/h m/s
Área Total	A _T	19.98	m ²
Numero de Filtros	N	2	-
Área Individual	A _i	9.99	m ²
Caudal Individual	Q _i	0.0056	m ³ /s
Altura de Borde Libre	H _{BL}	0,2	M
Altura de Medio Filtrante	H _{MF}	0,6	M
Altura del Lecho de Soporte	H _{LS}	0,3	M
Relación Longitud: Ancho		03:01	-
Caja de Filtro			
Altura del Filtro	H _f	1,1	M
Largo	L	6.36	M
Ancho	W	2.12	M

El caudal que se utiliza para dimensionar los filtros gruesos dinámicos es el caudal de diseño multiplicado por la razón de flujo del 1,25%, 11,1L/s (0,0111 m³/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 de los filtros gruesos dinámicos aparecen en las páginas 28 a 30. Se seleccionó una velocidad de 2 m/h debido a la calidad del agua de la fuente.

Las características del medio filtrante y del lecho de soporte de los filtros gruesos dinámicos se presentan en las Tablas 6.10 y 6.11.

Tabla 6.10 Medio filtrante.

Lecho de Soporte	Espesor de la Capa (m)	Diámetro de la Grava (mm)
Superior	0,20	5
Intermedio	0,20	11
Inferior	0,20	20
	0,60	

Tabla 6.11 Lechos de soporte.

Lecho 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
		0,30	

6.3.5 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. Para el dimensionamiento de los filtros gruesos se utiliza el caudal de diseño de 8,88 L/s (0,00888 m³/s) y una velocidad de filtración de 0,3 m/h.

Las ecuaciones y criterios de diseño para el dimensionamiento de los filtros se encuentran disponibles en las páginas 34 y 35.

Tabla 6.12 Valores de dimensionamiento de los filtros gruesos ascendentes, FGA.

Dimensionamiento del Filtro Grueso Ascendente			
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
Caudal Total	Q_T	0.00888	m ³ /s
Velocidad de Filtración	V_F	0,3 0,000083	m/h m/s
Área Total	A_T	35.52	m ²
Numero de Filtros	N	3	-
Área Individual	A_i	11.84	m ²
Caudal Individual	Q_i	0.00296	m ³ /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		01:01	-
Caja de Filtro			
Altura del Filtro	H_f	1,7	M
Largo	L	3,44	M
Ancho	W	3,44	M

En la Tabla 6.13 se describen las características del medio filtrante y del lecho de soporte de los filtros gruesos ascendentes en capas.

Tabla 6.13 Características del medio filtrante y lecho de soporte.

Medio Filtrante	Espesor de la Capa (m)	Diámetro (mm)
Superior	0,30	15
Intermedio	0,20	10
Intermedio	0.20	5
Inferior	0,20	2
	0,90	
Lecho de Soporte	Espesor de la Capa (m)	Diámetro de la Grava (mm)
	0,30	20

6.3.6 Filtro Lento de Arena (FLA)

Es la tercera y última unidad de los filtros que conforman el sistema de potabilización propuesto. 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 que permite remociones químicas y biológicas. Los criterios de diseño y dimensionamiento se encuentran en las páginas 37 a 40. Se emplea el caudal de diseño de 8,88 L/s (0,00888 m³/s) y una velocidad de filtración de 0,1 m/h.

Tabla 6.14 Valores de dimensionamiento de los filtros lentos de arena, FLA.

Dimensionamiento del Filtro Lento de Arena			
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
Caudal Total	Q_T	0.00888	m ³ /s
Velocidad de Filtración	V_F	0,1 0,000028	m/h m/s
Área Total	A_T	159.84	m ²
Numero de Filtros	N	2	-
Área Individual	A_i	79.92	m ²
Caudal Individual	Q_i	0.00444	m ³ /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 Lecho de Soporte	H_{LS}	0,30	M
Relación Longitud: Ancho		03:01	-
Caja de Filtro			
Altura del Filtro	H_f	2,6	M
Largo	L	15.48	M
Ancho	W	5.16	M

En la Tabla 6.15 se muestran las características del medio filtrante y del lecho de soporte de los filtros lentos de arena.

Tabla 6.15 Características del medio filtrante y lecho de soporte.

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

6.3.7 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. 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 42 para estimar el peso del hipoclorito de calcio el cual se encuentra al 65% comercialmente y con un tiempo de retención de 30 minutos y una dosis de cloro de 0,64 mg/L que asegura un efecto residual de 0,30 mg/L. Se seleccionó un volumen de tanque de 100 L que se recargara cada dos días.

Tabla 6.16 Características de los parámetros de desinfección.

Parámetros	Valores	Unidades de medidas
Caudal Total	0,00499	m ³ /s (4,99 L/s)
Dosis de Cloro	0,64	mg/L
Tiempo de Contacto de Cloro	30 (1 800)	min (s)
Porcentaje de Cloro	65	%
Peso del Hipoclorito de Calcio	0,88	Kg
Caudal de Dosificación	2	L/h
Volumen del Tanque Clorador	100 (0,10)	L (m ³)
Altura del Tanque	1	M
Radio	0,70	M
Diámetro	0,35	M
Tiempo de Recarga del Tanque Clorador	2	D

6.4 Balance de la Remoción de Contaminantes por Etapa de Tratamiento.

En la tabla 6.17 se muestran 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 el agua segura para la comunidad.

Tabla 6.17 Balance de contaminantes.

Parámetro	Unidad	Valor Medido	Rejillas	Sedimentador	FGD	FGA	FLA	Desinfección	Agua Potabilizada	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Temperatura	°C	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7		26.7	25-35	
pH	-	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2		7.2	6.5-8.5	
Color Verdadero	mg/L Pt-Co	64	44.8	13.44	10.08	5.04	0.504		0.504	1	15
Turbiedad	UNT	520	364	36.4	7.28	0.73	0.182		0.182	1	5
Conductividad	uS/cm	184	184	184	184	184	184		184	400	
Dureza	mg/L CaCO ₃	120	120	120	120	120	120		120	400	
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	95	95	95	95	95	95		95		
Oxígeno Disuelto	mg/L	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2		4.2	4	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	156	156	156	31.2	3.12	0.624		0.624		1000
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	18	18	18	5.4	1.62	0.486		0.486	25	50
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.03	0.01	0.003		0.0027		0.1-3
Hierro Total	mg/L	0.44	0.44	0.176	0.009	0	2E-05		2E-05		0.3
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL	89	89	62.3	6.23	0.62	0.062	0	0	Negativo	Negativo

6.5 Esquema del Tren de Tratamiento

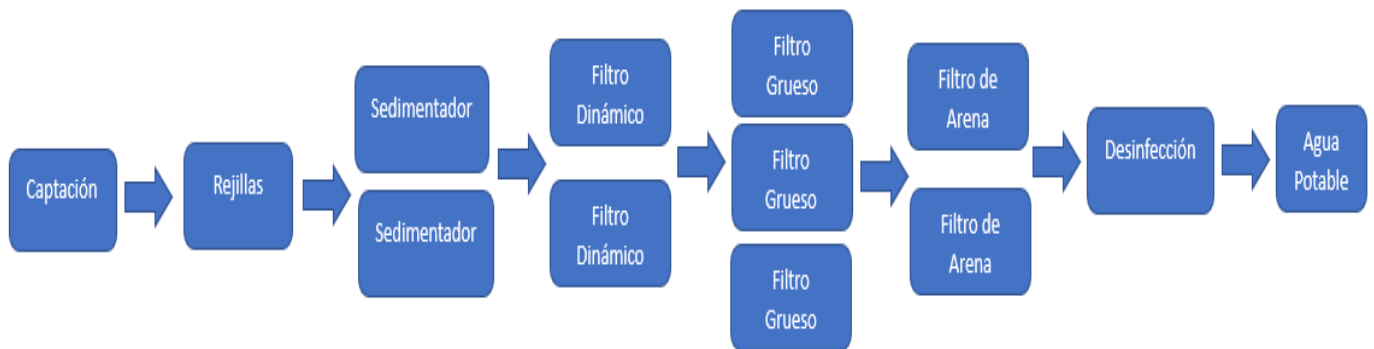


Figura 6.2 Esquema del Tren de tratamiento.

VII. Conclusiones

- Se dimensionó un sistema de tratamiento de agua potable para los habitantes de la comunidad Cerro Blanco de San Juan de Rio Coco, teniendo en cuenta las condiciones socioeconómicas de la población y la calidad del agua del Rio Coco que no cumplía con las Norma CAPRE
- Se logró estimar el caudal de suministro de agua para 20 años tomando en cuenta la población de la comunidad, esta fue proyectada al año 2043 con 3,049 habitantes utilizando datos del último censo poblacional del INIDE de 2005 con 921 habitantes.
- Se recolectaron cuatro muestras puntuales de la fuente para el proyecto, estas fueron trasladadas al laboratorio de ingeniería ambiental de la Facultad de Ingeniería Química de la UNI, luego se determinó la calidad del agua de la fuente de estudio a través de una caracterización fisicoquímica y se comparó con la norma NTON 05 007 98 y la Norma CAPRE. Se concluyó que el agua de la fuente no es apta para consumo humano, por lo que previamente debe ser sometida a un tratamiento de potabilización para su consumo.
- Se tomaron en cuenta dos variables para la selección del tren de tratamiento, la calidad del agua del rio coco y las condiciones socio económicas de los habitantes de la comunidad. Se seleccionó y dimensiono un sistema de tratamiento de potabilización de agua, el cual consiste en un sistema de pretratamiento compuesto por rejillas y sedimentadores, y un tratamiento principal basado en la Filtración en Múltiples Etapas o (FiME), porque es una alternativa tecnológica muy eficaz para remover contaminantes sumado al bajo costo de inversión inicial, operación y mantenimiento, finalizando con una etapa de desinfección con hipoclorito de calcio.
- Se realizó un balance de contaminantes con los resultados teóricos de los parámetros después de las etapas de tratamiento, estos fueron comparados con los valores recomendados y máximos admisibles de la norma CAPRE y se concluyó que la calidad del agua obtenida es potable y por lo tanto apta para el consumo de la población.

VIII. Recomendaciones

- Elaborar un manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento y potabilización del agua de la planta, 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 físicos, 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 en caso de ser necesario.
- Crear el comité de agua potable de la comunidad y establecer coordinación entre la 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.
- Recibir capacitación de parte de las autoridades correspondiente sobre el uso y manejo de la planta.

IX. Referencias

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

Campos, I. G. (2000). *Saneamiento Ambiental* (1era ed.). Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.

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.

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

Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J. & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's water treatment: principles and design*. (3ª ed.) [Tratamiento de agua de MWH: principios y diseño]. Hoboken, NJ: Wiley.

ENACAL, OPS. (2006). *Abc sobre el recurso agua y su situación en Nicaragua*.

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

García, I. (2014). Fundamentos de Ingeniería Ambiental I.

Gerardo Galvis Castaño, Jorge Latorre Montero, Jan Teun Visscher; "Filtración en múltiples etapas"; CINARA, IRC; Colombia; 1999

Henry, J. G., & Heinke G. W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Prentice Hall. México. Segunda edición.

HIDROGEA. (2013). *HIDROGEA*. Recuperado el 22 de Junio de 2017, de HIDROGEA Web site: <http://www.aquagest-regiondemurcia.es/img/contenidos/1/ficha-sobre-calidad-del-agua.pdf>

INETER. (2004). *Evaluación de las amenazas geológicas e hidrometeorológicas para sitios de urbanización. Casco urbano de la ciudad de San Juan de Río Coco Municipio de San Juan de Río Coco, Departamento de Madriz*.

- INETER, AGUASAN, COSUDE. (2004). *Gestión de la información en recursos hídricos; investigación y mapeo de las aguas subterráneas, Nicaragua, C.A.*
- INIDE. (2005). *San Juan de Rio Coco en cifras. Madriz.*
- INIDE & MAGFOR. (2013). *IV Censo Nacional Agropecuario CENAGRO. Departamento de Madriz y sus municipios.*
- Jiménez, B. E. (2001). *La Contaminación Ambiental en México.* México: Editorial Limusa.
- Lin, S.D. (2014). *Water and wastewater calculation manual.* (3ª ed.) [Manual de calculos para agua y aguas residuales]. New York, NY: McGraw-Hill.
- Madigan, M., Martinku, J., & Parker, J. (1997). *Biología de los microorganismos.* Prentice Hall. Madrid. Octava edición.
- MINSA & OPS. (2004). *Plan de clasificación y reordenamiento de servicios de salud.* SILAIS MADRIZ.
- NTON 05 007-98. (1998). *Norma para la clasificación de los recursos hídricos. Managua, Nicaragua: INAA.*
- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (1987). *Guías para la Calidad del Agua Potable: Criterios relativos a la salud y de información de base.* OPS: Washington, D.C
- OPS & CEPIS. (2002). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Manual de capacitación para operadores.* Lima.
- OPS, CEPIS y COSUDE. (2005). *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas.* Lima.
- OPS, CEPIS y COSUDE. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores.* Lima.
- Pérez, G., Vittori, D., Pregi, N., Garbossa, G., & Nesse, A. (2005). Homeostasis del Hierro. *Acto Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 3(39), 301-314.

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

Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua (2002). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Capítulo 20 Indicadores de contaminación fecal en aguas.*

Rigola, M. L. (1990). *Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Proceso y Residuales.* Barcelona, España: Marcombo, S.A.

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

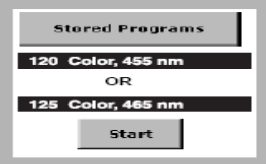
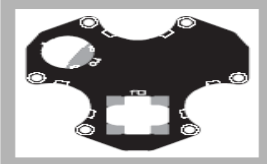
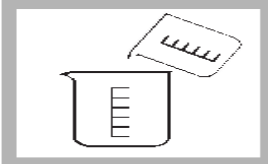
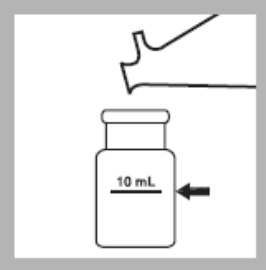
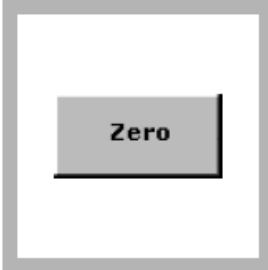
SINAPRED. (2003). *Plan de respuesta municipal con enfoque de gestion del riesgo. Municipio san Juan de rio coco, departamento de Madriz.*

X. Anexos

Anexo A.

Métodos de Análisis

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.
			
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.

Turbiedad (0 a 999 NTU)

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.

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.

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 aumenta con los incrementos de pH. Sin embargo, el pH no puede aumentar indefinidamente debido al peligro de precipitación de carbonato cálcico (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 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°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 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 CaCO_3 .

Reactivos

a) *Solución Tampón:*

- Disuélvanse 16,9 g de cloruro amónico (NH_4Cl) en 143 mL de hidróxido de amonio (NH_4Cl) 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, MgCl_2 o MgSO_4 . Conserve las soluciones 1) y 2) en un recipiente plástico o de vidrio borosilicato, durante un período no superior a un mes. Tapóñese herméticamente para evitar pérdidas de amoníaco (NH_3) o captura de dióxido de carbono (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 NH_4Cl - NH_4OH . Por lo general, los tampones inodoros no proporcionan un punto final tan favorable como los de NH_4Cl - NH_4OH . 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 etilendiaminotetracetatodisódico-trihidrato, 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 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 CaCO_3 . Mídanse 200 mL de agua destilada y hágase hervir durante unos minutos para expeler el CO_2 . Enfríese, añádanse unas gotas de indicador rojo de metilo y ajústese al color naranja intermedio por adición de NH_4OH 3 N o 1 + 1 HCl, según se requiera. Transvátese cuantitativamente y dilúyase hasta 1 000 mL con agua destilada; 1 mL = 1,0 mg de 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.
- a) 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_3 equivalente a 1,0 mL de titulante EDTA

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 CaCO_3/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 (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 CaCO_3/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 límpiese 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 CaCO_3 solamente si ha sido determinada por el método de alcalinidad baja. Confecciónese una curva de titulación para

estandarización de los 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 (H_2SO_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 H_2SO_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. Lléñense las botellas por completo y tápense 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 $25 \pm 5^\circ\text{C}$.

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 Na_2CO_3 estándar primario a 250°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 Na_2CO_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 Na_2CO_3 , pesados em matraz de 1 L

B = mL de solución de Na_2CO_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 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 Na_2CO_3 0,05 N, donde 1 mL = 1,0 mg de 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). investigúese el color de la misma cantidad a una solución tampón al pH designado.

Cálculo

b) 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

Coliformes Termotolerantes: Método de Filtro Membrana

Preparación del Medio de Cultivo

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

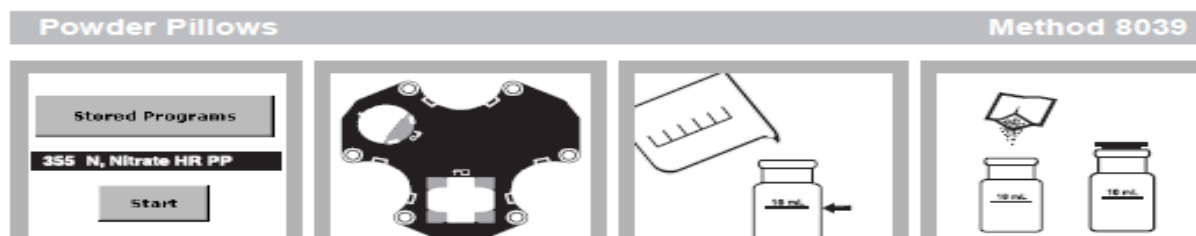
- 71.2 g de lauril sulfato (BBL)
- 14 g de agar técnico No.3
- 0.2 g de rojo fenol

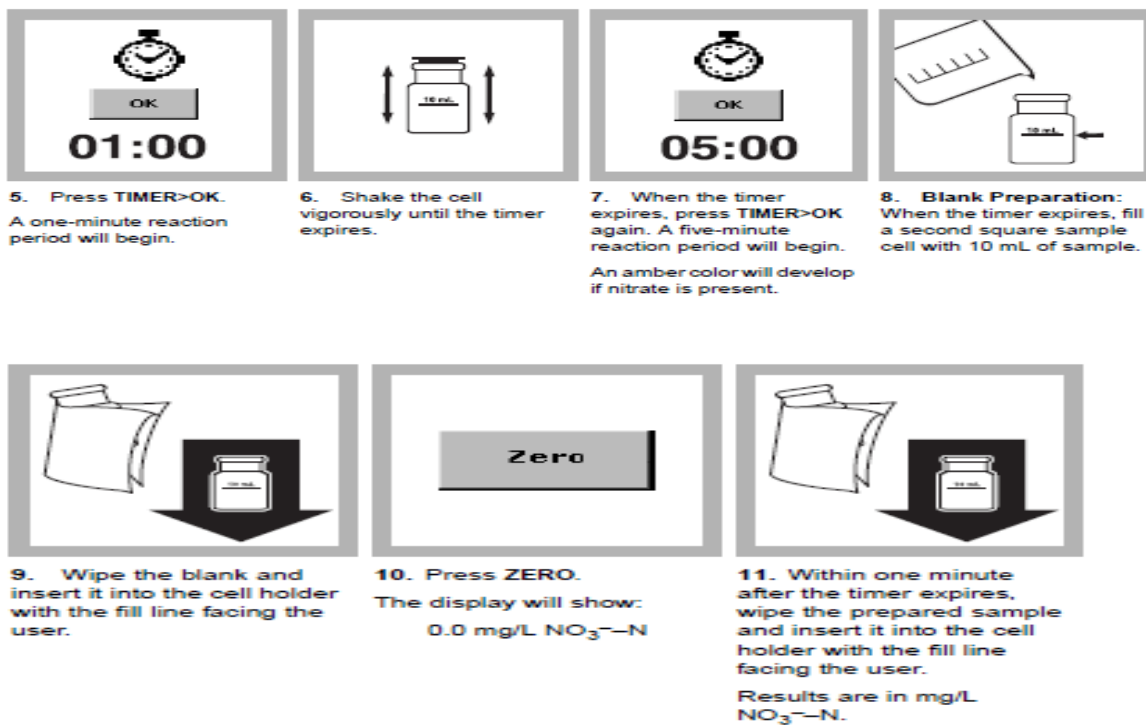
Mezclar en un balón aforando a 1 litro con agua destilada, esterilice en autoclave por 15 minutos a 121°C. Enfriar a 45°C y verter en las placas petri aproximadamente 3 ml del medio de cultivo.

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 fecales en 100 l
- 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.

Nitratos





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".

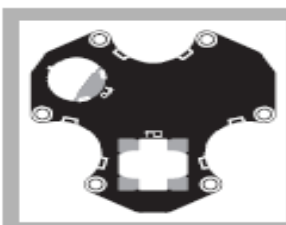
Hierro Total

Powder Pillows

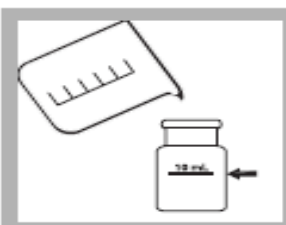
Method 8008



1. Select the test.



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

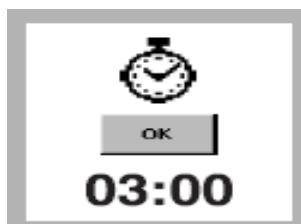


3. **Prepared Sample:** Fill a clean square sample cell with 10 mL of sample.



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

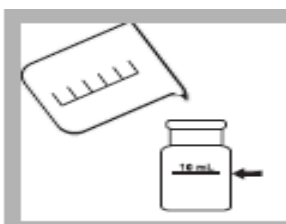
An orange color will form, if iron is present



5. Press **TIMER>OK**.

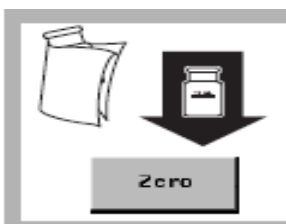
A three-minute reaction period will begin.

(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.

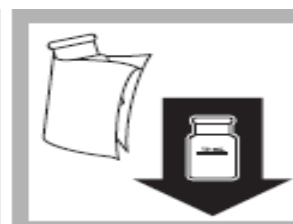


7. When the timer expires, insert the blank into the cell holder with the fill line facing the user.

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.

B.1 Aguas Tipo 1 Destinadas al Uso Doméstico e Industrial

Tabla B.1 Aguas tipo 1.

Parámetro	Limite o Rango Máximo	
	Categoría 1A	Categoría 1B
Oxígeno Disuelto (OD)	> 4.0 mg/L ^(*)	> 4.0 mg/L ^(*)
DBO ₅ ,	2.0 mg/L	5.0 mg/L
pH	mínimo 6.0 y máximo 8.5	mínimo 6.0 y máximo 8.5
Color Real	< 15 mg/L Pt-Co	< 150 mg/L Pt-Co
Turbiedad	< 5 UNT	< 250 UNT
Fluoruros	mínimo 0.7 mg/L y máximo 1.5 mg/L	< 1.7 mg/L
Hierro Total	0.3 mg/L	3 mg/L
Mercurio Total	0.001 mg/L	0.01 mg/L
Plomo Total	0.01 mg/L	0.05 mg/L
STD	1000 mg/L	1500 mg/L
Sulfatos	250 mg/L	400 mg/L
Zinc	3 mg/L	5 mg/L
Cloruros	250 mg/L	600 mg/L
Coliformes Totales	(**)	(***)
Cianuro Total	0.1 mg/L	
Cobre Total	2.0 mg/L	
Cromo Total	0.05 mg/L	
Detergentes	1.0 mg	
Dispersantes	1.0 mg/L	
Dureza como CaCO ₃	400 mg/L	
Fenoles	0.002 mg/L	
Manganeso Total	0.5 mg/L	
Nitritos y Nitratos	10.0 mg/L	
Plata Total	0.05 mg/L	
Selenio	0.01 mg/L	
Sodio	200 mg/L	
Organofosforados y Carbamatos	0.1 mg/L	
Organoclorados	0.2 mg/L	
Actividad α	0.1 Bq/L ^Φ	
Actividad β	1.0 Bq/L ^Φ	

Fuente: NTON 05 007-98, 1998. ^(*)También puede ser expresado como porcentaje de saturación y debe de ser mayor de 50%. ^(**) Promedio mensual menor de 2000 NMP por cada 100 mL. ^(***) Promedio mensual menor de 10000 NMP por cada 100 mL. ^Φ Becquerelio por litro.

Tabla C.1 Parámetros bacteriológicos.

Origen	Parámetro	Valor Recomendado	Valor Admisible	Observaciones
A. Todo Tipo de Agua de Bebida	Coliformes Fecales	Negativo	Negativo	-
B. Agua que entra al Sistema de Distribución	Coliformes Fecales	Negativo	Negativo	-
	Coliformes Totales	Negativo	≤ 4	En Muestras no Consecutivas
C. Agua en el Sistema de Distribución	Coliformes Totales	Negativo	≤ 4	En Muestras Puntuales, no debe ser Detectado en el 95% de las Muestras Anuales ^(c)
	Coliformes Fecales	Negativo	Negativo	-

Fuente: CAPRE, 1994.

Tabla C.2 Parámetros organolépticos.

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	1	15
Turbiedad	UNT	1	5
Olor	Factor de Dilución	0	2 a 12 °C 3 a 25 °C
Sabor	Factor de Dilución	0	2 a 12 °C 3 a 25 °C

Fuente: CAPRE, 1994.

Tabla C.3 Parámetros físico-químicos.

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Temperatura	°C	18-30 °C	-
Concentración de Iones Hidrógeno	Valor pH	6.5 a 8.5	-
Cloro Residual	mg/L	0.5 a 1.0	-
Cloruros	mg/L	25	250
Conductividad	µS/cm	400	-
Dureza	mg/L CaCO ₃	400	-
Sulfatos	mg/L	25	250
Aluminio	mg/L	-	0.2
Calcio	mg/L CaCO ₃	100	-
Cobre	mg/L	1.0	2.0
Magnesio	mg/L CaCO ₃	30	50
Sodio	mg/L	-	200
Potasio	mg/L	-	10
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	-	1000
Zinc	mg/L	-	3,0

Fuente: CAPRE, 1994.

Tabla C.4 Parámetros para sustancias no deseadas.

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Nitratos	mg/L	25	50
Nitritos	mg/L	-	0.1-3.0
Amonio	mg/L	0.05	0.5
Hierro	mg/L	-	0.3
Manganeso	mg/L	0.1	0.5
Fluoruro	mg/L	-	0.7-1.5
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	-	0.05

Fuente: CAPRE, 1994.

Tabla C.5 Parámetros para sustancias inorgánicas con significado para la salud.

Parámetro	Unidad	Valor Máximo Admisible
Arsénico	mg/L	0.01
Cadmio	mg/L	0.05
Cianuro	mg/L	0.05
Mercurio	mg/L	0.001
Plomo	mg/L	0.01
Antimonio	mg/L	0.05
Selenio	mg/L	0.01

Fuente: CAPRE, 1994.

Anexo D

Memoria de Calculo

Cálculo de la población futura y caudal de diseño

La densidad poblacional de la comunidad Cerro Blanco fue calculada proyectando la población al 2023 con datos del censo de 2005 del INIDE y luego se proyectó a 20 años.

Población proyectada al 2023

$$P_f = P_o (1+i)^n \quad (D.1)$$

$$P_f = 921 \text{ hab } (1+0.032)^{18}$$

$$P_f = 1,624 \text{ hab}$$

Población proyectada al 2043

$$P_f = P_o (1+i)^n \quad (D.2)$$

$$P_f = 1,624 \text{ hab } (1+0.032)^{20}$$

$$P_f = 3,0494 \text{ hab}$$

Para diseñar el sistema de tratamiento se utiliza el caudal máximo diario del último año del periodo de diseño, siendo este de 7,1 L/s o 0,0071 m³/s. Para el diseño de los distintos componentes del tren de tratamiento, se adicionará 25% del caudal, por lo que el caudal de diseño de estas unidades será de 8,88 L/s o 0,00888 m³/s.

Tabla D.1 Calculo de la población y del caudal de diseño.

Año	Población (hab)	Dotación (lppd)	CD (l/día)	CD (l/s)	CC	CP	CI	OU	Fugas	CPD	CMD	CMH
2023	1,624	100	162,400	1.88	0.13	0.13	0.04	0.04	0.28	2.50	3.75	6.25
2028	1,901	100	190,101	2.20	0.15	0.15	0.04	0.04	0.33	2.93	4.39	7.32
2033	2,225	100	222,527	2.58	0.18	0.18	0.05	0.05	0.39	3.43	5.14	8.56
2038	2,605	100	260,484	3.01	0.21	0.21	0.06	0.06	0.45	4.01	6.01	10.02
2043	3,049	100	304,916	3.53	0.25	0.25	0.07	0.07	0.53	4.69	7.1	11.75

Porcentajes de remoción

Tabla D2. Remoción en Sedimentador

Parámetros	Porcentajes de Remoción
Turbiedad	90-95
Color	> 70
Hierro	50-60
Amonio	30-40
Manganeso	50-60
Materia Suspendida	> 80
Chlorofila	40-50
Aluminio	90-95
Coliformes	30

Tabla D.3 Remoción en 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, Manganeso	Se presentan entre el 40% al 70% como hierro total y entre el 40% y el 60% para manganeso.
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.4 Remoción en filtración gruesa

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.5 Remoción en 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