

Trabajo Fin de Máster
POTABILIZACIÓN DE AGUAS CRUDAS
MEDIANTE TECNOLOGÍA DE
MEMBRANAS PARA 500
HABITANTES.CASO DE ESTUDIO
CANGONAMÁ ECUADOR

Intensificación: TRATAMIENTO DE AGUAS

Autor

SONIA LORENA GONZAGA VALLEJO

Director

DR. JOSÉ MIGUEL ARNAL ARNAL

Codirector

DR. JORGE GARCÍA –SERRA GARCÍA

MAYO/2015



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

AGRADECIMIENTOS

Mi principal agradecimiento a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para poder desarrollar este trabajo encaminado a ayudar a personas desposeídas y que viven en precarias condiciones.

Agradezco a mi director del trabajo Doctor José Miguel Arnal, por su acertada dirección y apoyo en cada instante, por su paciencia y don de gente, porque a más de ser un excelente profesor, ha sido amigo.

A mi codirector Doctor Jorge García Serra, por su apoyo y dedicación, por su orientación que ha permitido llevar a buen término este proyecto.

A mis padres Juan y Beatriz , mi hermana Clara por su incondicional apoyo, especialmente a mis hijos Jeremy, Adrián y José Gabriel por su comprensión y entender que todo crecimiento personal y profesional amerita un sacrificio, pero que la recompensa vale la pena.

Al presidente de la Junta parroquial de Cangonamá –Ecuador cuyo apoyo con la comunidad ha sido fundamental para la ejecución de esta investigación.

A mis amigos, que de una u otra forma han estado ahí para brindarme soporte cuando lo he necesitado.

Valencia, mayo de 2015

PRÓLOGO

La problemática de la mala calidad de agua de consumo humano a nivel mundial y sus consecuencias, han sido y siguen siendo objeto de infinidad de estudios y estrategias de los organismos mundiales con la finalidad de reducir los indicadores de enfermedades de origen hídrico y mortalidad infantil en niños menores de 5 años, fijado como referente en el objetivo del desarrollo del milenio 4, que en contexto general fueron aprobados por la asamblea general de las Naciones Unidas (ONU) en el año 2000 y el documento final de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en Johannesburgo del 2002. Como último foro internacional sobre el tema, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el periodo 2005 al 2015 como decenio Internacional para la acción “El agua, fuente de vida”.

Es así que el acceso a agua potable y saneamiento básico es vital para el desarrollo de los pueblos, los países denominados desarrollados se puede mencionar que tiene solucionado este aspecto, más los países en vía de desarrollo aún siguen en espera de tener o poseer métodos o tecnologías adecuadas para conseguir mejorar sus condiciones de vida y de forma concatenada conlleve a salir de los umbrales de pobreza.

Con esta perspectiva, en esta investigación se proyecta realizar un trabajo de implementación de una tecnología adecuada para la obtención de agua potable, segura para el consumo. Que sea de fácil operación y mantenimiento, de tal forma que los mismos usuarios del sistema tengan la capacidad de ejecutarlo. Tomando en consideración que la participación activa de la población y su involucramiento ha sido componente fundamental para la sostenibilidad del proyecto.

<u>ÍNDICE</u>	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 La problemática mundial.....	1
1.2 Status del agua en Latinoamérica.....	2
1.3 Situación del agua en el Ecuador.....	4
1.4 Métodos de potabilización.....	5
1.4.1 Tratamiento Convencional agua superficial.....	6
1.4.2 Tratamiento de agua de pozo o manantial.....	7
1.5 Otros métodos de potabilización.....	11
1.5.1 Desinfección por Calor.....	11
1.5.2 Filtración.....	12
1.5.3 SODIS.....	16
1.5.4 Luz ultravioleta (UV).....	17
1.5.5 Oxidación avanzada.....	20
1.5.5.1 Ozono.....	20
1.5.5.2 Oxidación avanzada con TiO ₂	23
1.5.6 Tecnología de membranas.....	25
1.6 Justificación del proyecto.....	29
2. ANTECEDENTES.....	33
2.1 Caso de estudio.....	39
2.1.1 Ecuador.....	39
2.1.2 Cangonamá.....	43
2.1.2.1 Topografía.....	44
2.1.2.2 Usos del suelo y cobertura.....	44
2.1.2.3 Población.....	45
2.1.2.4 Salud.....	46
2.1.2.5 Educación.....	46
2.1.2.6 Agua potable.....	46
2.1.2.7 Saneamiento.....	46
2.1.2.8 Residuos sólidos.....	47
2.1.2.9 Aspectos Socio económicos.....	47
2.2 Fundamento de parámetros de calidad de agua de consumo humano.....	48

2.2.1	Parámetros físicos.	48
2.2.2	Parámetros químicos.	49
2.2.3	Parámetros microbiológicos.	52
3.	OBJETIVO	55
3.1	Objetivo.	55
3.2	Objetivos específicos.	56
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.	57
4.1	Metodología.	57
4.1.1	Socialización del proyecto a la comunidad.	57
4.1.1.1	Presentación del proyecto	57
4.1.1.2	Designación de técnicos locales.	57
4.1.2	Estudio epidemiológico.	58
4.1.2.1	Levantamiento de información sanitaria de la población de Cangonamá. .	58
4.1.2.2	Análisis de estadísticas sanitarias sobre la población: Distintas fuentes. ...	58
4.1.3	Reconocimiento de la zona de la zona de influencia.	58
4.1.3.1	Características generales de la población.	59
4.1.3.2	Evaluación del sistema de agua existente.	59
4.1.3.3	Selección de la ubicación de la instalación:	59
4.1.4	Estudio de la cantidad y calidad de agua de la zona de influencia.	60
4.1.4.1	Cantidad de agua.	60
4.1.4.2	Calidad de agua.	61
4.1.5	Selección de técnica de potabilización.	61
4.1.6	Validación de la técnica seleccionada.	63
4.1.7	Diseño y construcción de la instalación	64
4.1.7.1	Formación de técnicos locales.	64
4.1.7.2	Diseño de la instalación.	64
4.1.8	Ubicación y ensayos de puesta en marcha.	65
4.1.9	Control y seguimiento de operación.	65
4.1.9.1	Elaboración de manual de operación y mantenimiento.	65
4.1.9.2	Control y seguimiento de la calidad del agua	66
4.1.10	Meta Sanitaria en la población.	68
5.	RESULTADOS.	71
5.1	O.E. 1: SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO	71

5.1.1	Presentación	71
5.1.2	Designación de técnicos locales.....	73
5.2	O.E.2: ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO.....	74
5.2.1	Información sanitaria de la población.....	74
5.2.2	Análisis de estadísticas sanitarias.....	75
5.3	O.E.3: RECONOCIMIENTO DE LA ZONA.....	78
5.3.1	Características generales de la población.....	78
5.3.2	Características del sistema de abastecimiento de agua.....	80
5.3.2.1	Captaciones.....	81
5.3.2.2	Desarenador	83
5.3.2.3	Conducción.....	84
5.3.2.4	Planta de tratamiento.....	84
5.3.2.5	Red de distribución.....	86
5.3.3	Ubicación de la instalación	88
5.4	O.E.4: CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA DISPONIBLE.....	89
5.4.1	Cantidad de agua	89
5.4.2	Calidad de agua.....	91
5.5	O.E.5: SELECCIÓN DE TÉCNICA DE POTABILIZACIÓN.....	97
5.6	O.E.6: VALIDACIÓN DE TÉCNICA DE POTABILIZACIÓN.....	99
5.7	O.E.7: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	102
5.7.1	Formación de técnicos locales.....	102
5.7.2	Diseño de la instalación a construir.....	104
5.8	O.E.8: UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	112
5.9	O.E.9: CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LA POTABILIZADORA.....	113
5.10	O.E.10: CONTROL Y SEGUIMIENTO DE EOH.....	114
6.	ANALISIS DE RESULTADOS	117
7.	CONCLUSIONES.....	123
8.	INDICE DE ACRÓNIMOS.....	125
9.	BIBLIOGRAFIA.....	127
	ÍNDICE DE ANEXOS.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS**Pág.**

Figura 1. 1. Tasa de pobreza y de mortalidad infantil en niños menores de cinco años	2
Figura 1. 2 Gráficos de progreso en consecución de objetivos	3
Figura 1. 3 Esquema de sistema de tratamiento convencional.....	6
Figura 1. 4. Tipos de pozos	9
Figura 1. 5 Esquema de tratamiento de aguas de pozo o manantial.....	11
Figura 1. 6 Esquema de flujo en un filtro.....	13
Figura 1. 7 Esquema de tipo de filtros (a) Filtro lento, (b) Filtro rápido, (c) Filtro de presión	15
Figura 1. 8 Desinfección solar método SODIS	16
Figura 1.9 Comparación del espectro de acción de la inactivación del E. Coli con el de absorción del ácido nucleico	18
Figura 1. 10 Puntos de aplicación del ozono en la potabilización del agua.....	22
Figura 1. 11 Mecanismo Indirecto de la Fotocatálisis Heterogénea.	24
Figura 1. 12 Planta piloto de oxidación avanzada.....	25
Figura 1. 13 Clasificación de tecnología de membranas por tamaño de poro	26
Figura 2. 1 Geografía de Ecuador y sus regiones naturales	39
Figura 2. 2 Ubicación geográfica de Cangonamá, provincia de Loja, Cantón Paltas.....	43
Figura 2. 3 Clasificación de contenido de sólidos.....	49
Figura 4. 1 Esquema de metodología de trabajo.	70
Figura 5. 1 Socialización del proyecto a la comunidad de Cangonamá-Ecuador	71
Figura 5. 2 Instalaciones mejoradas del sector La Cruz (tanque de almacenamiento)	73
Figura 5. 3 Panorámica del centro poblado y área circundante de Cangonamá – Ecuador	79
Figura 5. 4 Área de emplazamiento de tanque recolector /desarenador de Cangonamá – Ecuador	79
Figura 5. 5. Diagrama de bloques de sistema de agua existente.	81
Figura 5. 6 Fuentes de agua cruda y unidades de captación	82
Figura 5. 7 Esquema de ubicación de captaciones del sistema	83
Figura 5. 8 Tanque recolector y desarenador	83
Figura 5. 9 Planta de tanque recolector y desarenador.....	84

Figura 5. 10 Filtro lento descendente	85
Figura 5. 11 Equipo Clorid – Desinfección.....	86
Figura 5. 12 Tanque de almacenamiento	86
Figura 5. 13 Esquema de red de distribución existente.....	87
Figura 5. 14 Simulación de red de distribución en EPANET	88
Figura 5. 15 Aforo de fuentes de abastecimiento.....	89
Figura 5. 16 Muestras de agua para analíticas	92
Figura 5. 17 Diagrama de flujo de planta de ensayo.....	100
Figura 5. 18 Esquema de proceso de filtración en membranas.....	101
Figura 5. 19 Placas Petri: (a) presencia de Escherichia Coli (b) Estreptococos (c) permeado	102
Figura 5. 20 Diagrama de bloques de proceso de tratamiento de la unidad de potabilización	107
Figura 5. 21 Esquema de características de membrana UF HYDRAcap 60-LD.....	108
Figura 5. 22 Esquema de funcionamiento de planta potabilizadora.	110
Figura 5. 23 Ubicación sector La Cruz. Tanque de almacenamiento	112
Figura 5. 24 Formato de control de calidad de agua de distribución.	114
Figura 5. 25 Formato para control de enfermedades de origen hídrico	115
Figura 5. 26 Formato de seguimiento de incidencia de inasistencia a planteles educativos por EOH.....	116

ÍNDICE DE GRÁFICOS**Pág.**

Grafico 2. 1 Extracción de agua por sectores. Total 9918 Km ³	42
Grafico 2. 2 Porcentajes de uso del agua superficial.....	42
Grafico 2. 3 Tipo de eliminación de excretas.....	47
Grafico 2. 4 Eliminación de residuos sólidos.....	47
Grafico 5. 1 Perfil epidemiológico de Cangonamá – Ecuador.....	75
Grafico 5. 2 Enfermedades de origen hídrico de la población de Cangonamá	76
Grafico 5. 3 Porcentaje de inasistencia escolar por enfermedades de O.H. (2013-2014).....	77
Grafico 5 4 Porcentaje de inasistencia escolar por enfermedades de O.H. (2014-2015).....	77

<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	Pág.
Tabla 1. 1 Procesos de purificación de agua	7
Tabla 1. 2 Análisis de agua para pozos de uso doméstico	10
Tabla 1. 3 Variables principales para el diseño de filtros	13
Tabla 1. 4 Principales características de filtros.....	14
Tabla 1. 5 Dosis UV en MWs/cm ² para una población microbiana en 1 Log (90%) y 2Log (99%)	19
Tabla 1. 6 Principales aplicaciones del ozono en el tratamiento de agua.	23
Tabla 1. 7 Comparación de tecnología de ultrafiltración con algunos procesos de tratamiento	28
Tabla 2. 1. Usos del suelo Vs cubierta vegetal.....	44
Tabla 2. 2Usos del suelo	45
Tabla 2. 3 Microcuencas influyentes en Cangonamá.....	45
Tabla 4. 1 Parámetros I	66
Tabla 4. 2 Parámetros II	66
Tabla 4. 3 Parámetros III.....	66
Tabla 4. 4 Concentración de fluoruros (mg/L).....	67
Tabla 4. 5 Parámetros IV.....	67
Tabla 4. 6 Parámetros V.....	68
Tabla 5. 1 Resultados de encuesta socio económica-sanitaria.	72
Tabla 5. 2 Principales causas de morbilidad en la parroquia Cangonamá	74
Tabla 5. 3. Patologías atendidas en Cangonamá	75
Tabla 5. 4 Ausentismo a clases por enfermedad	76
Tabla 5. 5Ausentismo a clases por enfermedad	77
Tabla 5. 6 Características generales de la población.....	78
Tabla 5. 7 Coordenadas de ubicación geográfica de fuentes de agua cruda	82
Tabla 5. 8 Evaluación de emplazamiento.....	89
Tabla 5. 9 Aforo de fuente en invierno	90
Tabla 5. 10 Aforo de fuente en verano.....	90

Tabla 5. 11 Resumen de análisis bacteriológico. (AQUA TEST)/2012	91
Tabla 5. 12 Resumen de análisis físico – químico Bacteriológico (Verano 1)	93
Tabla 5.13. Resumen de análisis físico – químico Bacteriológico (Verano 2)	94
Tabla 5.14 Resumen de análisis físico – químico Bacteriológico (Invierno 1)	95
Tabla 5. 15 Resultados de análisis de contaminación por metales pesados.....	96
Tabla 5. 16 Criterios de selección tipo de tratamiento.....	98
Tabla 5. 17 Resultados de analíticas de agua de alimentación.....	104
Tabla 5. 18 Resultados de bases de diseño.....	105

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 La problemática mundial

Siendo el agua esencial para la vida y desarrollo humano en las áreas económicas y de la sociedad, se analiza la problemática que se presenta en la actualidad con los recursos hídricos, específicamente el agua dulce.

“La escasez de agua afecta ya a todos los continentes. Alrededor de 1,2 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial, viven en áreas de escasez física, y 500 millones de personas se acercan a esta situación. Otros 1600 millones de personas, casi una cuarta parte de la población mundial, se enfrentan a la **escasez económica de agua** (donde los países carecen de la infraestructura necesaria para tomar agua de ríos y acuíferos).” (UNDESA, 2015 <http://www.un.org/>).

El reto es satisfacer las demandas de una población mundial de más 700 millones de habitantes, proyección realizada por la ONU, con la disponibilidad de recursos cada vez más escasos a causa de la sobreexplotación de los recursos hídricos disponibles, aumento de las actividades industriales, agricultura, ganadería, turismo; entre los más relevantes; especialmente en los países desarrollados. Estas actividades están poco reguladas en los países en vías de desarrollo y agravan este problema.

La demanda de agua dulce y energía continuarán aumentando significativamente en las próximas décadas para satisfacer las necesidades de una población y economías en aumento, el cambio estilos de vida y la evolución de los patrones de consumo, las presiones existentes sobre los recursos naturales limitados y en los ecosistemas se amplificarán en gran medida. Los desafíos resultantes serán más agudos en los países en proceso de transformación acelerada y el crecimiento económico rápido, o aquellos en los que una gran segmento de la población carece de acceso a servicios modernos de la demanda mundial de agua (en términos de extracción de agua) se prevé que aumente un 55% en 2050, principalmente debido a de las crecientes demandas de la industria manufacturera (400%), térmica la generación de electricidad (140%) y el uso doméstico (130%). Como una disponibilidad resultado, el agua dulce será cada vez más tensa durante este período de tiempo, y más de 40% de la población mundial vivirán en zonas de estrés hídrico hasta el año 2050.

El agua tiene impactos importantes sobre el alivio de la pobreza, tanto directamente, como en la consecución de uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio que depende de importantes mejoras en el acceso a fuentes de agua, saneamiento, electricidad y energía, e indirectamente, como el agua y la energía pueden ser restricciones vinculantes sobre el crecimiento económico, la última esperanza para la reducción de la pobreza generalizada.

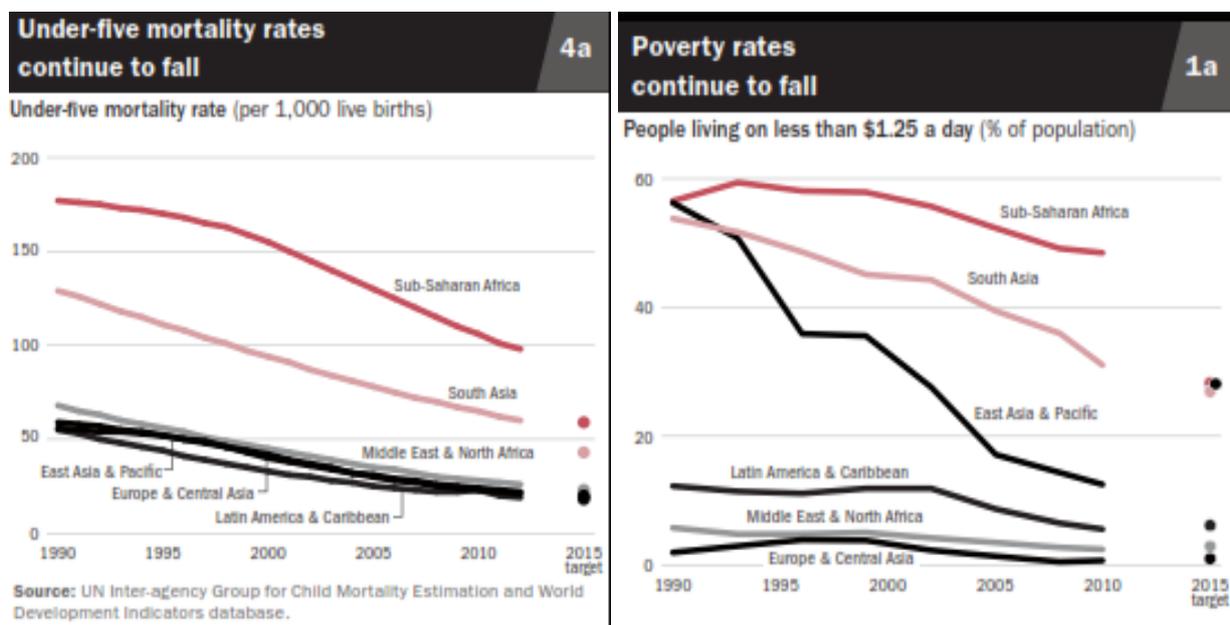


Figura 1. 1. Tasa de pobreza y de mortalidad infantil en niños menores de cinco años a nivel mundial
Fuente: World development 2014.

1.2 Status del agua en Latinoamérica.

El objetivo número 7 de los ocho planteados por las Naciones Unidas en el año 2000, denominados Objetivos del Milenio (ODM), “**Garantizar el sustento del medio ambiente**” una de las 4 metas que se plantean para su consecución es “Reducir a la mitad, para el 2015 la proporción de personas sin acceso sostenible al **agua potable** y a servicios básicos de saneamiento”; se ha convertido en una meta utópica de cumplir y las estadísticas nos muestran que este objetivo se ha cumplido parcialmente, pues no se ha cumplido con el objetivo en los países de África y los países emergentes de América Latina y el Caribe.

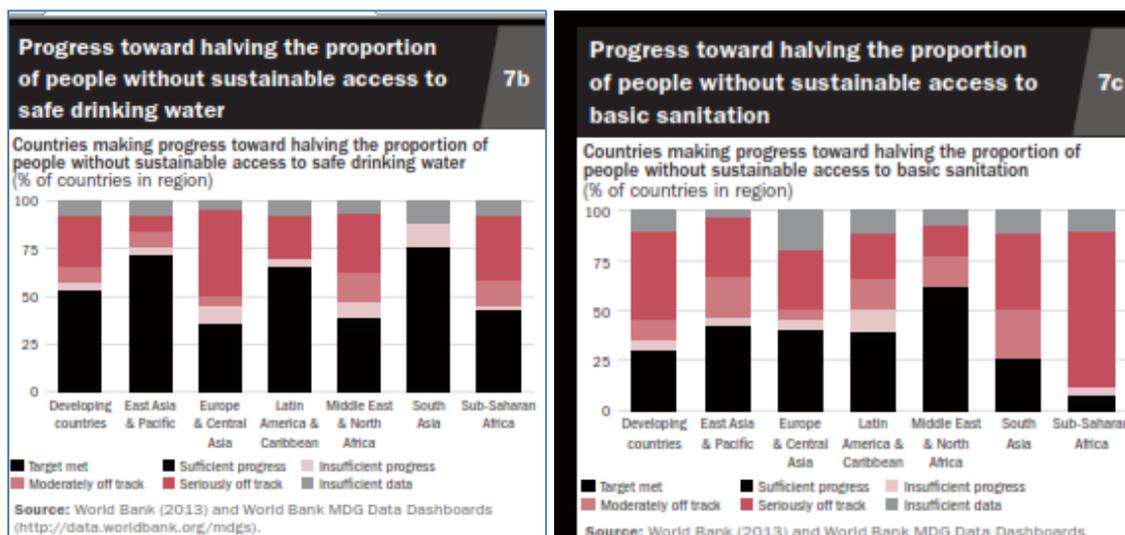


Figura 1. 2 Gráficos de progreso en consecución de objetivos

Fuente: World development 2014.

Como se puede observar en la figura 1.2 de las gráficas realizadas por el banco mundial el progreso hacia la consecución del objetivo No 7 de reducir a la mitad la población sin acceso a servicios de agua segura o mejorada se en los países de Latinoamérica y el Caribe, puede decirse que se ha cumplido en esta meta; más, en la gráfica de acceso de servicios básicos de saneamiento se quedan por debajo del 50%, por tanto no se ha cumplido con el ODM 7. Observamos además que existe una brecha muy grande comparada con los países de Sud Asia y Sud Saharianos.

Centrando nuestra atención en los países Latinoamericanos la Corporación Andina de Fomento (CAF, 2012), menciona que “Estimaciones recientes nos indican que la universalización de los servicios de agua potable y saneamiento en las zonas urbanas de América Latina podría alcanzarse en el marco de los próximos 20 años con inversiones anuales equivalentes a 0,3% del Producto Interno Bruto regional, lo que supondría casi triplicar el nivel de inversión actual. Sin embargo, más allá de las inversiones para expandir coberturas, todos los países de la región deben mejorar substancialmente la calidad de la prestación de los servicios porque la baja calidad afecta desproporcionadamente a la población más carente”.

La publicación anual del Banco mundial en su revista World Development Indicators 2014 proporciona indicadores de desarrollo en el mundo y pone a conocimiento que dentro del cumplimiento de los ODM, el objetivo 4. **Reducción de la mortalidad infantil**, una de las

causas de muerte de los niños menores de 5 años es la diarrea en un 11% originada por la falta de saneamiento, esto es servicios de agua potable y eliminación de excretas principalmente (The World Bank, 2014). En la misma publicación se informa que en los países de América Latina y el Caribe, los porcentajes de las poblaciones urbanas y rurales con acceso a los servicios de saneamiento se encuentran en el 82% y 60% respectivamente, resultando un margen de 40 % de poblaciones de las comunidades rurales sin acceso a los mismos. Haciendo mención de que existen muchas comunidades en las que existe el servicio de agua “tratada”, no potable, pues no se han implementado todos los procesos de potabilización en el tratamiento del agua para consumo humano, siendo en resumen la mala calidad de agua de consumo una de las razones de enfermedades de origen hídrico que derivan en problemas más graves de salud y hasta la muerte siendo esto prevenible o evitable de tomarse las medidas correctas. La tasa de mortalidad infantil (niños menores de 5 años) en el Ecuador se ha reducido en los siguientes valores en 1990 existía una tasa de 56 por cada 1000 niños nacidos al 2012 la tasa ha sido de 23 por cada 1000 niños nacidos, en porcentaje la disminución de la tasa de mortalidad es del 41%. (The World Bank, 2014)

El acceso a fuentes mejoradas de agua en el Ecuador en el sector rural es del 75% y en el sector urbano es del 92% (The World Bank, 2014)

1.3 Situación del agua en el Ecuador.

Reduciendo el campo de análisis de esta problemática en el Ecuador; los datos que se han publicado por parte de los organismos gubernamentales nos dan una idea clara de los índices de pobreza que existe en este país en vías de desarrollo. Hacemos mención a estos ya que uno de los parámetros para la ubicación del umbral de pobreza es la falta de los servicios básicos en sus viviendas. Es así que el Instituto Ecuatoriano de estadísticas y Censos (INEC) en el mes de marzo del 2012 publica que el umbral de pobreza en el Ecuador se ubica en el 16% del total de la población, es decir un 16% de la población de los ecuatorianos se encuentra o vive en condiciones de pobreza y extrema pobreza, cuyo ingreso es menor o igual a \$72,9 al mes o \$ 2,4 diarios.

Se están realizando esfuerzos gubernamentales encaminados a la reducción de la brecha que existe en la dotación de servicios entre el sector urbano y rural, más esto aún es un objetivo; en la publicación “ PROSANEAMIENTO” , documento gubernamental publicado en abril del 2014, se pueden observar datos de cobertura de saneamiento y agua potable en el Ecuador y en el mismo se informa que a nivel urbano el 72% de las viviendas en el Ecuador dispone de

agua a través de la red pública, y el 46% a nivel rural la reciben el agua por red pública, que no implica que sea un agua de calidad. Estos valores porcentuales globalizados no reflejan la realidad de cobertura entre regiones o provincias pues difieren mucho entre una y otra provincia con realidades distintas.

Es así que para cumplir con el Objetivo 3 del Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV) del Gobierno del Ecuador: “Mejorar la calidad de vida de la población”, se ha fijado como meta alcanzar una cobertura del 95% en agua potable y saneamiento para el año 2017, requiriendo inversiones de más de 5.000 millones de USD. Dinero proveniente de varias fuentes de financiamiento como lo son el Banco Interamericano de desarrollo (BID), financiamiento del Gobierno Chino y otras entidades internacionales.

En este contexto, el Gobierno del Ecuador en el presente año 2015 invertirá 201.600.00 USD para obras de alcantarillado y agua potable principalmente, en poblaciones consideradas como intermedias es decir con una población de 10 000 a 100 000 habitantes, lo cual deja fuera de este plan a las comunidades con poblaciones inferiores que son las de necesidades más graves y acusadas.

En términos generales la falta de inversión y desatención de parte de las entidades gubernamentales que les compete estos aspectos, así como la falta recursos económicos han generado que a la fecha los servicios básicos de las poblaciones en particular de las rurales, no se hayan satisfecho o cumplido, que en términos del método de caracterización de una población como lo es el de las necesidades básicas insatisfechas (NBI), coloca a un alto porcentaje de poblaciones o ciudades del Ecuador en la ubicación o clasificación con población en situaciones de pobreza o extrema pobreza.

1.4 Métodos de potabilización.

El agua para ser consumida por el hombre debe estar exenta de microorganismos capaces de provocar enfermedades, y de sustancias minerales y orgánicas que puedan ocasionar efectos fisiológicos perjudiciales. Por lo tanto el agua cruda para tener la calidad de agua “potable” debe ser sometida a una serie de procedimientos, en dependencia de la calidad del agua de fuente, y para su consumo debe estar exenta de color, olor y sabor básicamente a más de los ya anteriormente señalados.

Existen varios procedimientos de potabilización de agua, más potabilizar el agua tiene por objetivo eliminar todo contenido de sólidos capaces de producir color y en ocasiones sabor al agua, eliminar color y principalmente eliminar toda clase de organismos patógenos.

El tipo o calidad de agua de fuente determina el tipo de tratamiento a utilizar, además se debe considerar la disponibilidad de recursos económicos y tecnologías existentes y aplicables en el medio.

1.4.1 Tratamiento Convencional agua superficial.

En función de la calidad de agua, una planta de tratamiento de agua básica o convencional se encuentra constituida por las siguientes unidades, que se muestra en la figura 1.3.

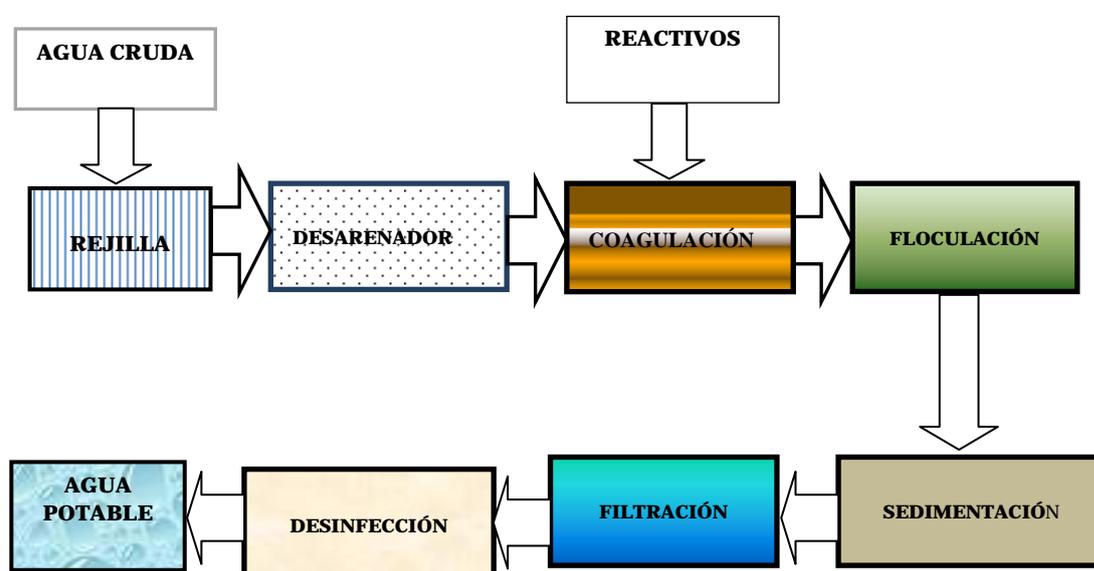


Figura 1. 3 Esquema de sistema de tratamiento convencional

Fuente: Elaboración Propia

No existe una norma o regla que nos indique las unidades de las que debe estar constituida una planta de tratamiento de agua para consumo, por lo cual se ha formulado las unidades señaladas como básicas y se determinan otros requerimientos de tratamiento, de acuerdo a la calidad de agua cruda, en la tabla 1. 1 se resumen los procesos que se pueden implementar:

Tabla 1. 1 Procesos de purificación de agua
Fuente: Romero Rojas Jairo, 2006

TRATAMIENTO PRELIMINAR	
Proceso	Propósito
Cribado	Remoción de desechos grandes que pueden obstruir o dañar los equipos de la planta
Pretratamiento químico	Remoción eventual de algas y otros elementos acuáticos que causan olor y color
Presedimentación	Remoción de grava, arena limo y otros materiales sedimentables
Aforo	Medida del agua cruda por tratar
TRATAMIENTO PRINCIPAL	
Aireación	Remoción de olores, gases disueltos, adición de oxígeno para mejorar sabor
Coagulación/ Floculación	Conversión de sólidos no sedimentables en sedimentables.
Sedimentación	Remoción de sólidos sedimentables
Ablandamiento	Remoción de dureza
Filtración	Remoción de sólidos finos, floc en suspensión y la mayor parte de microorganismos
Adsorción	Remoción de sustancias orgánicas y color
Estabilización	Prevención de incrustaciones y corrosión
Floración	Prevención de caries dental
Desinfección	Exterminio de organismos patógenos

Los procesos señalados no siempre se aplican en las plantas potabilizadoras de los diferentes sistemas, pues en dependencia del origen del agua, factores económicos y sociales determinarán la implementación de los mismos.

1.4.2 Tratamiento de agua de pozo o manantial.

Las fuentes de agua de vertiente o pozo, son una alternativa cuando no existen cursos de agua superficiales cercanos a las poblaciones a servir, como en el presente caso de estudio, en el cual las fuentes de captación son manantiales.

Como se conoce, la mayor parte del agua subterránea es extraída a la superficie a través de bombeo del pozo, existiendo varios tipos: de abastecimiento público, para irrigación, pozos de abastecimiento agrícola, de monitoreo y pozos domésticos. Los pozos artesianos fluyen sin bombeo.

La calidad del agua subterránea está relacionada a varios factores, tales como la geología, el clima y el uso del suelo. La presencia de químicos en este tipo de aguas se debe a la disolución de las rocas, o por degradación de plantas y suelo. Puede contaminarse por actividades antropogénicas, que pueden aumentar la concentración de sustancias que se encuentran en forma natural, como las sales, minerales y nitratos. La construcción de un pozo cerca de una fuente contaminante puede afectar la calidad de la misma.

Otros contaminantes, como los plaguicidas y compuestos orgánicos volátiles, no se encuentran en forma natural en el medio ambiente. Estas sustancias pueden entrar en contacto con el agua subterránea a través de derrames, procesos de irrigación, percolación de aguas residuales, pozos sépticos, ganadería, filtración de depósitos subterráneos y otras fuentes de contaminación.

Como ya se ha mencionado, pueden existir una diversa gama de contaminantes en este tipo de aguas, pero los que generalmente se observan son los siguientes:

- Microbios (bacterias y virus) pueden provenir de drenajes de fosas sépticas, corrales de animales, y fauna.
- Minerales; estos incluyen sales, nitratos y metales, que pueden provenir de actividades humanas realizadas en la superficie del suelo o bien por reacciones naturales del mismo.
- Pesticidas; provenientes de actividades agrícolas, drenaje pluvial, y pesticidas de uso residencial.
- Compuestos químicos orgánicos provenientes de la industria, como las gasolineras, el agro, flujos pluviales y sistemas sépticos.

Los pozos pueden ser perforados a diferentes profundidades, y pueden ser afectados por diferentes fuentes de contaminación, como se ilustra en esta figura.

- **A:** Pozos someros o poco profundos, capturan el agua de acuíferos cercanos al agua superficial. Algunos pozos domésticos son poco profundos.
- **B:** Pozos intermedios, pueden obtener su agua de acuíferos profundos o someros. Pueden ser pozos domésticos, agrícolas o industriales
- **C:** Pozos profundos provenientes de acuíferos profundos, estos incluyen pozos de abastecimiento público, agrícola e industrial.

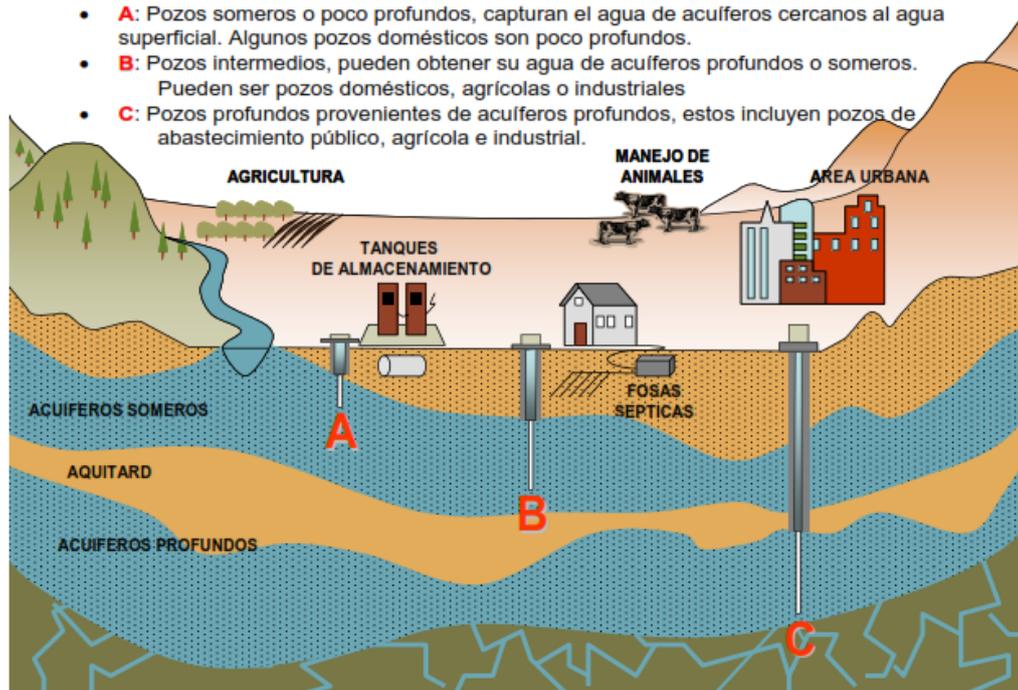


Figura 1. 4. Tipos de pozos

Fuente: http://www.waterboards.ca.gov/gama/docs/wellowner_guide_sp.pdf

En la Fig. 1. 4 se observa los diferentes tipos de pozos que se pueden construir.

El agua de pozo para consumo humano debe cumplir con las normas establecidas en cada país y se debe realizar un control de calidad. El Consejo Estatal Para el Control de los Recursos del Agua Sección Protección de Aguas Subterráneas (GAMA -California-USA) proporciona una tabla de parámetros que recomienda analizar y, la frecuencia con la que deben ejecutarse, puede observarse en la Tabla 1.2.

Tabla 1. 2 Análisis de agua para pozos de uso doméstico

Fuente: Adaptado de Programa de Evaluación de monitoreo ambiental en Aguas Subterráneas (GAMA)

Análisis recomendado	Frecuencia
Bacterias Coliformes	1 vez por año
Nitratos (NO ₃)	Anualmente
Conductividad Eléctrica	Anualmente
MINERALES	
Aluminio (Al) Arsénico (As) Bario (Ba) Cadmio (Cd) Cromo (Cr) Flúor (F) Hierro (Fe) Plomo(Pb) Manganeso (Mn) Mercurio (Hg) Selenio(Se) Plata (Ag)	5 – 10 años, o bien si se producen cambios en: Conductividad eléctrica Color, olor, sabor Uso del suelo de la zona de recarga.
Compuestos Orgánicos Volátiles	5 – 10 años, o bien si se producen cambios en: Conductividad eléctrica Color, olor, sabor Uso del suelo de la zona de recarga.

Cuando el agua subterránea aflora a la superficie, se le denominan Manantiales y como ya se ha mencionado, su calidad está en dependencia de los estratos que atraviesa en su recorrido y posibles fuentes de contaminación, pero por lo general es buena. Más su composición varía según la naturaleza del suelo o la roca de su lecho. El caudal de las vertientes o manantiales depende de la estación del año y del volumen de las precipitaciones. Los manantiales de filtración se secan a menudo en periodos secos o de escasa precipitación; sin embargo, en este caso el caudal aunque disminuye en la época de estiaje, es constante.

Se debe considerar que no existe agua que sea completamente pura, a medida que el agua fluye por las diferentes rutas se acumula en cuerpos de agua y se infiltra en las capas del suelo, va disolviendo o absorbiendo los minerales o las sustancias que entran en contacto con ella. Algunas de ellas son perjudiciales para la salud, pero a ciertos niveles afectan el sabor.

En principio, los agentes contaminantes involucrados en la contaminación del agua subterránea no son distintos de los que ocasionan la del agua superficial. a saber: sales normales (Cl⁻, SO₄⁻, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺), nitratos, materia orgánica (biodegradable o no),

compuestos tóxicos orgánicos o inorgánicos, metales pesados, microorganismos patógenos, elementos radioactivos, etc.

El método de potabilización para este tipo de aguas de manantial depende de la calidad de agua de fuente y su origen, además de otros factores de orden técnico, económico y social.

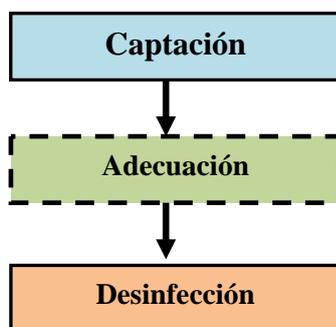


Figura 1.5 Esquema de tratamiento de aguas de pozo o manantial
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1.5 se presenta un esquema de la potabilización de aguas de origen subterráneo, en la fase de adecuación, se deberán implementar los procesos en base a la calidad de agua resultante de las analíticas, y a continuación la desinfección

1.5 Otros métodos de potabilización

Existen variaciones de los métodos de potabilización, básicamente en la forma de desinfección, las diferentes unidades del proceso, como ya se ha mencionado, están en dependencia de la calidad de agua de fuente. Además en los países emergentes o en vías de desarrollo como el Ecuador se practican otros métodos de “potabilización” o mejoramiento del agua de consumo, que son de bajo costo y eficientes, en pequeña escala. A continuación se describen algunos de ellos.

1.5.1 Desinfección por Calor

O también denominada por ebullición, es el método más antiguo y universal a pequeña escala. El método más corriente de la desinfección de los suministros de agua a nivel domiciliario es hervir el agua. Se trata de un método muy eficaz, ya que la exposición de los organismos patógenos transmitidos por el agua más común (bacterias, esporas, virus y quistes) a temperaturas del agua de 90° a 100° centígrados durante un corto tiempo los matará o inactivará.

La desventaja de este método es que requiere el uso de combustibles fósiles u otro combustible como p.ej. Leña. La desinfección se da en el instante en que se produce la ebullición y es susceptible a re-contaminación. No hay ninguna protección residual, lo que significa que, después de hervirse el agua, habrá que tenerse mucho cuidado con la recontaminación causada por las manos, los utensilios, los recipientes de almacenamiento contaminados y hasta los contaminantes transportados por el aire.

1.5.2 Filtración.

La producción de agua pura y cristalina es prerequisite para el suministro de agua segura y requiere de la filtración. Para lograr la clarificación final se usa filtración a través de medios porosos, por lo general son arenas o arena y antracita.

En la filtración se remueve material suspendido, medido en la práctica como turbiedad, compuestos de floc, suelo, materiales oxidados y microorganismos.

La filtración depende de una combinación compleja de mecanismos físicos y químicos; en aguas de consumo, la adsorción cumple el papel más importante, ya que a medida que el agua pasa a través del lecho del filtro las partículas suspendidas hacen contacto y son adsorbidas por la superficie de los granos del medio o sobre material previamente depositado. Las fuerzas que atraen y retienen las partículas sobre los granos son las mismas que aparecen en la coagulación y en la floculación, por lo que es muy importante obtener una buena coagulación antes de la filtración.

La filtración a través de medios porosos se utiliza para eliminar la turbiedad, los quistes y los protozoos, pero no es eficaz para suprimir las bacterias o los virus. Es un método económico que abarca un amplio espectro de opciones, desde los filtros de materiales cerámicos porosos a los textiles, los de gravas o los de arena.

En la tabla 1. 3 se observa las características de las variables principales en el diseño de filtros.

Tabla 1. 3 Variables principales para el diseño de filtros

Fuente: Romero Rojas Jairo, 2006

Variable	Significado
Características del medio filtrante Tamaño de grano Distribución granulométrica Forma, densidad y composición del grano. Carga del medio	Afecta la eficiencia de remoción de partículas y el incremento en pérdida de carga
Porosidad del lecho filtrante	Determina la cantidad de sólidos que pueden almacenarse en el filtro
Profundidad del lecho filtrante	Afecta la pérdida de carga y la duración de la carrera
Tasa de filtración	Determina el área requerida y la pérdida de carga. Afecta la cantidad del efluente
Pérdida de carga disponible	Variable de diseño
Características del efluente Concentración de sólidos suspendidos Tamaño y distribución del floc. Resistencia del floc Carga eléctrica del floc Propiedades del fluido	Afectan las características de remoción del filtro

Para el diseño hidráulico, existen muchas ecuaciones para determinar la carga en un filtro limpio. Entre las más conocidas están las de Carmen Kozeny, Fair y Hatch, Rose y Hazen.

El flujo de agua a través de un filtro, a las tasas empleadas en tratamiento de agua, obedece la ley de Darcy.

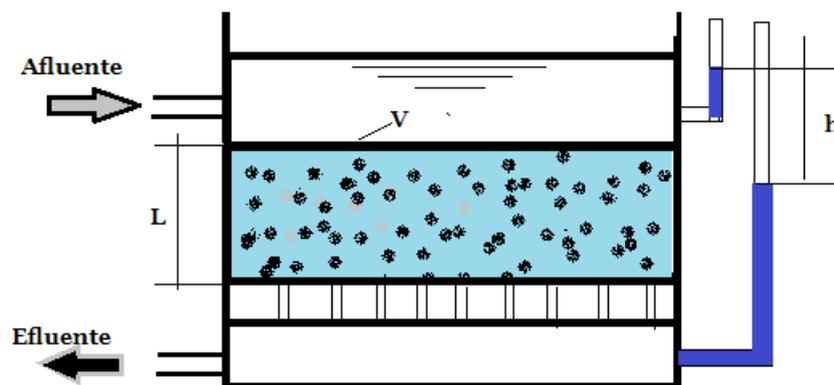


Figura 1. 6 Esquema de flujo en un filtro

Fuente: Elaboración propia

$$v = \frac{k h}{L}$$

- H pérdida de carga en el lecho (m)
- L profundidad de lecho (m)
- V velocidad superficial, (m/s)
- K coeficiente de permeabilidad,(m/s)

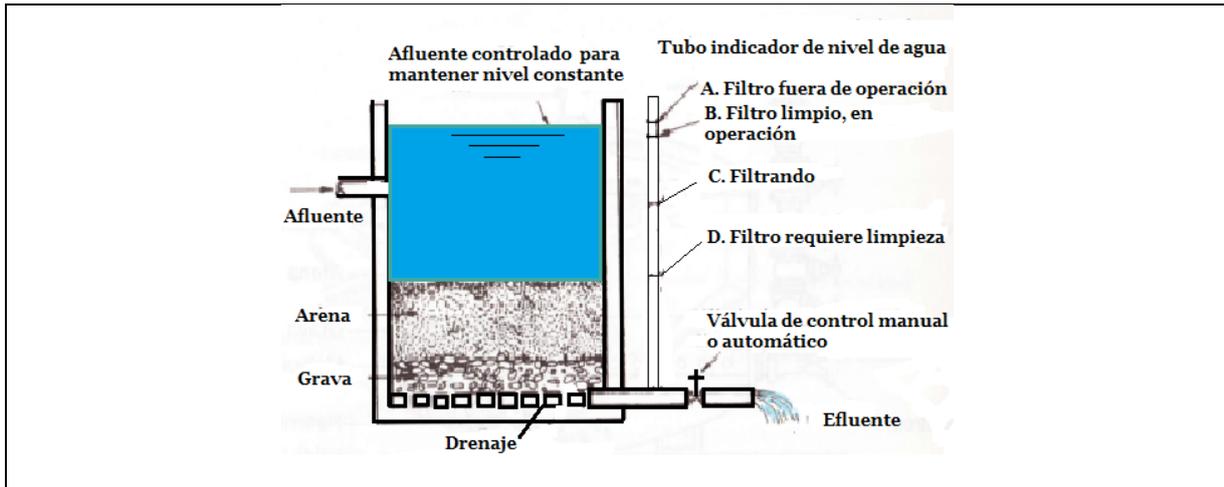
Por lo tanto la tasa de filtración es directamente proporcional a la energía disponible de filtración y a la permeabilidad del lecho, e inversamente proporcional al espesor del medio.

En cuanto a la tasa de filtración, esta define el tipo de filtro que se diseña. Los primeros filtros usados para tratamiento de aguas fueron los filtros lentos, los cuales utilizan una capa de arena fina de 1m, soportada sobre un lecho de grava de cerca de 0,30 m. Estos filtros se reemplazaron luego por los filtros rápidos, filtros de arena, generalmente con lavado ascensional, con tasa de filtración muy mayores y, por ende, con requerimiento de áreas mucho menores.

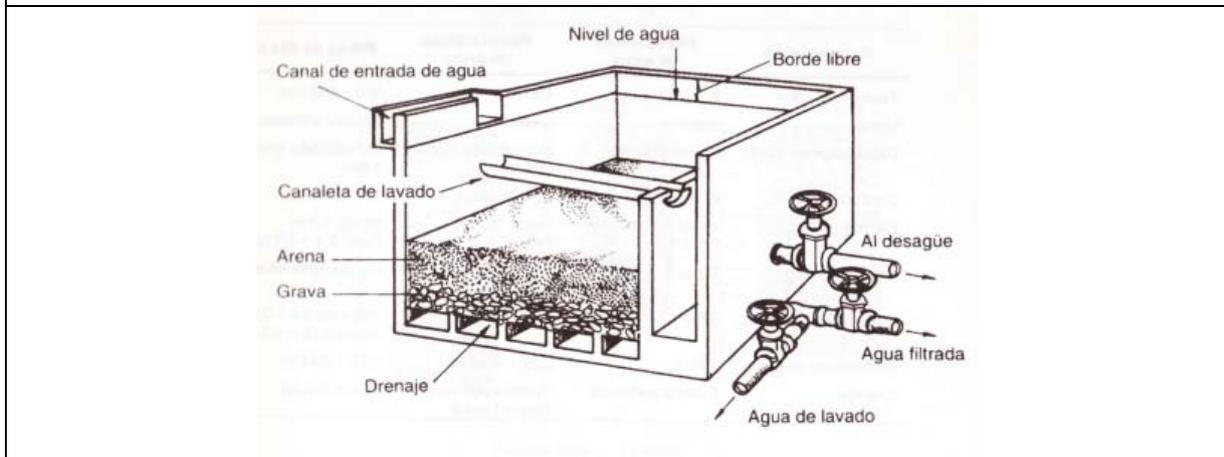
Posteriormente con el uso de medios filtrantes duales o lechos mezclados, se lograron diseños mucho más económicos en área, al usar tasas de filtración mayores a los de los filtros rápidos convencionales. (Romero J., 2006, p. 240)

Tabla 1. 4 Principales características de filtros.
Fuente: Romero Rojas J., 2006

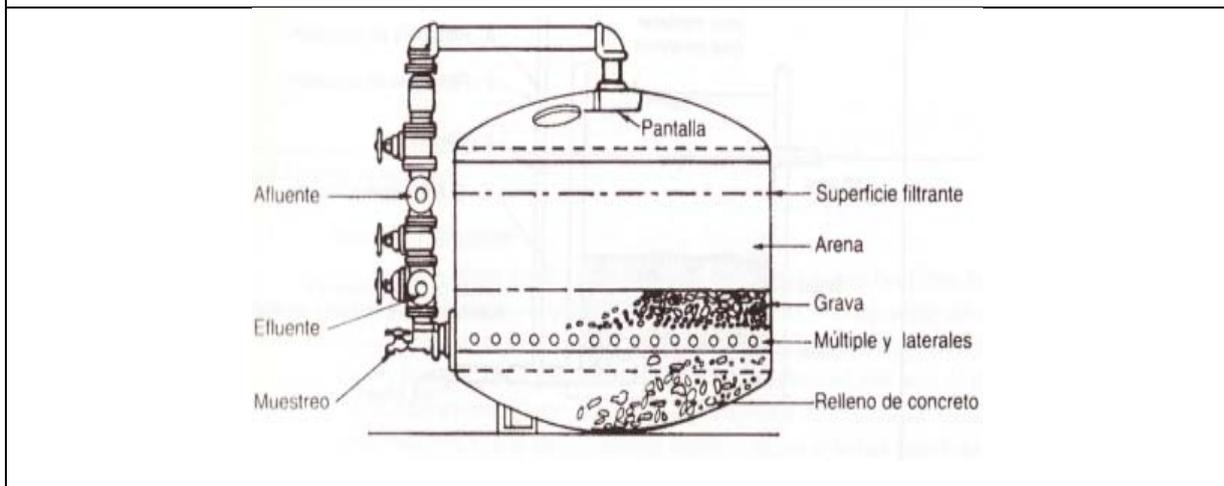
Características	Filtros lentos de arena	Filtros rápidos de arena	Filtros de alta tasa
Tasa de filtración	2-5 (< 12 m/d)	120 m/d	180 m/d
Medio	Arena	Arena	Arena y antracita
Distribución del medio	No estratificado	Estratificado fino a grueso	Estratificado grueso a fino
Duración carrera	20 – 60 días	12 – 36 horas	12 – 36 horas
Pérdida de carga	Inicial: 0.6 m Final 1.2 m	Inicial: 0.3 m Final 2.4 – 3.0 m	Inicial: 0.3 m Final 2.4 – 3.0 m
Agua de lavado	No usa	2 – 4% del agua filtrada	6% del agua filtrada
Profundidad del medio	0.6 a 1.0 m	0.60 a 0.75 m.	Antracita 0.4 – 0.6m Arena 0.15-0.30 m
Profundidad de grava	0.30 m	0.30 – 0.45 m	0.30 – 0.45 m
Drenaje	Tubería perforada	Tubería perforada Fondos falsos	Falsos fondos.
Tamaño de poro	>100µm	>100µm	>100µm



(a) Filtro lento



(a) Filtro lento



(c) Filtro de presión

Figura 1. 7 Esquema de tipo de filtros (a) Filtro lento, (b) Filtro rápido, (c) Filtro de presión
Fuente: Romero Rojas J., 2006

En la Figura 1.7, se puede observar los esquemas de los tipos de filtro a través de medios porosos, y su denominación según su tasa de filtración y funcionamiento, como ya se ha mencionado, se diferencian básicamente por el medio filtrante y la tasa de filtración.

1.5.3 SODIS

La desinfección solar del agua (SODIS) es una solución simple de bajo costo y ambientalmente sostenible para el tratamiento de agua para consumo humano a nivel doméstico, en lugares donde la población consume agua cruda y microbiológicamente contaminada. Usa la energía solar para destruir los microorganismos patógenos, es ideal para desinfectar pequeñas cantidades de agua con baja turbiedad

“Se basa en el uso de botellas de dos litros o bolsas plásticas de 3 litros que se llenan con agua y se exponen durante 6 horas a la radiación directa del sol. Con este tiempo de exposición se logran reducciones entre 92% y 99% de coliformes termotolerantes que son indicadores de contaminación fecal. Por tanto, y si se considera que el nivel de bacterias patógenas es mucho menor, se podría lograr una reducción hasta niveles significativos para la salud”. Solarte, et al. (1997)

Para lograr mejores resultados, es importante tomar en consideración que el agua sea de baja turbiedad.



Figura 1. 8 Desinfección solar método SODIS

Fuente: <http://agua-purificacion.blogspot.com.es/2009/11/desinfeccion-solar-metodo-sodis.html>

En la Fig. 1.8 se presenta un esquema del principio de acción del método. Una investigación realizada en Colombia expone que, luego de experimentaciones para medir la eficiencia del método SODIS en la remoción de la bacteria Gram negativa *Vibrio cholerae*, se establece que

este es sensible a las condiciones ambientales como el calor o aumento de temperatura, por el contrario para los coliformes termotolerantes es mucho más importante la radiación solar, pues resisten incrementos de temperatura de hasta 50°C. En el análisis de las correlaciones que existen entre la inactivación de los coliformes termotolerantes y los vibrios termotolerantes se obtiene valores entre 0.86 y 0.99. Lo cual permite evidenciar que el impacto del SODIS sobre los vibrios es mucho más alto que para los coliformes termotolerantes, demostrando el potencial de este método para el control para este tipo de infecciones. (Solarte et al 1997)

1.5.4 Luz ultravioleta (UV)

La luz ultravioleta (UV) presenta un método de desinfección alternativo al uso del cloro y el ozono en muchas aplicaciones de tratamiento tanto en agua potable como en aguas residuales. La UV brinda una desinfección efectiva sin generar subproductos de la desinfección problemáticos.

Hoy en día existen más de 2.000 instalaciones en Europa que usan UV para desinfectar agua potable y más de 1.000 instalaciones en los Estados Unidos (USEPA, 1996). La desinfección UV es popular en Nueva York donde se le usa para desinfectar más de 6,4% de todos los sistemas de aguas subterráneas.

Similarmente se reportó que 761 de los 10.700 sistemas públicos de abastecimiento de agua en Pensilvania usan UV sola o en combinación con cloro. En el Reino Unido, la desinfección UV mediante el uso de tecnologías de lámparas de baja y mediana presión se ha combinado con el uso del cloro en una planta de tratamiento de agua de 14.5 mgd en Londres para la desinfección primaria y el mantenimiento de un residual. (Wright, et al 1998).

Los microorganismos son inactivados por la luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos. La radiación UV es absorbida por los nucleótidos, los bloques constitutivos del ADN y ARN de la célula, según la longitud de onda, con los valores más altos cerca de 200 y 260 nm. La UV absorbida promueve la formación de enlaces entre nucleótidos adyacentes, con lo que se crean moléculas dobles o dímeros (Jagger, 1967) de citosina- citosina, citosina-tiamina, y dimerización del uracilo.

El espectro para la Escherichia Coli alcanza su punto máximo en las longitudes de onda cercanas a 265 nm y 250 nm. Es conveniente que la salida de la lámpara de baja presión a 254

nm coincide con el punto de máxima inactivación que se ubica cerca de 265 nm. (Wright, H. et al 1998)

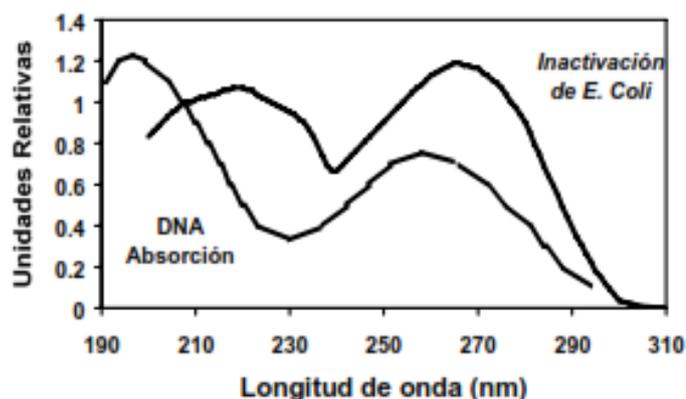


Figura 1. 9 Comparación del espectro de acción de la inactivación del E. Coli con el de absorción del ácido nucleico
Fuente: Wright, H. B., (1998)

En la Fig. 1.9 se puede observar la gráfica de variación de inactivación de Escherichia Coli con la longitud de onda de la radiación UV.

Las tasas de inactivación microbiana varían dependiendo de la especie de microbios, la población microbiana y la longitud de onda de la luz UV. En general, las bacterias son menos resistentes a la UV a 254 nm que los virus, los cuales a su vez son menos resistentes que las esporas de bacterias. Si bien los quistes y ovocitos de protozoarios son considerados como los patógenos microbianos más resistentes a UV a 254 nm, existe alguna evidencia de que los quistes son más susceptibles a la inactivación por la luz UV policromática de lámparas de mediana presión (Bukari et al. 1998). En general, las bacterias gram positivas son más resistentes que las gram negativas. La temperatura del agua y el pH tienen poco impacto en la tasa de inactivación de microbios por UV. Los efectos del pH observado en la inactivación del virus bacteriano MS-2 se han atribuido a una aglutinación de microorganismos inducida por el pH (Malley et al. 1995) y no a una variación de nivel de daño causado por la UV en el ADN. (Manukata et al. 1991).

Determinar la sensibilidad de cada bacteria patógena a la luz UV es difícil de cubrir, pero el mecanismo común de acción sobre ácidos nucleicos brinda un alto nivel de confianza de que la mayoría de patógenos bacterianos que pueden encontrarse en el agua potable requerirán dosis similares.

En la tabla 1.5 se detalla un grupo de bacterias causantes de enfermedades y sus variaciones de reducción.

Tabla 1. 5 Dosis UV en MWs/cm² para una población microbiana en 1 Log (90%) y 2Log (99%)
Fuente: Wright, H. B., (1998)

MICROORGANISMOS	REDUCCIÓN LOGARITMICA		MICROORGANISMOS	REDUCCIÓN LOGARTIMICA	
	1	2		1	2
BACTERIAS			Coliformes fecales	3.4	6.8
Bacillus anthracis	4.5	8.7	Salmonella enteritidis	4	7.6
Bacillus subtilis, esporas	12	22	Salmonella paratyphi	3.2	---
Bacillus subtilis	7.1	11	Salmonella typhi	2.1	---
Campylobacter jejuni	1.1	---	Salmonella yphimurium	3	---
Clostridium tetani	12	22	Shigella dysenteriae	2.2	4.2
Corynebacterium diphtheriae	3.4	6.5	Shigella flexneri (paradysenteriae)	1.7	3.4
Escherichia coli	3.0	6.6	Shigella sonnei	3	5
Klebsiella terrigena	2.6	---	Staphylococcus aureus	5	6.6
Legionella pneumophila	0.9	2.8	Streptococcus faecalis	4.4	---
Sarcina lutea	20	26.4	Streptococcus pyogenes	2.2	---
Mycobacterium tuberculosis	6.0	10	Vibrio cholerae (V.comma)	---	6.5
Pseudomonas aeruginosa	5.5	10.5	Yersinia enterocolitica	1.1	---
VIRUS					
MS-2 Coliphage	18.6	---	Virus de la influenza	3.6	6.6
F-specific bacteriophage	6.9	---	Virus de la poliomielitis	5-8	14
Hepatitis A	7.3	---	Rotavirus	6-15	15-40
PROTOZOARIOS			ALGAS		
Giardia Lamblia	82	---	Verde - Azul	300	600
Cryptosporidium parvum	80	120	Chlorella vulgaris	12	22
LEVADURAS					
Saccharomyces cerevisiae	7.3	13.2			

Los factores operativos que afectan la administración de dosis de UV a los microbios, incluyen el suministro eléctrico, el tiempo de uso de la lámpara, las incrustaciones en la funda de cuarzo, los aspectos hidráulicos del reactor, la absorbencia de UV por el agua, la temperatura del agua y la localización de los microbios dentro de la materia particulada. (Wright, et al. 1998).

1.5.5 Oxidación avanzada

Los procesos de oxidación avanzada pueden definirse como procesos que implican la formación de radicales hidroxilo (OH) de potencial de oxidación ($E= 2.8\text{V}$) mucho mayor que el de otros oxidantes tradicionales; peróxido de hidrógeno, dióxido de cloro, y cloro. Estos radicales son capaces de oxidar compuestos orgánicos principalmente por abstracción de hidrógeno o por adición electrofílica a dobles enlaces generándose radicales orgánicos libres que reaccionan a su vez con moléculas de oxígeno formando un peroxiradical, iniciándose una serie de reacciones de degradación oxidativa que pueden conducir a la completa mineralización de los contaminantes. En el caso de microorganismos, estos radicales son tóxicos ya que atacan la doble capa bilipídica que conforma la pared externa de la célula generando reacciones de peroxidación lipídica letales para el microorganismo. (Wikipedia 2015)

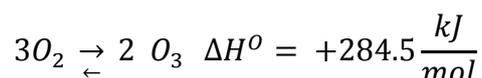
1.5.5.1 Ozono.

El ozono es una especie química perfectamente definida, pero hasta finales del siglo XVII, únicamente por manifestaciones eléctricas se conocían las propiedades químicas, fisiológicas u organolépticas que permitían detectarlo. En 1840 Schonbein demostró, usando experimentos mediante electrólisis, que se trataba de una especie química determinada: Un gas que por su olor lo denominó *OZONO*, y en 1848 Hunt demostró que se trataba de una variedad alotrópica del oxígeno integrada por tres átomos de dicho elemento.

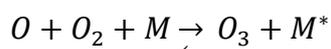
Debido al alto potencial redox el ozono es un oxidante químico muy potente, propiedad que puede ser utilizada para la degradación de compuestos contaminantes o para la desinfección del agua; sin embargo, presenta la desventaja de ser relativamente inestable en disolución acuosa: Los valores de vida media del ozono en agua destilada ($\text{pH}=7.0$ y 20°C) varía entre 20 -30 minutos y 160 minutos, aumentando su inestabilidad en medio básico. (Vidal, F. 2003, pag.13)

El corto periodo de vida del Ozono tanto en fase de gas o en disolución acuosa, no permite su almacenamiento y distribución como cualquier otro gas industrial, sino que debe generarse in situ.

La reacción global de formación de ozono a partir del oxígeno se puede formular como:



El mecanismo para la formación del Ozono mediante descargas eléctricas (el método más habitual) involucra la generación de radicales atómicos de oxígeno, los cuales reaccionan con el oxígeno molecular para formar el ozono:



Siendo M la molécula que retira el excedente de energía de la reacción.

Debido a su alto poder oxidante, el ozono puede utilizarse para eliminar microcontaminantes orgánicos e inorgánicos del agua, aunque la aplicación más extendida ha sido la desinfección en el tratamiento del agua potable. Actualmente el espectro de acción del ozono se ha extendido mucho, abarcando otros tipos de aguas. Como aguas residuales, aguas marinas, etc. (Vidal, F. 2003 pag.16).

Los diferentes usos que se le da al ozono en el tratamiento del agua potable para los diferentes fines, entre los que más se destacan son los siguientes:

- a. Desinfección y control de algas
- b. Oxidación de microcontaminantes inorgánicos (Fe y Mn)
- c. Oxidación de microcontaminantes orgánicos (eliminación de olores, sabores, compuestos fenólicos, pesticidas, etc.)
- d. Oxidación de materia orgánica natural (NOM) del agua, con diversos objetivos: eliminación del color del agua, incremento de la biodegradabilidad de la NOM, reducción en el potencial de formación de trihalometanos (THM) y en el de halogenuros totales (TOXFP).
- e. Mejora del proceso de coagulación – floculación. (Vidal, F. J. R. 2003).

En la secuencia de potabilización del agua el ozono puede aplicarse en tres puntos distintos.

1. **Preozonización:** Aplicación en cabeza de tratamiento. Puede suministrarse en la toma de agua o agua cruda para proteger a las líneas de conducción que llevan a la estación potabilizadora, de posibles crecimientos microbianos, control de olores y sabores y como una primera desinfección.
2. **Ozonización intermedia:** Se aplica antes de la etapa de filtración. Se utiliza principalmente par oxidar NOM, aumentando su biodegradabilidad y favoreciendo su eliminación

biológica en los filtros (de arena o carbón activado granular GAC), lo cual la llevado a denominar el proceso como BAC (Carbón activado biológico); también se puede usar para la eliminación de microorganismos orgánicos y para eliminar Fe y Mn.

3. **Post-ozonización:** Aplicación al final de la secuencia de tratamiento, se usa exclusivamente para la desinfección.

En la figura 1.10 se muestran los puntos de aplicación del ozono anteriormente descritos, dentro de la secuencia de tratamiento de una planta potabilizadora convencional (coagulación – floculación- decantación, filtración y desinfección).

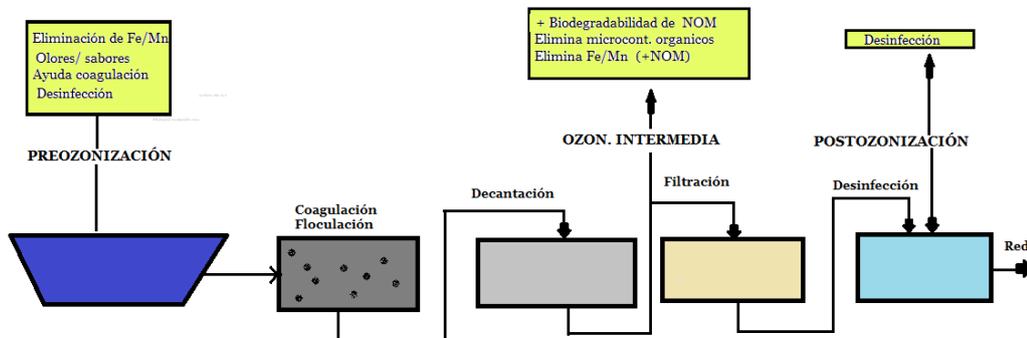


Figura 1. 10 Puntos de aplicación del ozono en la potabilización del agua
Fuente: Vidal, F. J. R. (2003).

En la tabla 1.6 se resume las principales aplicaciones del ozono, incluyendo el punto de aplicación óptimo, el rango de dosis de ozono requerida y el mecanismo de actuación del ozono óptimo para dicha aplicación.

Tabla 1. 6 Principales aplicaciones del ozono en el tratamiento de agua.

Fuente: Vidal, F. J. R. (2003).

Aplicación	Punto de aplicación	Dosis de ozono	Mecanismo óptimo
Fe/Mn	Pre/Inter	Media	Molecular
Color	Inter	Media-Alta	Molecular
Olor/ Sabor	Pre/Inter	Alta	Radicalario
Microcont.Org.	Inter	Media- Alta	Radicalario
Partículas	Pre	Baja	Desconocido
Algas	Pre/Inter	Baja-Media	Desconocido
Microorganismos	Pre/Post	Media/Alta	Molecular
Precursores DBPs	Inter/Pre	Baja/Alta	Molecular
NOM biodeg.	Inter	Media	Desconocido

1.5.5.2 Oxidación avanzada con TiO₂.

Como ya se ha enunciado, en los procesos de oxidación avanzada combina elementos como : agua oxigenada (H₂O₂), luz ultravioleta (UV), Ozono (O₃),y otros compuestos como TiO₂, Hierro (Fe), carbón activado, manganeso (Mn), luz solar, entre otros. En concreto, la fotocatalisis con TiO₂/hv/ H₂O₂ es una técnica en la que hace uso de un óxido metálico semiconductor como catalizador y el oxígeno como agente oxidante. (Andreozzi, 1999). La oxidación fotocatalítica de compuestos orgánicos por semiconductores como el TiO₂ ha atraído la atención para tratar aguas residuales contaminadas y potables, más es una técnica que por sus elevados costos no es muy difundido su uso, especialmente en países en vías de desarrollo.

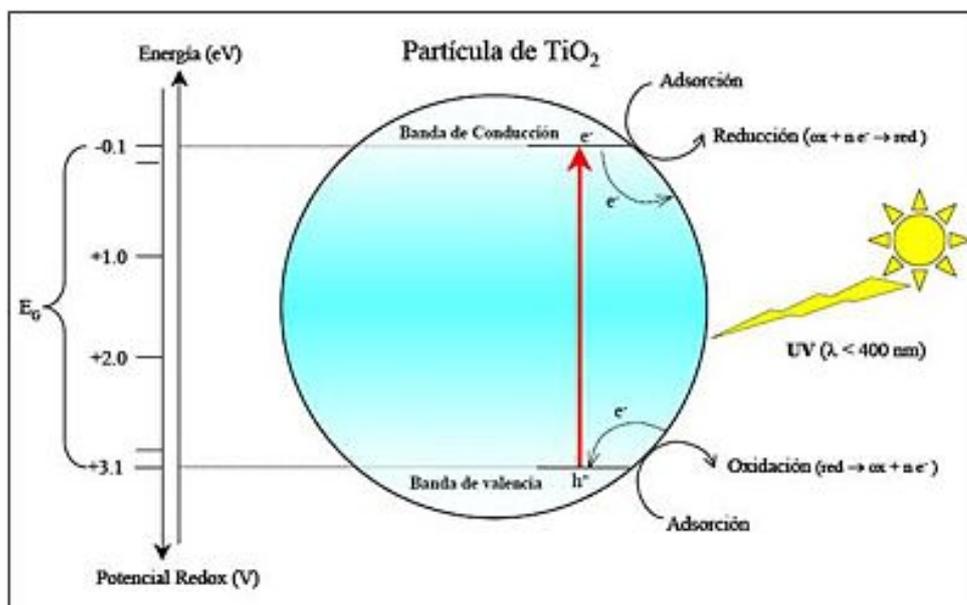


Figura 1. 11 Mecanismo Indirecto de la Fotocatalisis Heterogénea.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Procesos_de_oxidaci%C3%B3n_avanzada

Experiencias que se han implementado a nivel de investigación en la ETAP del canal de Isabel II Madrid – España, con la finalidad de mejorar la eficacia de la ozonización mediante la combinación de ozono con peróxido de hidrógeno (O_3/H_2O_2) o su sustitución con procesos de radiación ultravioleta con peróxido de hidrógeno (UV/H_2O_2) han dado como resultado una elevación en el porcentaje de eliminación de sustancias como la geosmina superiores al 80% con dosis medias- altas (2-3.5 mg/L de ozono; 2.5 – 5 mg/L de H_2O_2). El proceso de (UV/H_2O_2) también ha alcanzado valores similares de eliminación de geosmina operando con dosis elevadas de radiación ($3600\text{mJ}/\text{cm}^2$ y 185+254 nm) de acuerdo con lo indicado en (m+id, 2015 <http://www.madrimasd.org/blogs>)

La viabilidad de la implementación de este tipo de tratamiento en una ETAP, se reduce al factor económico por el elevado coste debido al uso de reactivos caros y/o elevado costo energético por el uso de lámparas fluorescentes. Además el costo de los reactivos y su uso añaden complicación por tener que mantener el suministro



Figura 1. 12 Planta piloto de oxidación avanzada
Fuente: <http://ambientcare.es/services-item/planta-piloto/>

En la figura 1.12 se observa la instalación de una planta piloto de un proceso de oxidación avanzada utilizando TiO_2 Como catalizador.

1.5.6 Tecnología de membranas.

Como una alternativa de tratamiento de agua para consumo humano existe la tecnología de membranas, que se ha venido utilizando con mucho éxito desde la década de los 70 en todo el mundo. Y su uso ha ido creciendo en el transcurso de los últimos años ya que su tecnología ha mejorado y existe una gran variedad de productos en el mercado. Esta tecnología de membranas microfiltración (MF), ultrafiltración (UF) y nanofiltración (NF) es eficiente en la remoción de virus, bacterias y protozoos del agua y que son causantes de múltiples enfermedades atribuibles a la ingesta de agua contaminada, es así que la microfiltración utiliza el mayor tamaño de poro puede eliminar arena, limos, arcillas, algas, bacterias, Giardia y Criptosporidium. La ultrafiltración puede además eliminar virus. Los sistemas de nanofiltración proporcionan protección casi completa contra virus, eliminan la mayoría de contaminantes orgánicos, y pueden reducir la dureza del agua. Los sistemas de ósmosis inversa son membranas densas que eliminan casi todos los contaminantes inorgánicos y casi todo excepto las moléculas orgánicas de menor tamaño.

Los diferentes procesos de separación se clasifican atendiendo, por una parte, a la fuerza que provoca el transporte de materia a través de la membrana y por otra, al tamaño de las sustancias que se quiere separar. La microfiltración (MF), la ultrafiltración (UF) y la ósmosis inversa (OI) son procesos prácticamente idénticos y difieren básicamente en el tamaño de las partículas que separan y las membranas empleadas

El término microfiltración se aplica a la separación de partículas con diámetro en el rango de 0.2 a 10 μm (macropartículas). El mecanismo de separación es de tamizado. Las membranas empleadas son estructuras simétricas micro porosas con tamaño de poro entre 0.1 y 10 μm . La diferencia de presión empleada varía entre 0.1 y 2 atm.

Se denomina ultrafiltración cuando los componentes que se separan tienen un diámetro 0.001-0.2 μm (rango macromolecular). La diferencia de presión aplicada varía entre 1 y 5 atm.

La nanofiltración es considerada como la Osmosis Inversa Pérdida ya que esta rechaza algunos contaminantes iónicos pero en menor grado que la Osmosis Inversa, la nanofiltración rechaza un alto porcentaje de las sales multivalentes en comparación con las sales monovalentes (Por ejemplo 99% VS 20 %), las membranas tienen un MWCO menor a 1000 Daltons para sólidos no iónicos

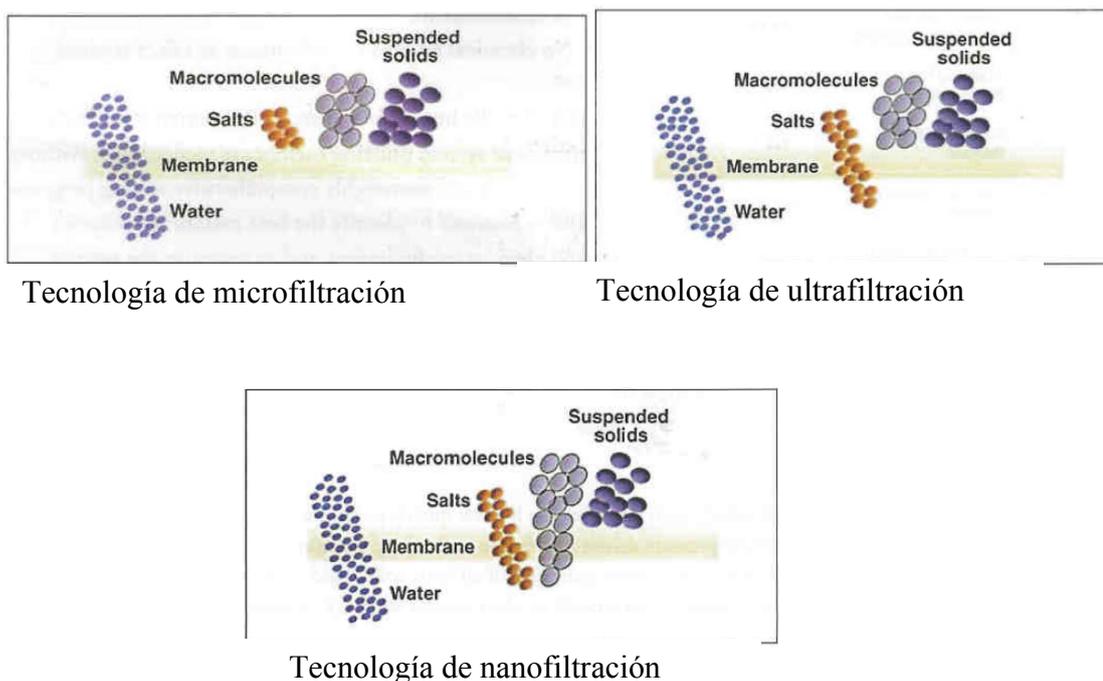


Figura 1. 13 Clasificación de tecnología de membranas por tamaño de poro

Fuente: <http://www.kurimexicana.com/agualog-mayo-2012.shtml>

Cuando las moléculas a separar son muy pequeñas (diámetro menor que 0.002 μm) el proceso se llama Osmosis inversa. La presión osmótica de la disolución suele ser bastante alta, siendo necesario emplear presiones en el rango 7 a 70 atm. Las membranas a utilizar en ultrafiltración y osmosis inversa son tipo asimétrico.

La tecnología de ultrafiltración presenta una serie de ventajas como ya se ha mencionada sobre un sistema de filtración convencional, como menor uso de químicos, mayor eficiencia de eliminación de contaminantes, mejor calidad de filtrado mayor compacidad y automatización más sencilla. Pero, estos sistemas también requieren limpiezas químicas periódicas para restaurar las membranas. Comercialmente se pueden encontrar de diferente configuración: plana, tubular, espiral o fibra hueca, siendo estas últimas las más habituales en el tratamiento de agua debido a su alta compacidad y posibilidad de ser lavadas hidráulicamente. (Retrolavado).

El uso de esta tecnología de membranas garantiza la eliminación de los agentes contaminantes que producen enfermedades como la enteritis bacteriana (diarrea), Shigelosis (disentería bacilar), cólera, paratifoidea que son de transmisión fecal –oral, entre otros.

Arnal (2001) realiza un análisis comparativo de la eficiencia de remoción de los contaminantes utilizando la tecnología de membranas que se pueden presentar en agua para consumo y, se detalla en la tabla 1.7.

Tabla 1. 7 Comparación de tecnología de ultrafiltración con algunos procesos de tratamiento
Fuente: Arnal et al .(2001)

Contaminante	Coagulación /sedimentación/filtración	Ablandamiento con cal	Osmosis Inversa	Ultrafiltración	Oxidación química, desinfección
Coliformes totales	B-E	B-E	E	E	E
Giardia Lambia	B	B	E	E	B
Virus	B-E	B-E	E	E	E
Legionella	B-E	B-E	E	E	B
Turbidez Orgánica	E	B	E	E	E
VOCs	P	P-M	M-B	P	P-B
SOCs	P	P-M	M-E	P	P-B
Pesticidas	P	P-M	M-B	P	P-B
THMs	B	P	B-E	P	P
THM precursores	P	M-B	B-E	P-M	P
Color	M-B	M-B	B-E	M	M-E
Hierro	M-E	E	B-E	B	B-E
Manganeso	M-E	E	B-E	B	M-E
Sabor y Olor	P-F	P-M	-	-	M-E

P: pobre (0-20%); M: Medio (20-60%); B: Bueno (60-90%); E: Excelente (90- 100% remoción); - datos insuficientes

En comparación con los procesos convencionales, la tecnología de UF tiene muchas ventajas, pero también es importante que el tipo de membrana se seleccione y opere adecuadamente. Por ejemplo en el estudio de planta piloto usando ultrafiltración en polivinilo de cloruro (MWCO de 80 kD) el procedimiento de membrana de fibra hueca se llevó a cabo para el tratamiento de las aguas superficiales de los ríos Luan y Huang en China obteniendo un permeado estable. Xiaoyan Guo et al (2009)

En otras experiencias como en la República China se ha implementado como proceso de pretratamiento del agua de alimento para controlar el ensuciamiento de las membranas la utilización de polvo de carbón activado (PAC) para el tratamiento de agua para consumo del río Songhuajiang. Donde se observa que las dosis de PAC no influyen en mayor medida en los resultados de flujo de permeado, que se estabiliza a partir de los 10 primeros minutos. El flujo de ultrafiltración disminuye de aproximadamente 90 a 65 L / (m².h) después de los 60 min. y tiene la misma pendiente las gráficas de tendencia lineal en diferentes dosis de 10 mg/L, 20 mg/L, 30 mg/L. El PAC elimina en mejor porcentaje sustancias orgánicas que si se tuviera un sistema únicamente de UF, en este caso mejora su rendimiento de un 30% a un 45% de eliminación de COD_{Mn}. El porcentaje de remoción de turbidez es del 99.5%. Xia Sheng ji, et al (2006).

1.6 Justificación del proyecto

Los ODM (2000), que tienen como horizonte el presente año 2015, resalta que las áreas de mayor relevancia sobre las que se ha actuado son:

Objetivo 4: Reducir la mortalidad infantil y más concretamente reducir en dos terceras partes la tasa de mortalidad de los niños menores de 5 años.

Objetivo 6: Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades.

Objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente incluyendo en la Meta 7c:

- Reducir a la mitad el porcentaje de personas que carecen de acceso al agua potable.
- Incorporar los principios de desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales; invertir la pérdida de recursos del medio ambiente.

Y según el informe de la OMS “Progress on Drinking – water and Sanitation 2014” se observa que el progreso en la consecución del objetivo 7 en la meta de reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso a fuentes mejoradas, se ha cumplido cinco años antes de lo previsto inclusive, entre 1990 y 2012, 2,3 mil millones de personas obtuvieron acceso a fuentes mejoradas de agua potable; existiendo una brecha muy grande entre el sector urbano y el rural y con gran diferencia en los países de África Sud sahariana y los países de América. (ONU, 2015 <http://www.un.org>). La ONU como parte de su informe “We can end Poverty” informa que en el año 2012, 748 millones de personas se quedaron sin acceso a una fuente mejorada de agua. Y en lo concerniente al acceso a servicio de saneamiento señala que “Más de un cuarto de la población mundial ha tenido acceso a un saneamiento mejorado desde 1990, sin embargo, millones de personas todavía recurren a la defecación al aire libre. La gran mayoría 82% de las personas que la practican viven con ingresos medios y muy poblados”.

Entonces la solución para mejorar la situación sanitaria y mejorar las condiciones de vida de la población pasa por orientar las investigaciones presentes y futuras al desarrollo de técnicas económicas y socialmente aceptadas por la comunidad. (Mintz et al, 2001).

Este trabajo de investigación propone utilizar la tecnología de membranas como una alternativa para mejorar la calidad de agua de consumo humano, en un sector cuya población es de escasos recursos económicos del sector rural y, con graves problemas de contaminación de coliformes en el agua que consumen.

Existen investigaciones científicas que se han realizado sobre este tópico y que pueden ser aplicadas en el tratamiento o purificación del agua. Considerando que la contaminación del agua puede variar desde el punto de captación hasta la distribución en la red y punto de abastecimiento.

Con frecuencia se ha observado que la calidad microbiológica de agua en recipientes en el hogar es menor que en la fuente, lo que sugiere que la contaminación es generalizada durante la recogida, transporte, almacenamiento y extracción de agua (Wright et al 2004).

Los nuevos sistemas descentralizados de agua deben ser robustos, de bajo coste y lo más independiente posible del uso de químicos y energía (Bolestrau, et al 2012) en este contexto el grupo de investigación europeo, TECHNEAU, se ha dedicado a desarrollar un sistema de ultrafiltración de baja energía (UF) para pequeñas aplicaciones de agua potable, a ser aplicadas en la red del sistema. (Bolestrau, et al 2012), con el objetivo de determinar la viabilidad del uso de esta tecnología en comunidades pequeñas o rurales.

La revisión bibliográfica pone de manifiesto que existe un interés globalizado por mejorar los índices de acceso a fuentes mejoradas de agua y; por lo señalado el presente trabajo se va a centrar en la potabilización de agua utilizando tecnología de membranas mediante la adecuación de Puntos de Agua Saludable (PAS) y da continuidad al proyecto Internacional Equapot, integrada en el proyecto Aquapot de la Universidad Politécnica de Valencia. Aquapot (Arnal et al., 2009) es un proyecto multidisciplinar que se inició en 2006 en la Universidad Politécnica de Valencia cuyo objetivo es investigar y desarrollar la aplicación de tecnologías de potabilización sencillas y eficaces, susceptibles de ser aplicadas en países en vías de desarrollo.

En este contexto el proyecto **“Potabilización de aguas crudas mediante tecnología de membranas para 500 Habitantes. Caso de estudio: Cangonamá Ecuador”** que está ubicado en el cantón Paltas, provincia de Loja pretende dar solución al problema de ingesta de agua de mala calidad.

En este trabajo se describe la evaluación del actual sistema de agua potable que se distribuye a la población; principales características de funcionamiento, tipo de tratamiento que se está realizando, diseño de la instalación de un sistema de agua potable descentralizado basado en las tecnologías de membrana como una alternativa de la gestión actual del agua en las zonas

en desarrollo, en este caso la población rural de Cangonamá, en base a la caracterización o calidad de agua que se tiene, para el posterior análisis de resultados obtenidos.

2. ANTECEDENTES.

La provisión de agua segura para su consumo es prioritaria en todas las poblaciones del mundo, es un derecho inalienable de todo ser humano el tener agua de calidad y en cantidad suficiente para cubrir sus necesidades básicas y de desarrollo. Datos generales de la OMS acerca de porcentajes de acceso a fuentes de agua potable mejoradas, a nivel mundial reflejan que en los países desarrollados tienen cubierto este aspecto sanitario como p.ej. Suiza la cobertura de los servicios de saneamiento es del 100%; por el contrario este mismo informe indica que los países en vías de desarrollo especialmente los países africanos tienen deficiencia o bajo porcentaje de personas que acceden a agua potable, le siguen los países de Latinoamérica y el Caribe con un mayor porcentaje.

“La movilización mundial en torno a los Objetivos de Desarrollo del Milenio demostró que la acción multilateral puede lograr un cambio tangible” (ONU, 2015 <http://www.un.org/>). Así la Organización mundial de la Salud (OMS) resalta textualmente que en el marco “**Objetivo de Desarrollo del Milenio 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente Meta 7C: Para 2015, reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable ya servicios básicos de saneamiento.** El mundo ha alcanzado la meta de los ODM en relación al acceso a agua potable segura. Para el año 2012, el 90% de la población utiliza una fuente mejorada de agua de consumo en comparación con 76% en 1990. El progreso sin embargo ha sido desigual en las distintas regiones, entre las zonas urbanas y rurales, y entre ricos y pobres”.

En cuanto al saneamiento básico, el ritmo actual de progreso es demasiado lento para la meta de los ODM que se alcanzó a nivel mundial. En el año 2012, 2,5 mil millones de personas no tienen acceso a instalaciones mejoradas de saneamiento y, 1 mil millones de estas personas siguen practicando defecación al aire libre. El número de personas que viven en zonas urbanas sin acceso a mejores servicios de saneamiento es cada vez mayor debido al rápido crecimiento en el tamaño de las poblaciones urbanas (OMS 2015, <http://www.who.int/>).

Consecuencia de la carencia de agua potable y saneamiento básico, se presentan enfermedades de origen hídrico.

En el mismo contexto en su apartado: **Agua potable, saneamiento, salud y enfermedades**, resalta que:

1,6 millones de personas mueren cada año de enfermedades diarreicas (incluido el cólera) atribuibles a la falta de acceso a un agua potable salubre y al saneamiento básico, y un 90% de esas personas son menores de 5 años, principalmente de países en desarrollo.

160 millones de personas están infectadas por la esquistosomiasis, que causa decenas de miles de defunciones anuales; 500 millones de personas corren riesgo de contraer tracoma, por cuya causa 146 millones están amenazadas de ceguera y 6 millones padecen deterioro visual;

Las helmintiasis intestinales (ascariasis, tricuriasis y anquilostomiasis) están azotando al mundo en desarrollo por falta de agua, saneamiento e higiene adecuados, y 133 millones de personas sufren de fuertes parasitosis intestinales causadas por helmintos; cada año hay aproximadamente 1,5 millones de casos de hepatitis A clínica

En lo concerniente a la consecución de los objetivos del milenio, la ONU (ONU, 2015 <http://www.un.org/>) menciona que “La meta 10 de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) pretende reducir a la mitad el número de personas sin acceso a agua potable y a servicios básicos de saneamiento para el año 2015. El mundo no alcanzará la meta del saneamiento fijada en un 75% de cobertura y, si persiste el ritmo actual de progreso, no se alcanzará por 500 millones de personas. A no ser que se acelere el ritmo de cambio en el sector del saneamiento, la meta del ODM no se alcanzará hasta 2026.” Así mismo señala que **El 80% de las enfermedades** en los países en desarrollo están provocadas por un acceso poco seguro al agua y por un saneamiento inadecuado.

El acceso a saneamiento, una higiene adecuada y un acceso seguro al agua podrían salvar las vidas de **1,5 millones** de niños cada año y que cada **20 segundos** muere un niño/a como resultado de un saneamiento insuficiente.

El Informe de Desarrollo Humano: “Sostenibilidad y equidad: Un mejor futuro para todos” del Programa de Naciones Unidas (2011), destaca que en los 176 países y territorios donde el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) trabaja día a día, “muchas personas de bajos recursos cargan el peso de una doble privación”. “Aparte de su mayor vulnerabilidad a los efectos más generales de la degradación ambiental y a la falta de herramientas para hacerles frente, también deben soportar amenazas en su entorno inmediato, ya sea por la contaminación intradomiciliaria, el agua sucia o la falta de saneamiento”. Indica que “las inversiones que mejoran la equidad —por ejemplo en cuanto al acceso a energía

renovable, agua y saneamiento, y salud reproductiva— pueden mejorar tanto la sostenibilidad como el desarrollo humano”. Las carencias ambientales en los hogares, contaminación intradomiciliaria, acceso insuficiente a agua potable y saneamiento mejorado, son más graves en países con bajos niveles de Índice de Desarrollo Humano y disminuyen a medida que aumenta el índice. De hecho en estos países, “más de seis personas de cada 10, carecen de acceso directo a agua potable y cerca de cuatro de cada 10 no disponen de retretes sanitarios”, situaciones que contribuyen tanto a enfermedades como a malnutrición.

Es así que la carencia de los servicios básicos de agua y saneamiento, tiene una implicación directa en la determinación de los niveles de pobreza de un país y uno de los métodos de identificación de los sectores de población en niveles de pobreza más utilizado en Latinoamérica es el método directo “Necesidades Básicas Insatisfechas” (NBI) introducido por la CEPAL a comienzos de los años ochenta para aprovechar la información de los censos, demográficos y de vivienda, en la caracterización de la pobreza. Bajo este método, se elige una serie de indicadores censales que permiten constatar si los hogares satisfacen o no algunas de sus necesidades principales. (Feres, 2001)

Usualmente utiliza indicadores directamente relacionados con cuatro áreas de necesidades básicas de las personas (acceso a la vivienda, servicios sanitarios, educación básica e ingreso mínimo), es así que el Ecuador siendo un país en vías de desarrollo presenta un valor de NBI del 60,1%, siendo el parámetro de mayor incidencia en el resultado del cálculo de los NBI la falta de los servicios sanitarios como lo son la dotación de agua potable y la eliminación de excretas, entendiéndose que este indicador únicamente tiene en consideración el aspecto de si tiene o no el servicio a través de la una red pública de agua, lo cual no implica que sea de calidad.

Según los datos proporcionados por el INEC, en la Provincia de Loja – Ecuador el valor de NBI es del 61,8% lo cual nos indica que la mayoría de la población vive en condiciones de pobreza, atribuibles a la falta de los servicios básicos principalmente agua potable y alcantarillado, según los parámetros de clasificación que posee este método. Requiriendo la atención gubernamental en las diferentes áreas para reducir estos valores tan altos de pobreza y desigualdad social. En el presente caso de estudio, la parroquia de Cangonamá tenemos un valor de NBI = 98%, lo que nos proporciona una idea clara del grado de pobreza y escaso o nulo acceso a los servicios de agua potable de la población. En la parroquia Cangonamá existe un sistema de agua que abastece a la comunidad, con el inconveniente de que el tratamiento

que se le da es insuficiente, no posee el grado de potabilización requerido para que el agua sea de calidad. Se ha detectado niveles de contaminación en la fuente de abastecimiento, en la red de distribución y en el agua proveniente de los grifos de las viviendas.

Los principales riesgos de agua potable en los países en desarrollo son asociados con la contaminación microbiana. Alrededor de dos docenas de enfermedades infecciosas se relacionan con la calidad del agua (Arnal et al 2010).

El agua contaminada provoca enfermedades como la diarrea y disentería provocada por la amebiasis y parasitosis, enfermedades comunes en esta población y que es por causa del agua. Datos obtenidos del único centro de salud de la población nos indica que el más alto porcentaje de patología atendida en este centro es del 31,6% y corresponde a la parasitosis, siendo los niños menores de 5 años los más afectados, dependiendo del tipo de parásito presente estos pueden presentar diferentes síntomas siendo la falta de apetito y el crecimiento del abdomen común en todos, ictericia, con el consecuente malestar y en el caso de los niños que asisten a la escuela un bajo rendimiento en la misma.

Este problema es común en muchas comunidades, barrios y asentamientos rurales del Ecuador, por lo tanto los esfuerzos gubernamentales seccionales y central, deben concentrarse en dar soluciones a este grave problema sanitario con procesos innovadores, eficaces, sostenibles, de bajo costo y, aplicar tecnologías de tratamiento de agua potable socialmente aceptados, que permitan mejorar la situación sanitaria y las condiciones de vida de sus habitantes.

Incluso si existe un proceso de desinfección en su mayoría cloro gas o hipoclorito, la presencia de materia en suspensión y la turbidez coloidal en el agua puede proteger la presencia de microorganismos evitando una desinfección eficaz y estimular el crecimiento bacteriano (Pryor et al., 1998).

Los organismos Coliformes son generalmente aceptados por la OMS como un indicador de la presencia de contaminación fecal del agua y la posible presencia de patógenos. Aunque otros patógenos bacterianos son menos resistentes comparativamente a la desinfección de los coliformes; los enterovirus y los quistes de algunos parásitos son más resistentes. Por lo tanto, la ausencia de coliformes de agua desinfectada no indica necesariamente la ausencia de enterovirus y los quistes de *Cryptosporidium*, *Giardia*, amebas y otros parásitos (Gadgil, el al 1998).

Por otra parte, las comunidades rurales son generalmente incapaces de aprovechar las economías de escala para dar soluciones de suministro de agua a nivel de comunidad. Como consecuencia, los costos per cápita de mejora son generalmente altos, mientras que el potencial de contribuciones en efectivo de los hogares tiende a ser baja. Donde las infraestructuras de abastecimiento de agua están instaladas, los recursos financieros para su operación y mantenimiento son insuficientes, la falta de disponibilidad de piezas de repuesto o las habilidades técnicas y / o arreglos institucionales débiles puede afectar negativamente a su sostenibilidad. (Peter-Varbanets et al 2009).

“Las personas que carecen de acceso a suministros de agua adecuados y seguros están en mayor riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua. En vista de la importancia del servicio de abastecimiento de agua para la salud y el bienestar, que es crucial tener un conocimiento fiable sobre el estado de este servicio, así como para entender las razones del creciente interés en las soluciones para el hogar” (Peter-Varbanets, et al 2009).

En este contexto, y con la existencia de varias técnicas de potabilización, se debe realizar la selección e implementación de sistemas descentralizados de tratamiento de agua para el consumo humano que sean accesibles, de fácil operación, mantenimiento y de bajo coste.

En la búsqueda de mejorar los procesos convencionales de potabilización del agua de consumo humano a los sistemas de tratamiento de agua potable que constan las unidades previsibles como coagulación/floculación, sedimentación filtración, desinfección, en dependencia de la calidad de agua a tratar, se han ido presentando alternativas de tratamiento para la eliminación de los agentes contaminantes presentes en los diferentes casos Anon (citado por sí Peter-Varbanets, et al 2009), menciona que mientras que uno de los métodos de potabilización que ha tenido un gran crecimiento en su utilización es la tecnología de membranas y menciona datos de ventas de membrana que alcanzaron los US \$ 900 millones en 1997 (Anon, 1999), el mercado mundial de sistemas de membrana de flujo cruzado para aplicaciones de agua y aguas residuales, se esperaba crecería a partir de US \$ 6,7 mil millones en 2006 a US \$ 10 mil millones en 2010.

Como se ha mencionado anteriormente, se hace necesario la implementación de sistemas descentralizados de tratamiento de agua para el consumo humano que sean accesibles y de bajo coste; es así que el tratamiento a través de la tecnología de membranas es una opción viable para dar soluciones sustentables a este problema de saneamiento. Desde la década de los 70 la tecnología de ultrafiltración (UF), se ha venido utilizando para la producción de agua

potable. Las membranas de UF son barreras físicas que son capaces de eliminar eficazmente las partículas en suspensión, turbidez, bacterias, coloides, algas, parásitos y virus para fines de clarificación y desinfección. En comparación con los procesos convencionales, tales como la coagulación, floculación, sedimentación y / o filtración rápida y filtración lenta, la tecnología UF tiene muchas ventajas tales como:

- a. Superior calidad del agua tratada,
- b. Una forma mucho más compacta sistema,
- c. El control más fácil de la operación y mantenimiento,
- d. Menos productos químicos,
- e. Reducir la producción de los lodos. (Xiaoyan Guo, et al 2009).

Las ventajas del uso de esta tecnología es la factibilidad de que se instalen en las zonas donde la construcción de un tratamiento convencional de agua potable en que la inversión en la construcción civil, mantenimiento de infraestructuras o no disponibilidad de los productos químicos hacen que sea muy poco probable debido a su alto coste (Arnal et al 2010).

La tecnología de membranas como la UF que es un proceso que se puede aplicar al tratamiento de agua para consumo humano y que se ha convertido en una tecnología apropiada dadas las ventajas que posee frente a los tratamientos convencionales que requieren de mayor espacio físico y productos químicos que en ocasiones se vuelven inaccesibles para las comunidades rurales especialmente por los altos costes que estos tienen para su adquisición. Adicionalmente se puede utilizar desinfección por UV o según requerimiento de las Normas locales con Cloración.

2.1 Caso de estudio

2.1.1 Ecuador

La República de Ecuador se encuentra ubicada geográficamente en América del Sur y tiene una superficie territorial de 256000 Km² aproximadamente; y es país limítrofe con Colombia al norte, al sur y este con Perú y al oeste con el Océano Pacífico. Su nombre obedece a que se encuentra en la línea imaginaria de ecuador, que atraviesa el país y divide al planeta en dos hemisferios. Su capital es la ciudad de Quito.

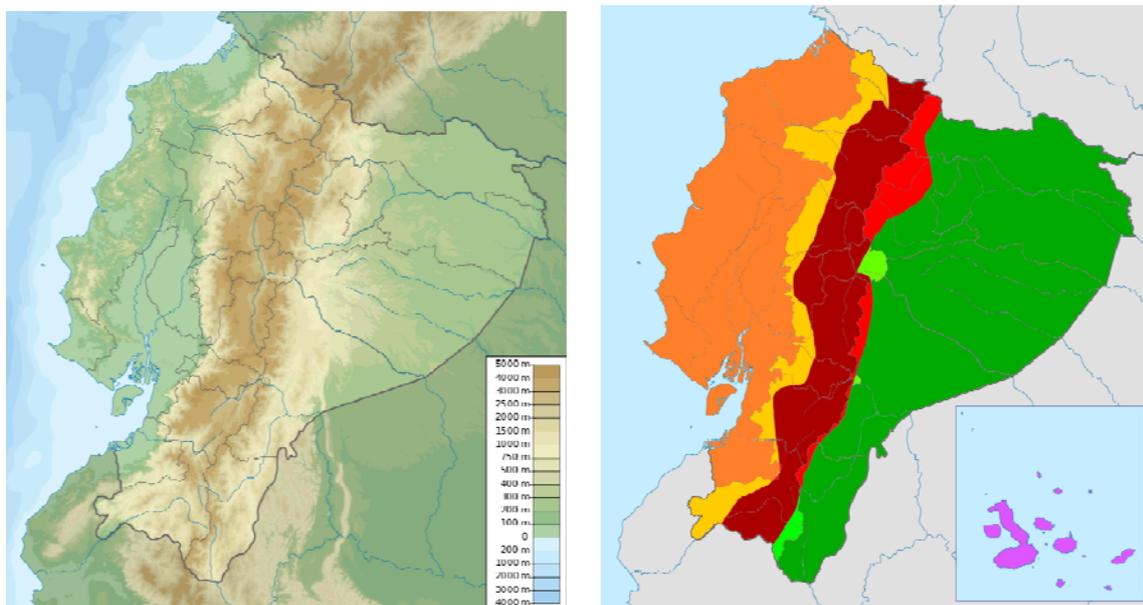


Figura 2. 1 Geografía de Ecuador y sus regiones naturales
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_de_Ecuador

En la figura 2.1 se observa que el Ecuador está dividido en cuatro regiones geográficas: la Costa, que comprende poco más de la cuarta parte del país; la Sierra, constituida por las alineaciones montañosas y altiplanicies andinas; el Oriente o región Amazónica, al este de los Andes, y la región Insular, integrada por las islas Galápagos. La región de Galápagos comprende varias islas de origen volcánico.

Por la región de la Costa predominan las llanuras fértiles y las elevaciones de poca altitud, entre las que discurren numerosos ríos, muchos de ellos pertenecientes a la cuenca del Guayas, y sobresalen playas y balnearios de gran atractivo turístico.

La cordillera de los Andes atraviesa el país en sentido sur-norte. La región de la Sierra comprende las dos cadenas de la cordillera de los Andes, la Occidental y la Oriental, con más

de una docena de picos por encima de los 4.800 metros, y la estrecha meseta que se extiende entre ellas, conocida como valle interandino, que alcanza los 3.000 m de altitud.

Las grandes cimas se alzan en el centro y norte del país; de Riobamba hacia el sur decae la altitud y aumenta el ancho, formándose un altiplano que suele llamarse Austro. El Cotopaxi es el volcán activo más alto del mundo (5.897 m) y está situado en el valle interandino; el nevado Chimborazo (6.310 m) es la cumbre más elevada de Ecuador y está ubicado en la cordillera Occidental de los Andes. Otros picos importantes son: el volcán Cayambe (5.790 m), el nevado Antisana (5.704 m), el Sangay (5.230 m), el Tungurahua (5.033 m) y el macizo Pichincha (4.787 m).

En la región Amazónica, el relieve desciende desde la parte oriental de los Andes hasta las llanuras del Amazonas, a cuya cuenca pertenecen importantes ríos como el Putumayo, el Napo y el Pastaza. Las cumbres más sobresalientes se encuentran al norte, cerca del volcán Sumaco. (WIKIPEDIA, 2015 <http://es.wikipedia.org>)

El Ecuador posee las cuatro regiones señaladas y es un país megadiverso, en flora y fauna.

“De acuerdo con el censo nacional del año 2010(CPV 2010), 72% de las viviendas de Ecuador dispone de agua por red pública. Los mayores niveles se tienen en el área urbana, con cerca de 87% de cobertura, mientras que en el área rural la misma alcanza cerca del 46%. En alcantarillado, la cobertura nacional es cerca de 54%, siendo la urbana 71% y la rural cerca del 23%. Estos valores globales, sin embargo, esconden enormes inequidades geográficas, las coberturas son menores en la regiones oriente y costa del país y mayor en la sierra, y entre la población pobre y la de mayores ingresos.” (PROSANEAMIENTO, 2014)

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda estimó que el 92% de las aguas residuales se descargan sin ningún tratamiento. Los retrasos en la cobertura provienen de una gestión precaria de los servicios y la situación financiera de la mayoría de los prestadores de los servicios es crítica, producto de las debilidades institucionales de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD). Como estrategia de aumentar los porcentajes de cobertura o dotación de servicios de agua y saneamiento, el gobierno del Ecuador estima inversiones de más de U\$5.000 millones.

Ecuador tiene un Índice de desarrollo Humano (IDH) de 0,711 con una esperanza de vida al nacer de 76.5 años, con un Ingreso nacional Bruto (INB) per cápita de \$ 9998, se encuentra

ubicado entre los países de IDH muy alto, en la escala del Programa de las Naciones Unidas (PNUD). (HDR, 2014.).

La población al año 2013 ascendía a 15738 000 habitantes, de los cuales el 31% es población rural. La población en condiciones de pobreza (ingresos de US\$ 79.67 mensuales) a Diciembre del 2014 cerró en 22.49%, de esto a nivel urbano es de 16.43 % y rural del 35.29 %. Así mismo la población que vive en condiciones de extrema pobreza es decir con ingresos inferiores a US\$ 44.90 mensuales a nivel nacional es de 7.65%, a nivel urbano es de 4.49% y a nivel rural de 14.33%. (INEC, 2015 <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>)

En cuanto a recursos hídricos el Ecuador está dividido en 31 Sistemas Hidrográficos, incluidas las Islas Galápagos, con unos recursos hídricos internos renovables de 432 km³/año. “El Ecuador no recibe en su territorio prácticamente ningún aporte hídrico de los ríos de los países limítrofes, Colombia y Perú. Por el contrario, los recursos hídricos superficiales que abandonan el país se cifran de 5 a 9 km³/año a Colombia en la vertiente del Pacífico; 70 a 125 km³/año al Pacífico por ríos costeros; 5 a 9 km³/año a Perú en la vertiente del Pacífico; 9 a 16 km³/año hacia la cuenca amazónica colombiana; y 200 a 300 km³/año, hacia la cuenca amazónica peruana. Con el Perú se han suscrito tres acuerdos para el uso de los recursos hídricos en las cuencas binacionales: Puyango-Túmbez, Catamayo-Chira y subcuenca del río Zarumilla”. (FAO 2015, <http://www.fao.org/>). El país se puede decir es un país rico en recursos hídricos y su existencia ha disminuido en gran porcentaje la explotación de los recursos subterráneos. “El potencial de recursos subterráneos utilizables en la vertiente del Pacífico se ha estimado en 10,4 km³/año. En la vertiente amazónica no existen estudios que permitan estimar los recursos subterráneos.” (FAO 2015, <http://www.fao.org/>).

EL destino o uso del agua se estima que el 13% del total de agua superficial extraída 9918 Km³ es utilizada para sistemas de abastecimiento de agua potable, el 6% en la Industria y el restante 81% en regadío y ganadería. Como se observa en el gráfico 2.1

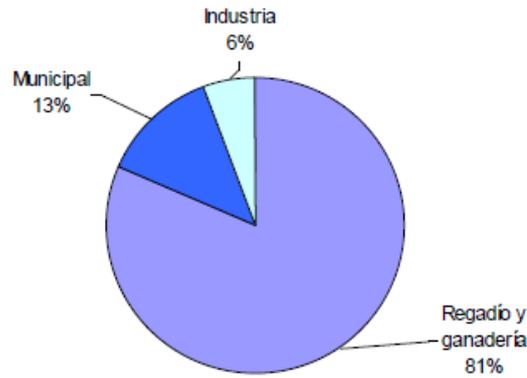


Grafico 2. 1 Extracción de agua por sectores. Total 9918 Km³

Fuente: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ECU/Figures.htm

El Ecuador es un país por decirlo afortunado, por que como se ha mencionado, es en su territorio donde se genera el recurso hídrico y aporta a los países vecinos, sin tener mayor aprovechamiento de este vital recurso. Si comparamos con las cifras mundiales, de la disponibilidad de agua dulce y en forma superficial en el planeta, se puede dimensionar la ventaja que tiene este país frente a otros países que padecen de insuficientes recursos hídricos y, han tenido que buscar soluciones, que en la mayoría de ocasiones resultan costosas.

Se conoce que del agua que existe en el mundo únicamente el 3% es agua dulce, y de este 3%, se tiene que el 1% es agua superficial. De ahí su aprovechamiento en las diferentes actividades el hombre.

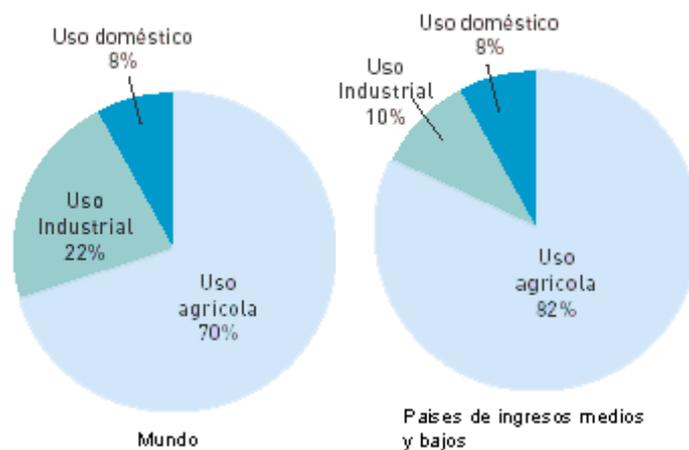


Grafico 2. 2 Porcentajes de uso del agua superficial

Fuente: <http://webworld.unesco.org/water>

La UNESCO, a través del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, señala que “El uso industrial del agua aumenta según el nivel de ingresos del país, variando desde el 10% en países de ingresos medios y bajos hasta el 59% en países de ingresos elevados.”(UNESCO, 2015, <http://webworld.unesco.org/water>)

2.1.2 Cangonamá

Cangonamá es una parroquia del cantón Paltas ubicada en la provincia de Loja – Ecuador y se encuentra emplazada en la parte alta de la micro-cuenca del río Playas, a 32 Km. de la cabecera cantonal Catacocha, en la parte Norte del Cantón Paltas, provincia de Loja en las faldas del Cerro Congo. En las coordenadas geográficas:

Latitud: 9559041.00 – 9568120.85N

Longitud: 17637808.44 – 17647399.95E

Con una temperatura que fluctúa entre 16°C - 20°C; Precipitaciones entre: 1000mm. – 1750mm; a una altitud de: 1221 a 2280 msnm.

El territorio de la parroquia tiene una superficie total de 44 km²

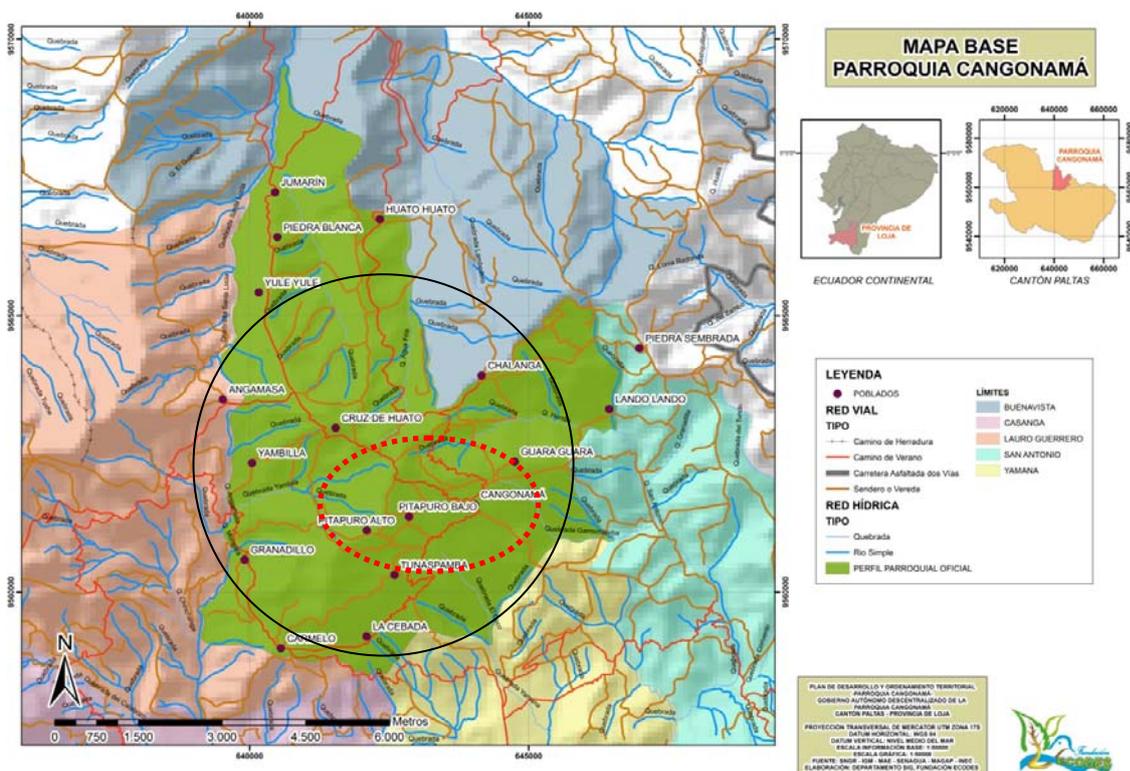


Figura 2. 2 Ubicación geográfica de Cangonamá, provincia de Loja, Cantón Paltas
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial de la parroquia Cangonamá (PDOT)

El área de influencia del presente trabajo abarca un radio de 3Km aproximadamente, siendo necesario un análisis similar a este, con la finalidad de determinar otras fuentes de agua y poder replicar esta potabilizadora en los sectores más alejados del cantón y provincia en general, donde por las condiciones de vialidad, distancias, y otros factores de índole social, se torna difícil que sus habitantes se beneficien de este proyecto.

2.1.2.1 Topografía.

La parroquia de Cangonamá posee una topografía con relieve montañoso accidentado irregular que se extiende desde los 1800 a 2000 m.s.n.m. sobre la franja que abarca la comunidad; otra cota desde 2000 a los 2648 m.s.n.m. como máxima elevación en el Cerro Cango. Las pendientes de esta parroquia fluctúan entre el 25-50% en la mayor parte de su extensión.

2.1.2.2 Usos del suelo y cobertura.

La vegetación de la microcuenca de la cabecera parroquial de Cangonamá, se encuentra intervenida mayormente por actividades de tipo agrícola, como se puede visualizar en la tabla 2.1 Los fragmentos en la microcuenca que se pueden destinar para fines de conservación de recursos hídricos son las zonas de pasto natural y matorral húmedo alto. Esto es un área de 178,44 Ha equivalentes a 1,78 Km², un 4% del área total de la parroquia.

Tabla 2. 1. Usos del suelo Vs cubierta vegetal
Fuente: Mapas Paltas- Cangonamá (GPL- 2010)

Cobertura vegetal Vs. uso del suelo	
Tipo	Área (Ha)
Matorral húmedo alto - Agrosilvicultura	14.88
Pasto natural - Agrosilvicultura	16.13
Matorral húmedo alto - áreas erosionadas	2.67
Pasto natural – áreas erosionadas	56.21
Matorral húmedo alto - café arbolado	10.11
Pasto natural - café arbolado	133.41
Matorral húmedo alto - matorral	59.37
Pasto natural - matorral	119.07
Pasto natural - silvopastura	0.02

En la microcuenca de la parroquia Cangonamá existen cinco tipos de usos del suelo (agro silvicultura, silvopastura, áreas erosionadas, matorral y café arbolado) que se han generado por las diferentes actividades productivas de la parroquia Cangonamá. Las áreas de uso de suelo se describen en la tabla 2.2

Tabla 2. 2 Usos del suelo
Fuente: Mapas Paltas- Cangonamá (GPL 2010)

Uso del Suelo		
Tipo	Hectáreas	Porcentaje
Agrosilvicultura	31,01	7,53%
Silvopastura	0,02	0,00%
Áreas erosionadas	58,87	14,29%
Matorral	178,43	43,32%
Café arbolado	143,52	34,85%
TOTAL	411,85	100%

En base a la información del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM) la parroquia Cangonamá forma parte o está influenciada por las microcuencas que se detallan en la en la Tabla 2.3.

Tabla 2. 3 Microcuencas influyentes en Cangonamá
Fuente: Infoplan, 2003

MICROCUENCAS	Área en ha.
Quebrada Chipianga	4440,41
Quebrada La Esperanza	6673.74
Quebrada Naranjo	4939,05
Quebrada Playas	8731,45
Quebrada Yamana	1042,69
Zona de drenajes menores	313,84
TOTAL	26141,18

2.1.2.3 Población

La población de la parroquia Cangonamá según el VII censo nacional de población y VI vivienda del año 2010 es de **1271 habitantes**, este dato engloba la población de toda el área de la parroquia, es decir incluye a los barrios que la conforman, razón por la cual se aplicó una encuesta socio económica- sanitaria a la población de estudio (centro urbano) (Anexo 1) con

la finalidad de conocer el número de habitantes o población beneficiaria de este proyecto. La población es de **301 habitantes**, lo que constituye el 23,68% del total.

Según los datos del INEC el 74,98% de la población de Cangonamá vive en condiciones de pobreza y el 20,08% en extrema pobreza y tan solo el 4,94% se encuentra sobre el umbral de pobreza y definido por los cálculos basados en NBI. No considera la pobreza multisectorial.

2.1.2.4 Salud

Los servicios de atención médica son cubiertos por un Subcentro de Salud, el cual cuenta con un profesional de la medicina, una enfermera y una auxiliar de enfermería, brindando servicios en Medicina General y vacunación. Las principales enfermedades que se atienden en este sub centro de salud son las denominadas de origen hídrico, que son la parasitosis, las enfermedades diarreicas, e infecciones respiratorias. Las enfermedades como parasitosis y diarrea en caso de no ser atendidas a tiempo pueden producir deshidratación y hasta la muerte principalmente en los niños menores de 5 años y ancianos.

2.1.2.5 Educación.

La provincia de Loja Ecuador tiene un 6,9% de analfabetismo siendo uno de los más bajos a nivel nacional. La población de la parroquia Cangonamá tiene un 5,4% de analfabetismo de la población mayor a 10 años, siendo el valor más alto en el grupo de 70 a 74 años (INEC, 2015). La ciudad de Cangonamá tiene dos centro educativos, uno de nivel primario o básico y el segundo de nivel secundario o colegio, no existen centros de educación universitario.

2.1.2.6 Agua potable.

Las viviendas de Cangonamá son abastecidos por un sistema de agua tratada, sin llegar a ser potable porque el sistema no cuenta con todas las unidades de potabilización. Este sistema sirve a 77 conexiones del centro parroquial, existiendo 5 viviendas sin acceso a este servicio. La calidad del agua de abastecimiento no es el requerido por las Normas vigentes en el país. (INEN 1108).

2.1.2.7 Saneamiento.

De los resultados de la encuesta sanitaria y económica básica aplicada a la población, se tiene que el centro urbano, tiene una cobertura del 92 % del servicio de alcantarillado sanitario,

conectado a la red pública, 5 % tiene letrina de pozo seco y el restante 3 % letrina por arrastre de agua.

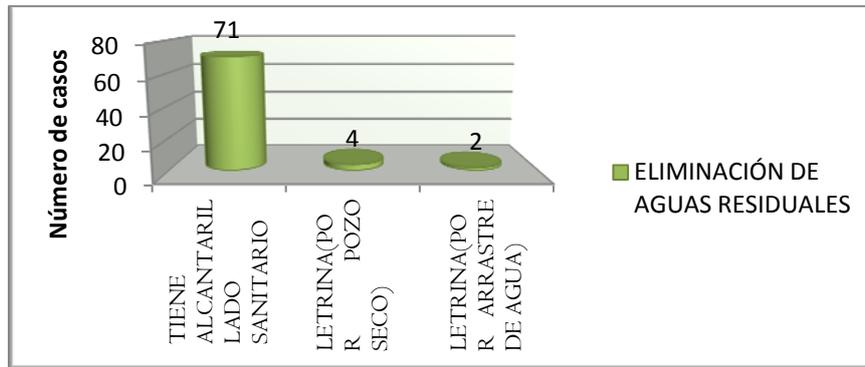


Grafico 2. 3 Tipo de eliminación de excretas

Fuente: Elaboración propia

2.1.2.8 Residuos sólidos.

La eliminación de los residuos sólidos es a través de diferentes métodos, poseen un servicio de recolección de los residuos con vehículo recolector enviado por la Institución Municipal cantonal dos días a la semana, con una cobertura del 86%; 6% de la población lo arroja o deposita sin ningún tipo de tratamiento y un 8% lo utiliza como abono. Como se indica en el gráfico 2.4.



Grafico 2. 4 Eliminación de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2.9 Aspectos Socio económicos.

La principal fuente de ingresos de los habitantes de este sector es la agricultura y en menor proporción la ganadería, de la encuesta aplicada se extrae que los ingresos mensuales de cada

familia no superan los 115 USD como máximo, razón por la cual según los resultados obtenidos del INEC ubica a la población de Cangonamá en niveles de pobreza y extrema pobreza.

La falta de oportunidades de trabajo, la poca o deficiente atención gubernamental en proporcionar servicios básicos de calidad han desembocado en el aumento de la migración de la población joven, razón por la cual existe un índice de decrecimiento en la población.

2.2 Fundamento de parámetros de calidad de agua de consumo humano.

2.2.1 Parámetros físicos.

Dentro de los parámetros físicos los más destacados de todos los ejecutados tenemos a los siguientes, basando la prelación en las concentraciones resultantes.

Características organolépticas: Dentro de este apartado tenemos a los parámetros como lo son Color, Olor, sabor, conductividad eléctrica y pH. El agua para ser potable debe ser incolora, inodora e insípida. En caso de poseer color o sabor, debe ser sometida a algún tipo de tratamiento con la finalidad de eliminar la causa de su presencia. En el presente caso de estudio el agua en estado puro o cruda, no presenta olor, color o sabor, por tanto tiene una buena calidad organoléptica.

Conductividad eléctrica. Se define como "la habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido", como el radio entre la densidad de corriente (J) y la intensidad eléctrica del campo (e) y es opuesta a la resistividad (r , [W*m]) (LENTECH 2015, <http://www.lenntech.es>)

En este caso de estudio, los valores resultantes de conductividad eléctrica se encuentran dentro de los rangos permisibles dados por la normativa vigente en el Ecuador para calidad de agua cruda. 1250 $\mu\text{ohms/cm}$.

La legislación española en su texto de legislación consolidada del año 2013, establece para este parámetro un valor de 2500 $\mu\text{S/cm}$ a 20°C.

Sólidos. Este parámetro sirve para caracterizar tanto a aguas residuales como agua de abastecimiento en cuyo caso no debe contener. La clasificación de sólidos se muestra en la figura 2.3 de una muestra tenemos los sólidos sedimentables, quitando estos quedan los sólidos totales de los cuales se desprenden los sólidos suspendidos (SS) y los sólidos disueltos

(SD). A partir de los SS tenemos los sólidos suspendidos volátiles (SSV) y los sólidos suspendidos no volátiles (SSNV).

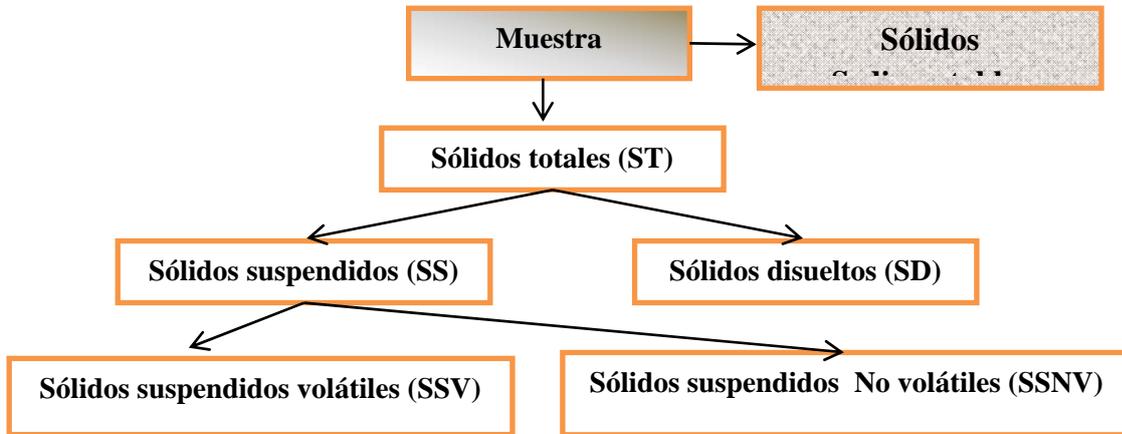


Figura 2. 3 Clasificación de contenido de sólidos
Fuente: Apuntes de Calidad de agua 2010.UPV.

El resultado de contenido de sólidos suspendidos volátiles nos indican que existe materia orgánica (biodegradable + no biodegradable), mientras que los no volátiles indican la presencia de materia inorgánica.

Pueden actuar como centros activos favoreciendo la adsorción de sustancias y microorganismos, además dificultan el paso de la luz y proporcionan color.

2.2.2 Parámetros químicos.

pH. Mide la acides o basicidad del agua, está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+). Es un factor muy importante ya que procesos químicos de reacción del cloro solo pueden darse en un rango de pH de 6.5 a 8.

Como se observa en la tabla 4.8 especialmente en los resultados de las analíticas en verano, se tienen valores que varían en el rango de 6 a 6.40, clasificándola como ácida, por el contrario en la época de invierno los valores de pH van desde 6,13 en la vertiente denominada El Coco 1 hasta 7,14 en la vertiente de El Coco 2, teniendo un valor de 7,12 en un punto de red, es decir básica y que es un valor que se encuentra dentro del límite permisible de la norma.

Alcalinidad Total. Medida de la capacidad de una disolución para neutralizar un ácido y representa la suma de las bases que pueden ser tituladas. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e

hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas. No sólo representa el principal sistema amortiguador (tampón, buffer) del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva de CO₂ para la fotosíntesis. En el presente caso de estudio se observa que los valores de alcalinidad se encuentran entre 30 mg/L y 52 mg/L.

Internacionalmente se establece un valor de 20 mg/L como mínimo aceptable como CaCO₃/L; cuando tiene un valor inferior se vuelven muy sensibles a la contaminación. ya que no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generen disminuciones del pH (acidificación).

Dureza. La dureza del agua se debe al contenido de calcio y, en menor medida, de magnesio disueltos. Suele expresarse como cantidad equivalente de carbonato cálcico. En función del pH y de la alcalinidad, una dureza por encima de 200 mg/L aproximadamente puede provocar la formación de incrustaciones, sobre todo en las calefacciones. Las *aguas blandas* con una dureza inferior a 100 mg/L aproximadamente tienen una capacidad de amortiguación baja y pueden ser más corrosivas para las tuberías.

Varios estudios epidemiológicos ecológicos y analíticos han demostrado la existencia de una relación inversa estadísticamente significativa entre la dureza del agua de consumo y las enfermedades cardiovasculares. Existen algunos indicios de que las aguas muy blandas pueden producir un efecto adverso en el equilibrio mineral, pero no se disponía de estudios detallados para su evaluación. No se han propuesto valores de referencia en cuanto a su concentración en aguas de uso doméstico, no obstante el grado de dureza podría afectar el sabor y formación de incrustaciones, por tanto su aceptabilidad. (OMS, 2006).

En el presente estudio se observa concentraciones de dureza total no superior a 55mg/L, caracterizando al agua de las fuentes El Coco1, El Coco 2 y Pitapuro como aguas blandas, según lo enunciado anteriormente.

Cloruro. El cloruro presente en el agua de consumo procede de fuentes naturales, aguas residuales y vertidos industriales, escorrentía urbana con sal de deshielo, e intrusiones salinas.

La fuente principal de exposición de las personas al cloruro es la utilización de sal en los alimentos y la ingesta procedente de esta fuente generalmente excede en gran medida a la del agua de consumo.

Altas concentraciones de cloruro aumentan la velocidad de corrosión de los metales en los sistemas de distribución, aunque variará en función de la alcalinidad del agua, lo que puede hacer que aumente la concentración de metales en el agua.

No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el cloruro en el agua de consumo. No obstante, las concentraciones de cloruro que excedan de unos 250 mg/l pueden conferir al agua un sabor perceptible. (OMS, 2003)

Hierro. El hierro es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre. Está presente en aguas dulces naturales en concentraciones de 0,5mg/L a 50 mg/L. También puede existir en el agua de consumo debido a la utilización de coagulantes de hierro o a la corrosión de tuberías de acero o hierro colado durante la distribución del agua.

El hierro es un elemento esencial en la nutrición humana. Las necesidades diarias mínimas de este elemento varían en función de la edad, el sexo, el estado físico y la biodisponibilidad del hierro, y oscilan entre 10 y 50 mg/día.

Un valor inferior a 2 mg/L se supone que no se constituye en un peligro para la salud. La OMS no propone un valor de referencia para el hierro en el agua de consumo.

Cloro. El cloro se produce en grandes cantidades y se utiliza habitualmente en el ámbito industrial y doméstico como un notable desinfectante y como lejía. En particular, se utiliza ampliamente para la desinfección de piscinas y es el desinfectante y oxidante más utilizado en el tratamiento del agua de consumo. El uso del cloro como agente de desinfección tiene como objetivo la alteración de la actividad enzimática de los microorganismos patógenos por reacción del ácido hipocloroso (HOCl) e iones hipoclorito (OCl⁻).

Los compuestos más utilizados son Cloro gas (Cl₂); Hipoclorito sódico (NaOCl) o cálcico (Ca(OCl)₂).

Las guías para la calidad del agua potable publicadas por la OMS en 1993 establecieron un valor de referencia de 5 mg/L para cloro libre en el agua de consumo, pero señalaron que se trata de un valor conservador, ya que en el estudio en el que se basó no se determinó una dosis sin efecto adverso.

Nitrato y Nitrito. El nitrato y el nitrito son iones de origen natural que forman parte del ciclo del nitrógeno. El nitrato se utiliza principalmente en fertilizantes inorgánicos, y el nitrito sódico como conservante alimentario, especialmente para las carnes curadas. La

concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares. Las condiciones anaerobias pueden favorecer la formación y persistencia del nitrito. La cloraminación podría ocasionar la formación de nitrito en el sistema de distribución si no se controla debidamente la formación de cloramina. La formación de nitrito es consecuencia de la actividad microbiana y puede ser intermitente. La nitrificación en los sistemas de distribución puede aumentar la concentración de nitrito, que suele ser de 0,2 a 1,5 mg/l.

La concentración de nitrato debería poderse reducir hasta 5 mg/L o menos mediante desnitrificación biológica (aguas superficiales) o intercambio de iones (aguas subterráneas).

La concentración de nitrito debería poder reducirse hasta 0,1 mg/L mediante cloración.

Las concentraciones de nitritos en los sistemas de distribución pueden ser más altas cuando se emplea la cloraminación, pero su presencia es casi siempre esporádica. La metahemoglobina es, por tanto el riesgo más importante, y el valor de referencia que ofrezca protección, contra la metahemoglobinemia será el más adecuado.

En todos los sistemas de distribución de agua en los que se practique la cloraminación se deberá monitorear estrecha y regularmente la concentración de desinfectantes, la calidad microbiológica y la concentración de nitrito. Si se detecta nitrificación, se deben adoptar medidas para modificar los tratamientos o la composición del agua con objeto de preservar su inocuidad, pero sin que se vea afectada la eficacia de la desinfección.

La metahemoglobinemia en lactantes también parece estar asociada a la exposición simultánea a contaminantes microbianos.

La OMS, 2003 publica como valor de referencia para la concentración de nitrito en el agua de consumo 3 mg/L, y para el ión nitrato de 0,2 mg/L.

2.2.3 Parámetros microbiológicos.

Coliformes Totales: Las bacterias coliformes son un gran conjunto de varias especies de bacterias. Algunos de los miembros de este grupo de microbios se encuentran en ambientes naturales - suelos, las plantas y el agua superficial. Existen otros tipos de bacterias coliformes en los intestinos de los seres humanos y otros animales de sangre caliente y están típicamente

presentes en el material fecal desde el organismo huésped. (New Hampshire Department of Environmental Services, 2010).

Es este grupo de bacterias que es de importancia durante el análisis de agua porque se utiliza como un indicador de la contaminación bacteriana en el agua potable. Cualquier alimento o el agua de la muestra en la que se encuentra este grupo de bacterias potencialmente han entrado en contacto con las aguas residuales domésticas, estiércol o tierra contaminada, planta o materiales de origen animal.

El grupo de coliformes se define como todas las bacterias Gram negativas en forma bacilar que fermenten la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en 24 horas, aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la B-galactosidasa. En este grupo se encuentran los diferentes *Escherichia coli*, *Citribacterm* *Enterobacter* y *Klebsiell*

La prueba más relevante utilizada para la identificación del grupo coliformes, es la hidrólisis de la lactosa. El rompimiento de este disacárido es catalizado por la enzima B-D-Galactosidasa. Ambos monosacáridos posteriormente son metabolizados a través del ciclo glicolítico y ciclo del citrato. Los productos metabólicos de estos ciclos son ácidos y/o CO₂. (MANAFI, 1998). El grupo de coliformes totales incluye especies fecales y ambientales.

El grupo de los coliformes totales incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua. Por consiguiente, no son útiles como índice de agentes patógenos fecales, pero pueden utilizarse como indicador de la eficacia de tratamientos y para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución y la posible presencia de biopelículas. No obstante, hay mejores indicadores para estos fines.

El análisis de los coliformes totales, como indicador de desinfección, es mucho más lento y menos fiable que la medición directa de la concentración residual de desinfectante. Además, los coliformes totales son mucho más sensibles a la desinfección que los protozoos y virus entéricos.

A excepción de la E. Coli las bacterias pertenecientes al grupo de los coliformes totales están presentes tanto en aguas residuales como en aguas naturales. Algunas de estas bacterias se excretan en las heces de las personas y animales, pero muchos coliformes son heterótrofos y capaces de multiplicarse en suelos y medios acuáticos. Los coliformes totales pueden también

sobrevivir y proliferar en sistemas de distribución de agua, sobre todo en presencia de biopelículas.

Una vez que se aplica la desinfección no debe existir la presencia de coliformes totales, su existencia sería un indicador de que el tratamiento aplicado es inadecuado. Su existencia en el sistema de distribución y reservas de agua almacenada puede revelar una proliferación y posible formación de biopelículas, o bien contaminación por la entrada de materia extraña como plantas o tierra.

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

La *Escherichia Coli* se puede distinguir de los demás termotolerantes por su capacidad para producir indol a partir de triptófano o por la producción de la enzima β -glucoronidasa; está presente en concentraciones muy grandes en las heces humanas y animales y, raramente se encuentra en ausencia de contaminación fecal, aunque hay indicios de que puede crecer en suelos tropicales. Entre las especies de coliformes termotolerantes, además de *E. Coli*, puede haber microorganismos ambientales.

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo.

La solución a la problemática del acceso al agua de calidad: “agua potable” y sus consecuencias, son el objetivo general de esta investigación. Se constituye en una meta internacional y nacional de Ecuador contemplado en el “plan nacional del buen vivir” dentro del Objetivo 3. “Mejorar la calidad de vida de la población” a través de la ampliación de la cobertura y calidad de servicios básicos en particular agua y saneamiento

Desde la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (“Cumbre para la Tierra” celebrada en 1992 en Río de Janeiro -Brasil), se han encontrado nuevas vías para lograr el bienestar humano: el camino del desarrollo sostenible. La Declaración del Milenio y los Objetivos de Desarrollo del Milenio establecidos en 2000 colocaron a las personas en el centro del desarrollo y generaron mejoras sin precedentes en la vida de muchas personas en todo el mundo e incluyeron dentro de sus agendas de trabajo aspectos relacionados al medioambiente consecuentemente a los recursos hídricos y el mejoramiento de la accesibilidad del hombre a fuentes agua mejoradas o seguras, reducción de mortalidad infantil, dotación de saneamiento.

Como podremos darnos cuenta, aún falta mucho por hacer y, los diferentes organismos internacionales y locales, según la realidad que vive se ha fijado nuevas agendas y nuevos objetivos, encaminando sus esfuerzos a dar cumplimiento a los objetivos globales, en este recuento se ha centrado la atención en el agua y su potabilización, tema central de este trabajo.

Por tanto el objetivo de este trabajo se enmarca en los ámbitos señalados y en la presentación de alternativas viables para la lucha contra la pobreza, a través de brindar acceso a agua de calidad para mejorar su nivel de vida.

Es importante señalar que para poder lograr la consecución de este objetivo se requiere de un trabajo de tipo social, de relevada importancia para su cumplimiento, pues el diseño e implementación de un programa de esta naturaleza requiere de “Educación sanitaria” que conste como parte de las políticas públicas que inciden en el bienestar y calidad de vida de las personas.

El objetivo principal del presente del proyecto del proyecto **“Potabilización de aguas crudas mediante tecnología de membranas para 500 Habitantes. Caso de estudio: Cangonamá Ecuador”** es la mejora del acceso al agua potable de la población de países en vías de desarrollo a través de la implementación de un sistema de potabilización sostenible y modular basado la tecnología de membranas.

3.2 Objetivos específicos.

Para la consecución del objetivo principal de esta investigación, se propone los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Socialización del proyecto a la comunidad
- ✓ Estudio epidemiológico y levantamiento de información sanitaria
- ✓ Reconocimiento de la zona de influencia
- ✓ Estudio de la calidad y cantidad de agua.
- ✓ Selección de la técnica de potabilización en concordancia con las características sociales y culturales de la zona de implementación
- ✓ Validación de la técnica.
- ✓ Diseño y construcción de la instalación de potabilización y canales de distribución (PU) a la población
- ✓ Montaje y puesta en marcha de potabilizadora
- ✓ Control y seguimiento de operación y mantenimiento
- ✓ Fijar meta sanitaria.
- ✓ Análisis de resultados.

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1 Metodología.

La metodología empleada se describe a continuación:

4.1.1 Socialización del proyecto a la comunidad.

4.1.1.1 Presentación del proyecto

Para dar inicio al desarrollo de este trabajo, en primer lugar se determina la necesidad de realizar un trabajo conjunto con los miembros o pobladores de la parroquia Cangonamá, no se puede concebir un proyecto de esta naturaleza donde la población no sea participativa y se empodere del mismo, por tanto previamente se programaron varias reuniones y visitas de exploración de campo del sector para desde un punto de vista cultural y social analizar las costumbres de ingesta de agua, usos y aprovechamientos, predisposición al trabajo para mejorar sus condiciones de vida, hábitos de aseo; y desde el punto de vista económico se consulta sobre sus ingresos, predisposición/posibilidad a pagar por un mejor servicio, etc. Parámetros de índole social indispensables que se debe conocer para la puesta en marcha de la potabilizadora y tenga el éxito que se espera.

Se prevé como parte de las estrategias de investigación la aplicación de una encuesta descriptiva de respuesta cerrada donde se investiga sobre las características propias de la población, forma de abastecimiento, servicios básicos existentes, disposición al trabajo comunitario, ingresos, nivel de educación, etc. Esta encuesta se aplica puerta a puerta a toda la población y está diseñada de tal forma que nos proporcione información sobre los aspectos sociales, económicos y sanitarios de la población y que nos servirá de base para determinar las acciones o decisiones a seguir o tomar en los siguientes pasos de la metodología.

4.1.1.2 Designación de técnicos locales

Un factor importante para que el proyecto sea sostenible, es la parte social, se requiere que la comunidad a la cual se beneficia, se involucre directamente desde la concepción del objetivo, esta tarea debe ser un proceso continuo para conseguir el empoderamiento comunitario y garantice su sostenibilidad en el tiempo

Para su consecución, durante las reuniones realizadas, se identifica a las autoridades locales y miembros con cierta jerarquía en su organización, forma de administración del sistema de agua existente y al personal docente de las entidades educativas.

En estas reuniones se designará al personal técnico que se encargará de la operación y mantenimiento de la potabilizadora una vez que se construya y su puesta en marcha.

4.1.2 Estudio epidemiológico

Para la consecución del objetivo específico; se plantea realizar dos actividades específicas, estas son:

4.1.2.1 Levantamiento de información sanitaria de la población de Cangonamá.

Para la determinación de los denominados perfiles epidemiológicos dentro de los cuales se encuentran las enfermedades de origen hídrico que se presentan en la población de Cangonamá, se acudió a investigar en el centro de salud existente, y en el Hospital del cantón Paltas, ya que es la entidad encargada de recopilar toda la información sanitaria del cantón. Se acota que, los habitantes de la parroquia también acuden a este Hospital y son contabilizados dentro de las estadísticas de este centro hospitalario, por tanto no se reflejan en los registros locales del subcentro de Cangonamá.

4.1.2.2 Análisis de estadísticas sanitarias sobre la población: Dos distintas fuentes.

Como una segunda acción, se procede a ejecutar un resumen de los casos de salud atendidos y que se los agrupa como enfermedades de origen hídrico. Esto con los resultados de los datos del subcentro de salud Local y Hospital cantonal.

Para relacionar o determinar el ausentismo por causa de las enfermedades de origen hídrico en la población infantil en edad escolar (niños de 5-12 años), con la ayuda de los profesores de cada nivel, se investiga los porcentajes de inasistencia o ausencia de los niños a clases; se realiza un seguimiento a través del registro diario y las observaciones o razón de la falta y, se elabora un resumen de los datos los dos últimos periodos escolares.

4.1.3 Reconocimiento de la zona de la zona de influencia.

El reconocimiento de la zona de influencia de este trabajo es el más extenso y amerita un trabajo de campo a detalle a fin de realizar posteriormente un análisis técnico apegado a la realidad

4.1.3.1 Características generales de la población.

A través de visitas periódicas al sector del proyecto; desde un punto de vista técnico, se realiza una evaluación del entorno de la población a servir como lo es su topografía, microcuenca de recarga de los manantiales, afectaciones a los suelos, etc., y al sistema de distribución de agua existente en todos los componentes del mismo como lo son: Fuente/captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y red de distribución, esto en funcionamiento y estado físico.

4.1.3.2 Evaluación del sistema de agua existente.

El sistema de abastecimiento de agua de la parroquia Cangonamá posee las siguientes unidades:

- Captación
- Desarenador
- Conducción
- Planta de tratamiento
- Red de distribución.

Las cuales han sido evaluadas para determinar sus características físicas y de funcionamiento. Considerando los siguientes aspectos:

- ✓ Estado de la obra civil.
- ✓ Funcionamiento hidráulico de las unidades y sistema de agua.

4.1.3.3 Selección de la ubicación de la instalación:

Para la seleccionar la ubicación de las instalaciones de la planta, se toma en cuenta los siguientes factores:

- A. Proximidad a la población. En este caso se toma en consideración la cercanía a los centros educativos existentes en la parroquia, estos son la escuela, colegio y centro de desarrollo infantil; así mismo se considera la cercanía al centro de salud. Que la distancia de recorrido no sea mayor a 500m.
- B. Facilidad de acceso a la instalación. Para que tanto los niños como los adultos puedan acceder con facilidad al lugar de abastecimiento del agua purificada, en forma

conjunta con la comunidad se determina el mejor sitio de implantación y se determina la necesidad de realizar trabajos de adecuación del sector.

- C. Facilidad de construcción y colocación de tubería.
- D. Requerimientos de presión hidrostática. Se prevé los requerimientos de presión para un correcto funcionamiento de los equipos a instalar, con la finalidad de tener el menor consumo energético y por ende más económico.
- E. Facilidad de distribución a la población.
- F. Protección de las instalaciones. Que los equipos a instalar se encuentren bien resguardados de posibles incidentes como hurto o daños.
- G. Distancia entre captación y sitio de emplazamiento de la planta.

De los recorridos realizados durante la etapa de evaluación del sistema de agua en servicio, se han determinado 4 sitios, como posibles puntos de implantación de la potabilizadora, estos son:

- Colegio
- Escuela
- Centro de salud
- Edificio del GAD parroquial
- Sector la Cruz (tanque de almacenamiento del sistema)

La ubicación o emplazamiento se decide en base a los resultados de la matriz de ponderación que resulte aplicando los criterios antes indicados.

En el punto donde se encuentra ubicado el tanque de almacenamiento y distribución, se registra una presión manométrica de 30 m.c.a. aproximadamente, este tiene forma rectangular, se encuentra con un porcentaje de su estructura bajo superficie, ubicado en el sector llamado La Cruz, con una capacidad de 17.1 m³.

4.1.4 Estudio de la cantidad y calidad de agua de la zona de influencia

4.1.4.1 Cantidad de agua

Para determinar la cantidad de agua disponible, se afora utilizando el método volumétrico, que dadas las condiciones tales como caudal 'pequeño (inferior a 10 L/s), tipo de captación, recogida en el tanque desarenador, es el más apropiado.

Este método consiste en tomar el tiempo que tarda en llenar un recipiente de volumen conocido y se registran los datos para luego aplicar la ecuación:

$$Q = \frac{\text{Volúmen recogido (L)}}{\text{tiempo que tarda (s)}}$$

4.1.4.2 Calidad de agua

Para determinar la calidad de agua tanto en fuente como en punto de consumo (red), se procede a realizar la investigación de datos existentes o históricos de analíticas previamente desarrolladas y tener un referente. Se encontró que en el año 2012 se realizó un estudio general de la calidad de agua de fuentes abastecedoras del cantón Paltas (Solano, Correa 2012). En este se hace un análisis global de los parámetros físicos químicos y bacteriológicos del agua de fuente que abastece a los sistemas de agua de varias comunidades, incluida la parroquia Cangonamá.

La calidad bacteriológica se analizó con la ayuda del equipo de experimentación denominado AQUA TEST que es un equipo que nos proporciona concentraciones de la presencia de Eschericha Coli (u.f.c/100 ml). Las mediciones realizadas en puntos de la red de distribución en los domicilios demostraron que no cumplía con las exigencias de la normativa vigente en el país en cuanto a la calidad bacteriológica, pues se detectó la presencia de la mencionada Eschericha Coli.

La toma de muestras se la realiza en puntos estratégicos del sistema, siguiendo los protocolos establecidos para la toma de muestras simples.

Los puntos elegidos son:

- Agua en fuente (Captación)
- Tanque de almacenamiento
- Punto de red de distribución.

4.1.5 Selección de técnica de potabilización.

El problema de selección del método de potabilización resulta en ocasiones determinante para la sostenibilidad de un proyecto de aprovisionamiento de agua potable, pues en ocasiones las tecnologías que se han utilizado han resultado inapropiadas por aspectos tales como la disponibilidad de repuestos para mantenimiento, disponibilidad de energía, personal

capacitado para las acciones de operación y mantenimiento; esto especialmente en las comunidades rurales, calidad de agua de fuente, entre los más relevantes.

Por tanto se debe particularizar cada tipo de tratamiento a implementar teniendo una visión realista de cada zona. En los países en vías de desarrollo este es un importante aspecto en el cual por lo general se prioriza que el método utilizado sea de bajo coste y de fácil operación y mantenimiento.

Para fines de análisis, se tomará algunos de los aspectos tomados en consideración en el modelo SHTEFIE, por sus siglas en inglés que significan “Social, Health, Technological, Economic, Financial, Institutional, Environmental” Desarrollado por The Water Engineering and Development Centre (WEDC) de la Universidad de Loughborough- UK. Estos son:

S (social)

Tipo de instalación en la vivienda, distribución

Consideración de bienestar y equidad.

Disposición a pagar, capacidad de pago

Tarifas de agua

Distribución de la población (edad)

Migración

Aspectos culturales y religiosos, actitud hacia el reciclaje del agua y las prácticas de saneamiento

Fuerza de trabajo, disponibilidad

Capacidad de operación y mantenimiento

H (Salud)

Estadísticas de salud, morbilidad

Enfermedades significativas fecales orales

Servicios de salud existentes.

T (Tecnológicas)

Demanda y uso del agua

Disponibilidad de materiales y repuestos

Disponibilidad de conocimientos y experiencia local

Instalaciones de abastecimiento de agua actuales

Vida útil de diseño de las instalaciones de tratamiento
Características de agua cruda: origen, cantidad, calidad
Normas de calidad de agua

E (Económicos)

Aspectos económicos, producción, industria y componente agrícola
Capacidad de pago
Principales sectores de empleo
Ingresos

F (Financieros)

Forma de financiamiento
Capacidad y voluntad de pago

I (Institucionales)

Roles y responsabilidades existentes de organización y administración
Relaciones entre las organizaciones
Legislación, reglamentos

E (Ambientales)

Clima, precipitaciones, hidrología
Condiciones del suelo
Disponibilidad de agua
Sostenibilidad.

En base a estos parámetros, se realiza una matriz con factores de decisión para la selección del método de potabilización más adecuado, ajustado a la realidad de la zona.

4.1.6 Validación de la técnica seleccionada.

A continuación del análisis de los resultados de la selección de la técnica de potabilización se debe proceder a la validación de la misma; para su verificación experimental se hará uso de una planta piloto y se analizan varias muestras de agua de diferente procedencia y niveles de contaminación, considerando que los valores de los parámetros de contaminación varían. Esto con la finalidad de verificar la hipótesis de eliminación o separación de virus, bacterias, algas,

mediante la utilización de equipos de similares características al que se implementará en el sector de Cangonamá

4.1.7 Diseño y construcción de la instalación

Como objetivo específico se encuentra el diseño de la instalación, más en esta etapa se debe prever en primer lugar designar los técnicos locales que acompañaran en el desarrollo del trabajo desde la fase inicial y que participaran de la construcción y diseño del mismo.

4.1.7.1 Formación de técnicos locales.

A los técnicos designados por los habitantes de la parroquia Cangonamá, y que serán participes del desarrollo del proyecto desde la fase de reconocimiento de la zona, deberán ser formados en el manejo de la potabilizadora y del sistema en general, pues se prevé hacer uso de la red existente e implementar el tratamiento a través de tecnología de membranas para la potabilización del agua de consumo. El operador(es) u operador(es) designado(s), debe ser una persona calificada o responsable de la adecuada operación y mantenimiento de las instalaciones del sistema de agua potable.

4.1.7.2 Diseño de la instalación.

Para el diseño de la instalación, se toma como base los resultados de las analíticas de calidad de agua realizados tanto en fuente como en la red de distribución, de acuerdo a esta caracterización, disponibilidad de equipos en el mercado y, acorde al desarrollo socioeconómico y patrones culturales existentes se determina el tratamiento de agua a implementar.

De los resultados de las analíticas realizadas, se selecciona los siguientes parámetros a considerar para el diseño de la potabilizadora:

- Conductividad
- pH
- Turbidez
- Coliformes totales
- Cloro residual

En cuanto a la demanda de agua para cubrir las necesidades de la población de Cangonamá, se ha calculado en base a la normativa vigente en el Ecuador para poblaciones rurales inferiores a mil habitantes. Código de práctica Ecuatoriano (CPE INEN 5).

Más el objetivo de diseño de este trabajo, tiene como horizonte una población de 500 Habitantes, por tanto los cálculos se realizan con este dato de población.

Para determinar la dotación media del servicio, la normativa señala que de acuerdo al nivel de servicio la dotación para un clima frío será de *75-100 L/Hab/día*.(CPE INEN 5,pag. 19), se adopta un valor de *80 L/Hab/día*.

Para establecer el caudal necesario, previamente se realiza los cálculos de consumo medio diario (Cmd), consumo máximo diario (QMD), consumo máximo horario (QMH), Caudal mínimo requerido en fuente (Q_{fuente}), Caudal de captación (Q_{CAPT}), Caudal de conducción (Q_{CONDUC}), Caudal de la planta de tratamiento (Q_{TRATAM}).y Volumen de almacenamiento (V_{ALMAC}). (CPE INEN 5, pág. 20-22).

4.1.8 Ubicación y ensayos de puesta en marcha.

La ubicación definitiva donde se construirá la instalación se define en el ítem 4.1.3 y de este trabajo de la instalación participarán los técnicos designados por la comunidad, y se establece los mecanismos de control de verificación del buen funcionamiento de la potabilizadora.

4.1.9 Control y seguimiento de operación.

4.1.9.1 Elaboración de manual de operación y mantenimiento.

Este documento está dirigido a técnicos encargados de la operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua. Presentará las pautas para mantener correctamente los sistemas de captación y servicio de agua potable, lo cual permite asegurar a los habitantes el consumo de agua de buena calidad, proporcionar agua en forma constante, prolongar la vida de los componentes del sistema y disminuir los gastos en sus reparaciones.

El buen funcionamiento de los sistemas de tratamiento depende del constante mantenimiento y una adecuada operación del sistema, puesto que esto contribuirá en primer lugar a obtener un normal tratamiento sin interrupciones, con agua de calidad y cantidad para cubrir las necesidades de la población, como también se evitará el deterioro de las diferentes unidades del sistema.

Se debe incluir información de la operación y mantenimiento, por un lado, de las captaciones de manantiales y, por otro, de reservorios de almacenamiento. En el caso de la operación, se desarrollarán las acciones adecuadas y oportunas que se efectuarán para que la captación de manantial, funcione en forma continua y eficiente. Así mismo, con la finalidad de prevenir o corregir daños en la captación, se desarrollarán dos tipos de mantenimiento, preventivo y correctivo. En el primer caso, para evitar los problemas de funcionamiento y, en el segundo, para reparar los daños causados por acciones extrañas o imprevistas o deterioros normales del uso.

Finalmente, se incorporará información sobre la limpieza y desinfección de las captaciones, estructuras de tratamiento, esto es filtro de arena y membranas y su frecuencia (mensual, trimestral y anual) y los trabajos a realizar así como las herramientas y materiales necesarios.

4.1.9.2 Control y seguimiento de la calidad del agua

El programa de monitoreo de calidad de agua de consumo obedece a los requerimientos de calidad de agua establecidos en las normativas vigente en el país y en las directrices de la OMS con estándares internacionales.

La Norma Técnica ecuatoriana (CPE INEN 5) establece los diferentes parámetros a vigilar en seis diferentes grupos. Estos son:

Tabla 4. 1 Parámetros I

Fuente: Código de práctica Ecuatoriano (CPE INEN 5), 1997

Parámetro	Límite deseable	Límite máximo permisible
Turbiedad (UNT)	5	20
Cloro residual (mg/L)	0.5	0.3 – 1.5
pH	7.0 – 8.5	6.5 – 9.5

Tabla 4. 2 Parámetros II

Fuente: Código de práctica Ecuatoriano (CPE INEN 5), 1997

Parámetro	Límite deseable	Límite máximo permisible
Coliformes Totales (NMP/100 cm ³)	Ausencia	Ausencia
Color (UC Pt-Co)	5	30
Olor	Ausencia	Ausencia
Sabor	Inobjetable	Inobjetable

Tabla 4. 3 Parámetros III

Fuente: Código de práctica Ecuatoriano (CPE INEN 5), 1997

Parámetro	Límite deseable	Límite máximo permisible
Dureza (mg/L CaCO ₃)	120	300
Sólidos totales disueltos (mg/L)	500	1000
Hierro (mg/L) 500	0.2	0.5
Manganeso (mg/L)	0.005	0.3
Nitratos (mg/L NO ₃ -)	10	40
Sulfatos (mg/L)	50	400

Tabla 4. 4 Concentración de fluoruros (mg/L)

Fuente: Código de práctica Ecuatoriano (CPE INEN 5), 1997

Promedio anual de temperatura en °C	Límite deseable	Límite máximo permisible
10.0 – 12.0	1.27 – 1.17	1.7
12.1 – 14.6	1.17 – 1.06	1.5
14.7 – 17.6	1.06 – 0.96	1.3
17.7 – 21.4	0.96 – 0.86	1.3
21.5 – 26.2	0.86 – 0.76	0.8
26.3 – 32.6	0.76 – 0.65	0.8

Tabla 4. 5 Parámetros IV

Fuente: Código de práctica Ecuatoriano (CPE INEN 5), 1997

Parámetro	Límite máximo permisible (µg/L)
Aldrín	0,03
Dieldrín	0,03
Clordano	0,03
DDT	1,00
Endrín	0,20
Heptaclorepóxido	0,10
Lindano	3,00
Metoxicloro	30,00
Toxofeno	5,00
Clorofenoxy 2,4,D	100,00
2,4,5 – TP	10,00
2,4,5 – T	2,00
carbaril	100,00
diazinón	10,00
metil parathión	7,00
parathión	35,00

Tabla 4. 6 Parámetros V
Fuente: Código de práctica Ecuatoriano (CPE INEN 5), 1997

Parámetro	Límite deseable	Límite máximo permisible
Arsénico (mg/l)	0,00	0,05
Plomo (mg/l)	0,00	0,05
Mercurio (mg/l)	0,00	0,00
Cromo hexavalente (mg/l)	0,00	0,05
Cadmio (mg/l)	0,00	0,005
Selenio (mg/l)	0,00	0,01
Cianuro (mg/l)	0,00	0,00
Cloroformo (mg/l)	0,00	0,20

Al existir una gama muy amplia de componentes microbianos y químicos del agua de consumo que puede ocasionar efectos adversos sobre la salud de las personas. Su detección, tanto en el agua cruda como en el agua suministrada a los consumidores, suele ser lento, complejo y costoso, lo que limita su utilidad para una alerta anticipada y hace que resulte poco asequible. Pues en el caso de los países en vías de desarrollo ese ha sido la principal limitante para un correcto seguimiento. Por lo tanto el plan de monitoreo debe centrarse en las características principales o de importancia crítica.

También pueden resultar de importancia ciertas características no relacionadas con la salud, como las que afectan significativamente a la aceptabilidad del agua. Cuando las características estéticas del agua (por ejemplo, su aspecto, sabor y olor) sean inaceptables, podrá ser necesario realizar estudios adicionales para determinar si el agua presenta problemas relevantes para la salud.

En este caso se propone realizar el monitoreo de los siguientes parámetros:

Conductividad, pH, Turbidez, coliformes totales y cloro residual, basando el criterio de selección en los resultados de las analíticas donde los parámetros examinados están dentro de los límites admisibles, excepto los niveles de pH, concentración de coliformes totales, gérmenes totales y cloro residual, los valores como turbidez y conductividad son de importancia para el tratamiento de membranas a implementar y la desinfección.

4.1.10 Meta Sanitaria en la población.

Para el control de las enfermedades de origen hídrico, se plantea una “meta sanitaria” En este caso en particular se tiene un elevado porcentaje de parasitosis, enfermedad transmitida por el agua que genera una carga de morbilidad mensurable, una reducción de la exposición por

medio del agua de consumo puede reducir de forma apreciable la morbilidad general. En tales circunstancias, es posible establecer una meta de protección de la salud en términos de una reducción cuantificable de la morbilidad general.

Esta meta sanitaria es una responsabilidad del Ministerio de Salud pública del Ecuador; y de la investigación realizada, se ha logrado detectar el perfil epidemiológico del sector de Cangonamá, a través de la revisión de históricos de las enfermedades en los últimos 5 años proporcionados por el Subcentro de salud local y Hospital del cantón, por tanto como propuesta de seguimiento de las enfermedades de origen hídrico, se propone realizar el mismo método de recopilación de datos estadísticos de morbilidad en el sector donde se construya la potabilizadora y solicitar al personal médico del subcentro existente que se registre datos adicionales que nos proporcione resultados concluyentes acerca de la eficiencia y consecución del objetivo planteado, esto, por cada atención que se añada en la ficha de control médico que se incluya una matriz que sea de fácil entendimiento y de llenar.

Adicionalmente se deberá continuar con el seguimiento de la asistencia a los centros educativos de nivel primario o básico, para verificar la causa de inasistencia a clases por causa de enfermedades relacionadas al agua.

Se establece la recolección de información de forma trimestral, con la finalidad de evitar la dispersión de la información y posibles pérdidas.

Seguidamente, en la Figura 4.2, se muestra resumida la metodología indicada anteriormente, para la ejecución del presente Trabajo Final de Máster

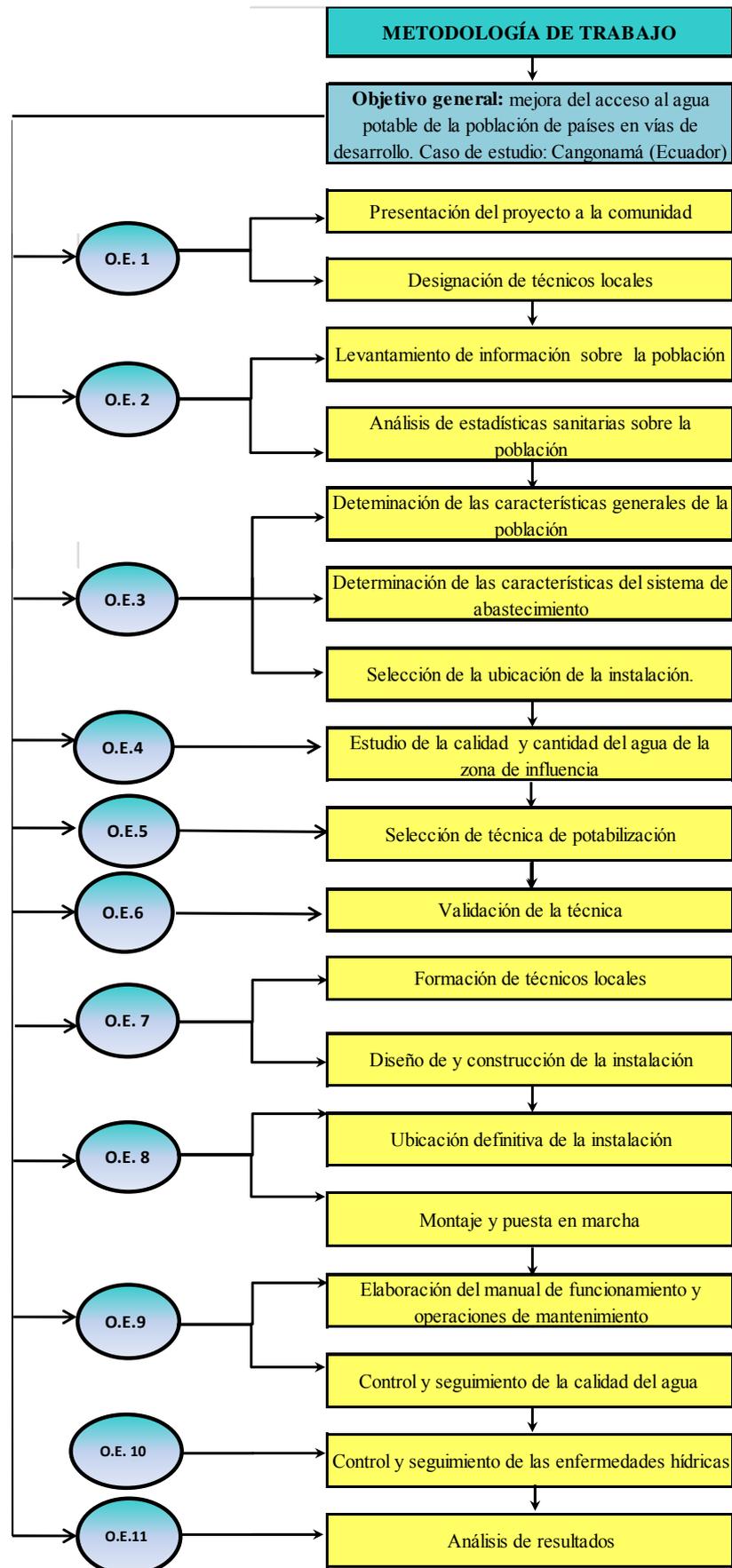


Figura 4. 1 Esquema de metodología de trabajo.
Fuente: Elaboración propia.

5. RESULTADOS.

Seguidamente se muestran los resultados obtenidos de la presente investigación aplicando la metodología anotada.

5.1 O.E. 1: SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO

5.1.1 Presentación

Como se ha mencionado en el apartado 4.1.1 para conseguir el involucramiento de la población a ser beneficiada, se desarrolla un plan de comunicación y sensibilización y se desarrollan varias reuniones de trabajo e informativas a la población de la parroquia Cangonamá, donde se explica sobre la importancia de poseer un servicio de agua de calidad y en cantidad suficiente para cubrir sus necesidades básicas para el consumo y tareas del hogar, sobre todo el impacto que tiene sobre su salud el beber agua segura, libre de contaminantes.



Figura 5. 1 Socialización del proyecto a la comunidad de Cangonamá-Ecuador

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5.1 se observa a la comunidad reunida en la socialización del proyecto. Durante la ejecución de estas actividades, además se determina que el suministro de agua a la población es permanente durante las 24 horas del día, aunque existen ocasiones que interrumpen el servicio por la gran cantidad de material en suspensión que llega a los puntos de red especialmente en la época de invierno que se producen fallas y se contaminan las redes de distribución; o bien por labores de mantenimiento.

En estas reuniones se involucra a las autoridades y líderes locales, así como al personal docente de los dos centros educativos que existen en la población, quienes posteriormente serán parte fundamental para la consecución de información y parte de organización de la

RESULTADOS

comunidad. Durante la presentación del proyecto y en visitas a sus viviendas, con la finalidad de determinar los antes mencionados parámetros del método SHTEFIE y determinar las condiciones sociales, económicas, de salud ,sanitarias y disposición al trabajo por parte de los habitantes de este sector, se aplica una encuesta descriptiva de respuesta cerrada que se la denomina encuesta socio económica sanitaria. Los resultados se presentan en la tabla 5.1.

Tabla 5. 1 Resultados de encuesta socio económica-sanitaria.

Fuente: Elaboración propia

POBLACIÓN							
0-10 años	11-20 años	21-30 años	31-50 años	51-70 años	71-90 años	> 90 años	Total
61	63	38	72	52	15	0	301
VIVIENDA							
Propia	Alquilada	Local Público		Abandonada	En construcción		Total
72	2	3		0	0		77
ACTIVIDAD ECONÓMICA							
Agricultura/Ganadería		Obrero	Jornalero		Empleado público		Total
43		0	2		42		87
ACTITUD SOCIAL							
Hacia el esfuerzo comunitario			Aporte				
Favorable	Indiferente	Desfavorable	Trabajo	materiales	Diseño	Otros	
77	0	0	43	0	0	26	
ABASTECIMIENTO DE AGUA							
Fuente		Protección		Conexión domiciliar		Tratada	
Pozo	Vertiente	Si	No	Si	No	Si	No
0	77	77	0	77	0		77
DISPOSICIÓN DE EXCRETAS							
Alcantarillado sanitario				Letrina			
Si		No		Pozo seco		Arrastre de agua	
77		0		4		2	
DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS							
Orgánicos				Inorgánicos			
Bota al huerto	Utiliza para Abono	Deposita en el recolector		Entierra	Quema	Deposita en recolector	
5	6	66		5	6	66	

5.1.2 Designación de técnicos locales.

La designación de los técnicos que se capacitarán para la construcción y puesta en marcha de la potabilizadora, se da por parte de la población de Cangonamá durante las asambleas realizadas en la fase de presentación. . En este caso, al existir una forma de organización local para la administración del sistema de agua denominada “Junta administradora de agua (JAA) de Cangonamá”, que es autónoma y tiene una directiva conformada por: Presidente, tesorero y secretario, por unanimidad la asamblea designa a estos como responsables del proyecto sumándose además el presidente de la Junta parroquial.

Ya en esta etapa, los técnicos designados: Presidente de la JAA y miembros de la directiva, se organizan y mejoran las instalaciones del tanque de almacenamiento existente en el sector la Cruz, a través de las denominadas mingas



Figura 5. 2 Instalaciones mejoradas del sector La Cruz (tanque de almacenamiento)

Fuente: Elaboración propia

5.2 O.E.2: ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO.

5.2.1 Información sanitaria de la población.

Los datos proporcionados por el subcentro de salud de la parroquia sobre las causas de morbilidad de la población de Cangonamá, se detallan en la tabla 5.2

Tabla 5. 2 Principales causas de morbilidad en la parroquia Cangonamá
Fuente: Subcentro de salud de Cangonamá (Ecuador)

Principales causas de morbilidad en la parroquia Cangonamá							
Causa	Año						
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Enero-Marzo/2015
Parasitosis	221	174	150	170	164	104	87
Infección respiratoria	118	109	100	99	100	134	97
Faringoamigdalitis	57	42	45	40	50	56	-
Enfermedades de la piel	60	25	34	20	30	12	13
Desnutrición	45	24	43	28	28	-	-
Gastroenteritis bacteriana	-	20	20	30	28	-	-
Enfermedad diarreica	35	19	15	25	30	16	2
Neuritis	61	19	16	10	15	-	-
Neumonía	65	-	-	-	-	-	-
Artritis reumatoidea	24	18	17	20	12	-	-
Traumatismos	13	14	13	20	18	-	-
Total	699	464	453	462	475		-

En el gráfico 5.1 se observa el perfil epidemiológico de Cangonamá y la variación de las diferentes enfermedades en el periodo 2009 - 2015. Se tiene que el valor más alto de las enfermedades atendidas en todo el periodo es por parasitosis y, que la tendencia se mantiene, aunque se puede visualizar un pequeño descenso del año 2009 a los siguientes años, de aquí en adelante la tendencia es la misma, y persistirá si no se toman las medidas correctivas que corresponden en cuanto al servicio de “agua potable se refiere”. Los datos se han graficado hasta el año 2014 ya que los casos que los datos del 2015 son solamente del primer trimestre, no se los puede incluir en la gráfica por no ser los totales del año en curso.

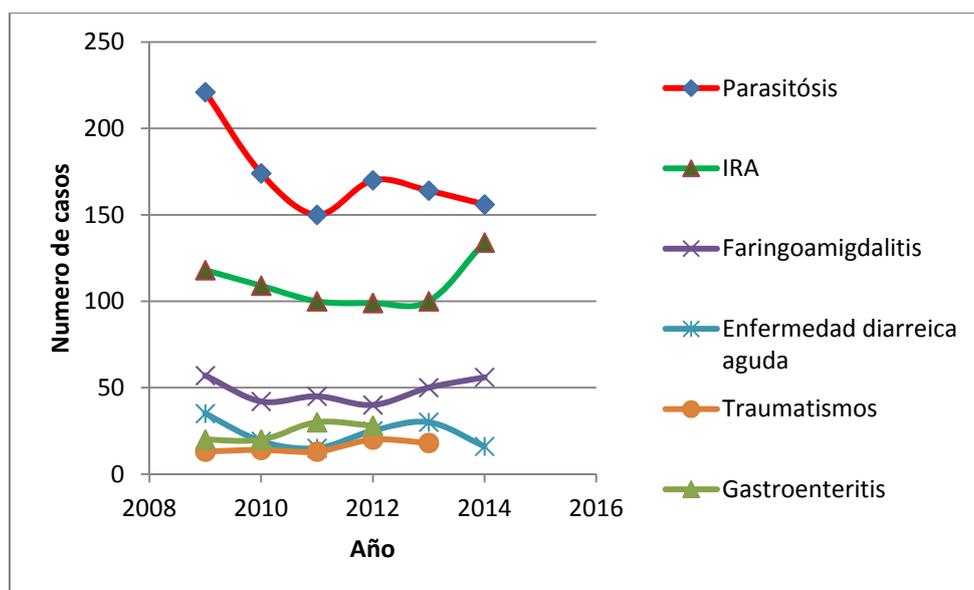


Grafico 5. 1 Perfil epidemiológico de Cangonamá – Ecuador
Fuente: Subcentro de Salud Cangonamá

5.2.2 Análisis de estadísticas sanitarias.

Para el análisis de las enfermedades catalogadas como de origen hídrico, se resume los resultados del perfil epidemiológico general y se agrupa las siguientes patologías: parasitosis, enfermedad diarreica aguda y enfermedades de la piel; se presentan en la tabla 5.3 y se observa que estas fluctúan entre el 45% - 49 % del total

Tabla 5. 3. Patologías atendidas en Cangonamá
Fuente: Elaboración propia

Descripción	N° de casos por año						Enero-marzo/2015
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Enfermedades de origen hídrico	316	218	199	215	224	132	102
Otras	383	246	257	247	252	-	-
Total de casos	699	464	456	462	476	-	-
% E.O.H.	45,2	51,3	48,7	46,5	47,1	-	-
% OTRAS	54,8	48,7	51,3	53,5	52,9	-	-

RESULTADOS

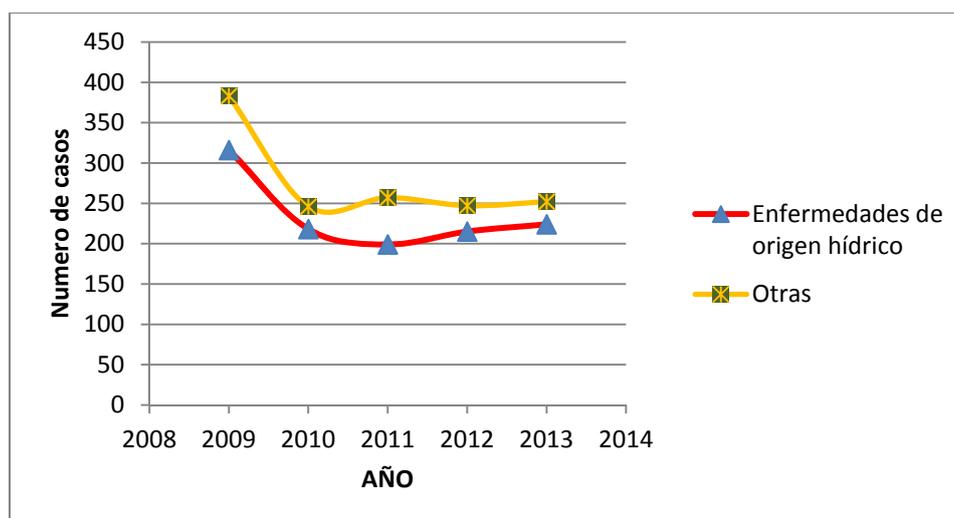


Grafico 5. 2 Enfermedades de origen hídrico de la población de Cangonamá

Fuente: Subcentro de Salud Cangonamá

En la gráfica se analiza que las enfermedades de origen hídrico alcanzan aproximadamente el 50% de morbilidad total, es decir en este grupo de únicamente tres enfermedades, se equipara con la suma del grupo más grande de enfermedades que no son de origen hídrico, lo cual refleja la mala calidad de agua de consumo y sus consecuencias en la salud de las personas, que va de la mano con la precariedad de la economía familiar de los pobladores de Cangonamá cuyos ingresos no superan los \$ 150 mensuales.

Como una segunda fuente de información se tiene los resultados del seguimiento a los porcentajes de ausentismo escolar debido a enfermedades de origen hídrico, durante los periodos escolares (2013 – 2014) y (2014 – 2015) y se presentan a continuación en las tablas 5.4 y 5.5

Tabla 5. 4 Ausentismo a clases por enfermedad

Fuente: Elaboración propia

Incidencia de inasistencia a clases Niños de Nivel primario (2013-2014)				
Nivel/grupo de edad (años)	Numero de niños matriculados	Numero de días clases obligatorios (anual)	Inasistencia	%
Primer grado/ (5 - 6)	7	1400	48	3,43
Segundo grado / (6 - 7)	6	1200	5	0,42
Tercer grado / 7 - 8)	10	2000	6	0,30
Cuarto grado / (8 - 9)	8	1600	8	0,50
Quinto grado / (9 - 10)	11	2200	9	0,41
Sexto grado / (10- 11)	10	2000	17	0,85
Séptimo grado / (11- 12)	8	1600	4	0,25
Total	60		97	

Tabla 5. 5 Ausentismo a clases por enfermedad

Fuente: Elaboración propia

Incidencia de inasistencia a clases Niños de Nivel primario (2014-2015)				
Nivel/grupo de edad (años)	Numero de niños matriculados	Numero de clases obligatorios (anual)	Inasistencia	%
Primer grado/ (5 - 6)	7	1400	56	4,00
Segundo grado / (6 - 7)	6	1200	18	1,50
Tercer grado / 7 - 8)	6	1200	9	0,75
Cuarto grado / (8 - 9)	10	2000	5	0,25
Quinto grado / (9 - 10)	8	1600	11	0,69
Sexto grado / (10- 11)	11	2200	7	0,32
Séptimo grado / (11- 12)	9	1800	17	0,94
Total	57		123	

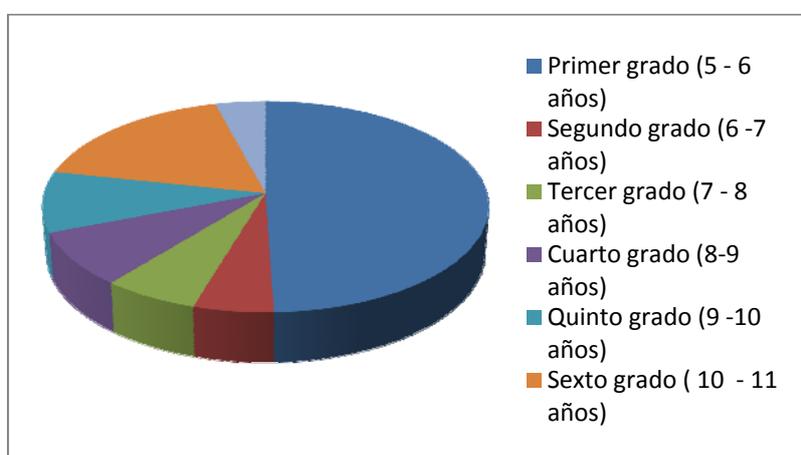


Grafico 5. 3 Porcentaje de inasistencia escolar por enfermedades de origen hídrico (2013-2014)

Fuente: Registro de docentes

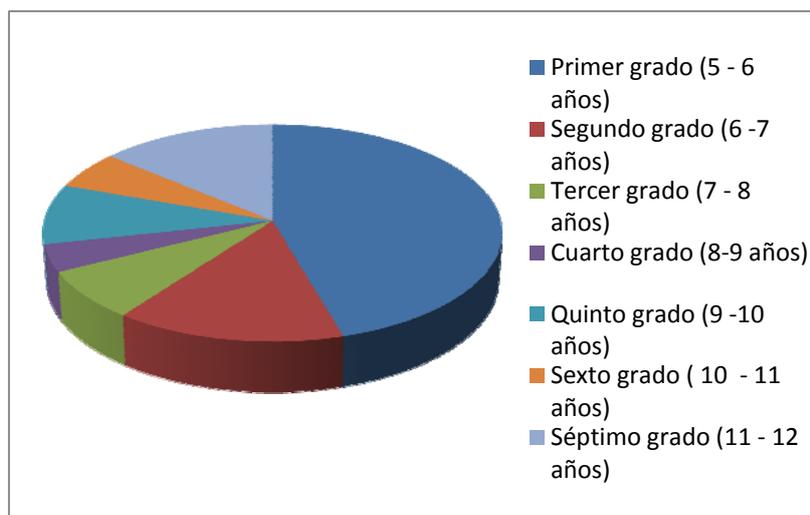


Grafico 5 4 Porcentaje de inasistencia escolar por enfermedades de origen hídrico (2014-2015)

Fuente: Registro de docentes

En los gráficos 5.3 y 5.4 se observa que el mayor porcentaje de ausencia de los niños a clases se presenta en el grupo de los niños de 5 a 6 años, del primer año de escuela. Pertenecen al grupo más vulnerable conjuntamente con los ancianos. No se ha podido determinar si los casos de enfermedades de origen hídrico son más recurrente en los niños menores de 5 años por falta de información, pero los datos estadísticos que presentamos nos pueden dar una idea clara de que con seguridad estos problemas son comunes y con mayor frecuencia en los más pequeños. Por otro lado las estadísticas globales a nivel de país, así lo demuestran.

5.3 O.E.3: RECONOCIMIENTO DE LA ZONA.

5.3.1 Características generales de la población.

Las características generales de la población se determinan a través de las visitas y recorridos a la zona del proyecto y se resumen en la tabla 5.6.

Tabla 5. 6 Características generales de la población.
Fuente: Elaboración propia

Descripción	Resultado
Población beneficiaria actual	301 Habitantes
Raza - etnia	Mestiza
Topografía	Pendientes entre el 25 – 50%
Temperatura media	16-25 °C
Abastecimiento de agua	De la red pública
Fuentes de abastecimiento	De manantial
Riesgos de contaminación de fuentes	Actividades agrícolas y ganaderas
Forma de organización de uso de agua	Junta Administradora de agua (JAA)
Predisposición al desarrollo comunitario	Excelente

En la figura 5.3 se presentan imágenes panorámicas de la parroquia Cangonamá, se trata de una comunidad rural ubicada en el cerro Cango, por lo que las pendientes de sus calles son fuertes y su superficie de rodadura en las calles principales son de adoquín, las condiciones favorecen para el diseño de una red de distribución a gravedad.



Figura 5. 3 Panorámica del centro poblado y área circundante de Cangonamá – Ecuador
Fuente: Elaboración propia.



Figura 5. 4 Área de emplazamiento de tanque recolector /desarenador de Cangonamá – Ecuador
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5.4 se tiene una imagen del tanque recolector de caudales del sistema de agua existente, como se observa no tiene protección y el área circundante son terrenos de cultivo y pastoreo. Lo cual se constituye en un riesgo de contaminación frecuente de las fuentes de abastecimiento. A pesar de que las captaciones están en la parte alta del cerro Cango a una cota superior a 1980 m. están expuestas al paso libre de personas. y animales

La población posee calles con una pendiente superior al 25%, por tanto favorece para el diseño de un sistema a gravedad.

Las dos instituciones educativas del lugar están en la parte más baja de la población, en la Figura 5.4 se tiene la imagen de la entrada al colegio local, que es favorable para la implementación de puntos de agua saludables (PAS) para cumplir con los requerimientos de la OMS (2015) que en su publicación del Decenio Internacional “Agua fuente de vida” asegura: “Todo el mundo tiene derecho a la unos servicios de agua y saneamiento accesibles físicamente dentro o situados en la inmediata cercanía del hogar, de las instituciones académicas, en el lugar de trabajo o en las instituciones de trabajo. De acuerdo a la OMS, la fuente de agua debe encontrarse a **menos de 1000 metros** del hogar y su tiempo de desplazamiento para su recogida no debería superar los **30 minutos**.”

5.3.2 Características del sistema de abastecimiento de agua.

El sistema de abastecimiento existente en la localidad consta de las unidades ya enunciada anteriormente, a continuación en la Figura 5.5 se presenta un diagrama de bloques del mismo.

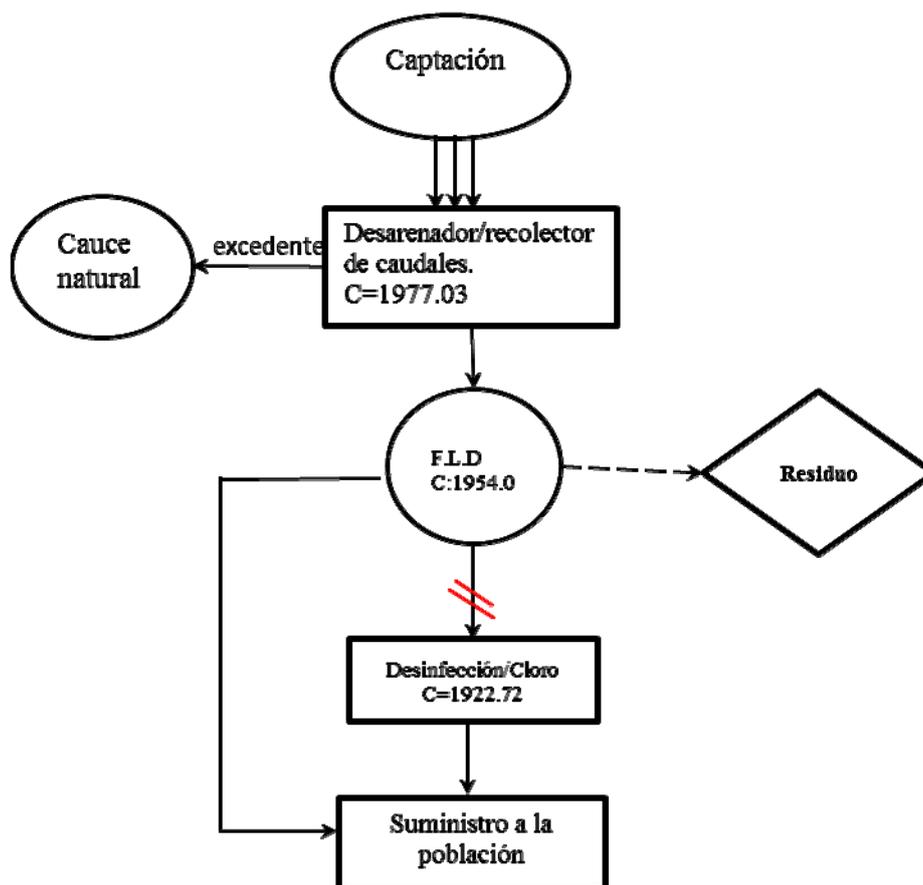


Figura 5. 5. Diagrama de bloques de sistema de agua existente.
Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la evaluación física de las unidades del sistema, se detallan a continuación:

5.3.2.1 Captaciones.

El sistema de agua se abastece principalmente de tres fuentes que afloran a la superficie como vertiente denominadas: El Coco 1 y 2 y Pitapuro. Las estructuras para la captación son del tipo de captación de lecho sumergido y por el paso del tiempo, falta de mantenimiento y eventos extraordinarios de lluvias en el caso de la captación denominada del Coco 1, no es visible a simple vista, se encuentra sepultada por material pétreo Figura 5.6; a una distancia de 14 m. encontramos la captación el Coco 2. La captación de Pitapuro al igual que las de El Coco es de tipo de lecho sumergido.

Las condiciones de funcionamiento son deficientes y las unidades se encuentran en mal estado como se puede observar en la Figura 5.6. Están expuestas al libre acceso para personas y animales. Se encuentran ubicadas en terrenos de cultivo y existe el paso o tránsito de ganado.

Las coordenadas geográficas y altitud se detallan en la tabla 5.7

Tabla 5. 7 Coordenadas de ubicación geográfica de fuentes de agua cruda
Fuente: Elaboración propia

Denominación	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)
EL Coco 1	643409 E	9561075 N	1988,10
El Coco 2	643420 E	9561066 N	1985.88
Pitapuro	643457 E	9560980 N	1980.00



Captación El Coco 1. Estructura sepultada



Captación El Coco 2. Estructura sin protección



Captación: Pitapuro

Figura 5. 6 Fuentes de agua cruda y unidades de captación
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5.7 se tiene un esquema de la ubicación de las tres captaciones en los manantiales con sus respectivas cotas o elevación en el terreno

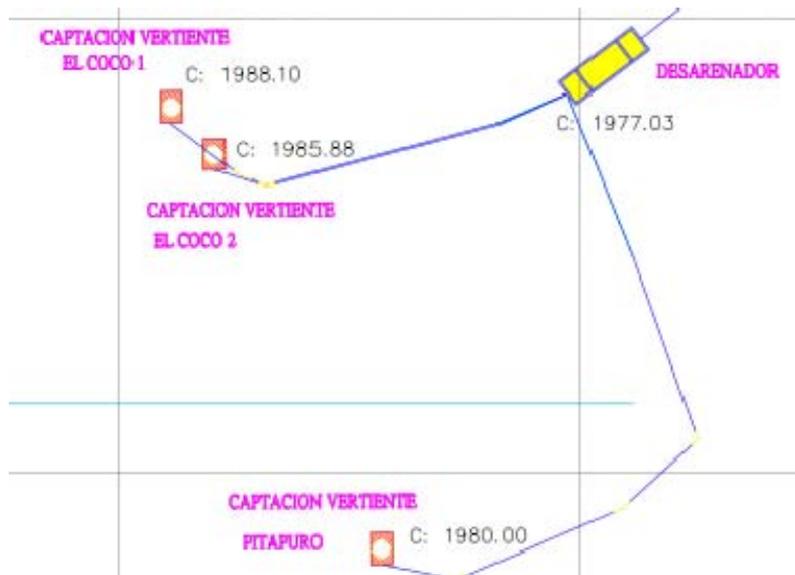


Figura 5. 7 Esquema de ubicación de captaciones del sistema
Fuente: Elaboración propia

5.3.2.2 Desarenador

Existe una estructura que cumple las funciones de tanque recolector de los tres caudales de captación, a saber, del flujo que proviene de las captaciones de El Coco1 - 2, y Pitapuro. A la vez está diseñado para funcionar como desarenador de flujo horizontal. Es una obra construida en el año 2012, al igual que las captaciones no existen obras de protección, no tiene cerco o cerramiento de protección. Fig. 5.8



Figura 5. 8 Tanque recolector y desarenador
Fuente: Elaboración propia

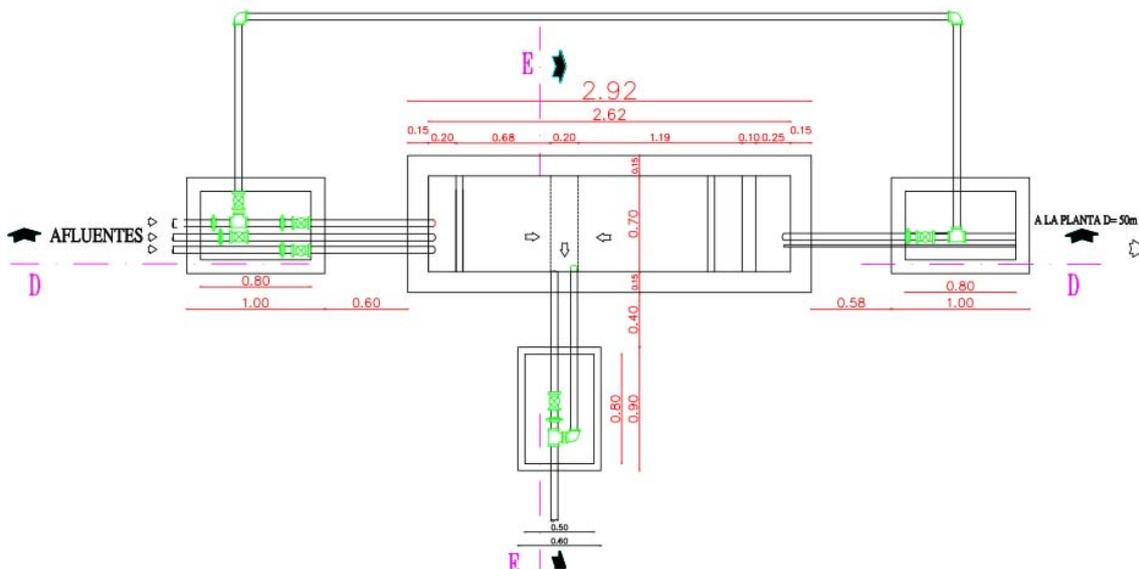


Figura 5.9 Planta de tanque recolector y desarenador

Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 5.9 se presenta el levantamiento en planta del tanque de recolección de caudales y desarenador. A este desarenador llegan las 3 tuberías provenientes de las tres captaciones existentes cuyo caudal en suma varía desde 1.30 l/s en verano a 1.74 l/s en invierno cuando se han recargado los acuíferos.

5.3.2.3 Conducción.

Se constituye por tres líneas de tubería de policloruro de vinilo (PVC) provenientes de las Captaciones El Coco 1 y EL Coco 2, con un diámetro de 63 mm. y 50 mm. respectivamente y la tercera de la captación de Pitapuro con un diámetro de 50 mm. Uniéndose en el tanque recolector y desarenador, desde este punto sale con un solo diámetro de 50 mm en dirección a la planta de tratamiento existente. Los dos primeros ramales, con longitudes aproximadas de 1025m en la primera y 1107m en la segunda, tomando en cuenta distancias desde la captaciones hasta la Planta de Tratamiento. El tercer ramal la conducción desde la captación Pitapuro-Desarenador-Planta de tratamiento, con una longitud de 1040m. No se han determinado pérdidas.

5.3.2.4 Planta de tratamiento.

La denominada planta de tratamiento está constituida únicamente por un filtro lento descendente (FLD) y pasa directamente a la desinfección, a continuación se detalla:

a. **Un tratamiento físico** constituido por un filtro lento descendente o filtro biológico de sección circular con un diámetro de 3.10 m y 1.75m de altura, el mismo que está construido de hormigón armado con un volumen de 13.2 m³ de capacidad, a la fecha no funciona correctamente por la falta de mantenimiento, lo cual ha disminuido su tasa de filtración y remoción de sólidos suspendidos, por el contrario produce contaminación por materia orgánica al producirse el crecimiento de la biopelícula que al desprenderse produce materia orgánica sedimentable.



Figura 5. 10 Filtro lento descendente

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5.10 se tiene la estructura del FLD existente, no existen unidades para tratamientos químicos como la coagulación y posterior floculación.

b. **Desinfección.** La desinfección se la realiza por el método de electrólisis salina con el equipo denominado “Equipo Clorid”, Figura 5.11, con la que se obtiene cloro de la sal de uso doméstico, la dosificación utilizada no se ha podido determinar en razón por falta de información de la persona responsable de este equipo, en términos generales, actualmente no se encuentra en funcionamiento, de tal forma que el agua no tiene desinfección. El equipo se encuentra dentro de una caseta de cloración que se conecta o descarga el hipoclorito de sodio a un tanque de mezcla y desde este al tanque de almacenamiento.



Figura 5. 11 Equipo Clorid – Desinfección
Fuente: Elaboración propia

c. **Almacenamiento:** Existen dos tanques de almacenamiento, de hormigón armado, el primero de forma rectangular ubicado en la planta de tratamiento y otro en el sector llamado La Cruz, con una capacidad de 17.1 m³, ver Figura 5.12



Figura 5. 12 Tanque de almacenamiento
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar las condiciones físicas son alarmantes y la falta de salubridad del lugar agrava el problema de calidad de agua de distribución y consumo.

5.3.2.5 Red de distribución.

Debido a los cambios de diámetros en las tuberías de la conducción y en tramos de la red de distribución que se han ejecutado, el funcionamiento hidráulico de la red es deficiente y por lo tanto se producen daños frecuentes como roturas, lo que produce pérdidas de caudal y afectan a la calidad de agua por la contaminación que se produce por las infiltraciones que se pueden estar dando a las tuberías de la red de distribución. Por las analíticas realizadas a las muestras

de agua y ejecutadas en diferentes épocas del año, se determina que existe contaminación en algún punto de la red por la presencia de coliformes. Esto unido a la falta del proceso de desinfección, se ha constituido en un grave problema sanitario para la población.

La red de distribución del sistema existente en la parroquia Cangonamá, presenta las siguientes características:

a) La red proveniente del tanque de almacenamiento ubicado en la planta de tratamiento está construida con tres diámetros nominales: 50 mm, 32 mm, y 25 mm, sirve para dotar del servicio a 81 usuarios o conexiones.

b) La segunda red proveniente del tanque de reserva ubicado a una cota superior al tanque de reserva principal (115m), está construida con diámetros de 40 mm y 20 mm. Y sirve para brindar el servicio a 5 usuarios, que por efectos de estar sobre la cota del tanque de almacenamiento principal se dio solución al servicio con la construcción del tanque secundario para cubrir las necesidades de 5 familias.

c) No cuenta con válvulas reguladoras de presión, razón por la cual en la parte baja de la parroquia, en los nudos, se presentan altas presiones en la tubería, y están fuera de los límites que establece la Norma MDGIF-MIDUVI, CO 10.7-602, vigente en el Ecuador, que establece una presión dinámica en el rango de 7 m.c.a. a 30 m.c.a. y en régimen permanente de 5 m.c.a. a 50 m.c.a.



Figura 5. 13 Esquema de red de distribución existente
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5.13 se tiene un esquema de la red de distribución existente, tiene un periodo de funcionamiento de más de 10 años y llega con el servicio a toda la población.

Se ejecuta la evaluación del funcionamiento hidráulico de la red existente, utilizando el programa de uso libre EPANET V.2 y se verifica velocidad y presión que es el parámetro hidráulico que produce los daños en el sistema.

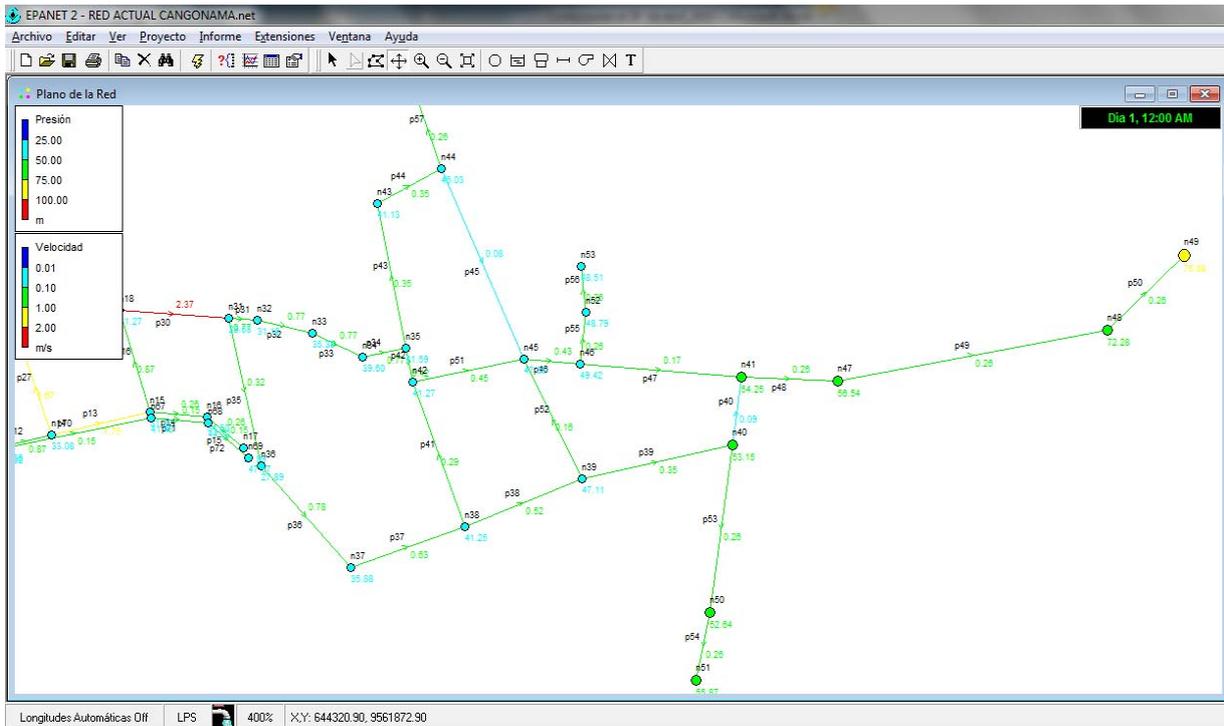


Figura 5. 14 Simulación de red de distribución en EPANET
Fuente: Elaboración propia

En la figura 5.14 se puede observar los resultados de la simulación de la red de distribución y, se tienen valores de presión de hasta 75.28 m.c.a.

5.3.3 Ubicación de la instalación

La matriz de ponderación de los puntos preseleccionados para la ubicación de la instalación, da como resultado los datos que se detallan en la tabla 5.8.

Tabla 5. 8 Evaluación de emplazamiento.
 Ponderación de factores: 1=Mal 2=Regular 3=Bien
Fuente: Elaboración propia.

Emplazamiento propuesto	Factor							TOTAL
	A	B	C	D	E	F	G	
Colegio	3	2	3	2	1	3	2	16
Escuela	3	2	3	2	1	3	2	16
Centro de salud	2	1	3	2	1	2	2	12
Edificio del GAD Parroquial	3	1	3	2	1	3	2	15
Tanque de almacenamiento y distribución	3	3	3	3	3	3	3	18

En base a los resultados, se observa que el sector donde se encuentra funcionando el tanque de almacenamiento del sistema, presenta el valor más alto, es decir las condiciones requeridas se cumplen con mayor ventaja. Por tanto, donde se decide que el emplazamiento de la potabilizadora será en el sector La Cruz donde existe el tanque de almacenamiento

5.4 O.E.4: CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA DISPONIBLE

5.4.1 Cantidad de agua

Se ejecuta el aforo utilizando el método volumétrico, como se puede ver en la Figura 5.15; donde a partir del volumen conocido de un recipiente (2.60 L), se registra el tiempo de llenado, se promedia (Prom) y se aplica la ecuación dada en el ítem 4.1.4.1. Estos aforos se realizan en dos épocas distintas del año, a saber, en invierno (marzo) y en verano (agosto), obteniendo los resultados que se especifican en las tablas 5.9 y 5.10 respectivamente.



Figura 5. 15 Aforo de fuentes de abastecimiento
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Tabla 5. 9 Aforo de fuente en invierno
Fuente: Elaboración propia

Aforo de caudales en invierno									
Fecha: Sábado 23 de Marzo 2014									
Temperatura: 18°C									
Vertiente Pitapuro			Vertiente el Coco (1)			Vertiente el Coco (2)			
No	Tiempo (s)	Vol.(L)	No	Tiempo (s)	Vol.(L)	No	Tiempo (s)	Vol.(L)	
1	3.81	2.60	1	3.65	2.65	1	7.49	2.55	
2	3.85	2.60	2	3.53	2.65	2	7.49	2.55	
3	3.94	2.60	3	3.71	2.65	3	7.53	2.55	
4	3.53	2.60	4	3.50	2.65	4	7.35	2.55	
5	3.85	2.60	5	3.31	2.65	5	7.57	2.55	
6	3.88	2.60	6	3.63	2.65	6	7.75	2.55	
7	3.73	2.60	7	3.85	2.65	7	7.61	2.55	
8	4.08	2.60	8	3.72	2.65	8	7.63	2.55	
9	4.14	2.60	9	3.26	2.65	9	7.44	2.55	
10	4.18	2.60	10	3.73	2.65	10	7.42	2.55	
Prom.	3.90	2.60	Prom:	3.59	2.65	Prom:	7.53	2.55	
Caudal Q(L/s)=		0.67				0.74			0.34
Caudal Q(m ³ /día)=		57.14				63.81			29.28

Tabla 5. 10 Aforo de fuente en verano
Fuente: Elaboración propia

Aforo de caudales en verano									
Fecha: Viernes 9 de Agosto 2014									
Temperatura: 18°C									
Vertiente Pitapuro			Vertiente el Coco (1)			Vertiente el Coco (2)			
No	Tiempo (s)	Vol. (L)	No	Tiempo (s)	Vol. (L)	No	Tiempo (s)	Vol. (L)	
1	5.50	2.50	1	3.64	2.50	1	7.00	2.10	
2	6.10	2.50	2	4.05	2.50	2	7.50	2.10	
3	6.06	2.50	3	4.00	2.50	3	7.50	2.10	
4	5,9	2.50	4	4.25	2.50	4	8.00	2.10	
5	6,1	2.50	5	4.10	2.50	5	7.50	2.10	
6	5.90	2.50	6	4.00	2.50	6	7.80	2.10	
7	6.42	2.50	7	4.00	2.50	7	7.00	2.10	
8	6.58	2.50	8	4.10	2.50	8	8.00	2.10	
9	6.58	2.50	9	4.20	2.50	9	8.10	2.10	
10	6.58	2.50	10	4.20	2.50	10	8.00	2.10	
Prom.	6.17	2.50	Prom:	4.05	2.50	Prom:	7.64	2.10	
Caudal Q(L/s)=		0.41				0.62			0.27
Caudal (m ³ /día)=		35.0				53.28			23.75

El caudal de cada una de estas vertientes se suma y aportan al sistema de abastecimiento, que se recogen en el desarenador, en la cámara de llegada. El caudal total es de 1.30 l/s \approx 112.32 m³/día en verano o estiaje y, en época invernal se obtiene un caudal de 1.74 l/s \approx 150.34 m³/día.

5.4.2 Calidad de agua.

Los resultados de análisis de calidad de agua de consumo realizados en el año 2012 se enumeran en la tabla 5. 11, como se puede observar se detecta la presencia de Escherichia Coli, parámetro aceptado por la OMS como indicador de contaminación por coliformes fecales.

Tabla 5. 11 Resumen de análisis bacteriológico. (AQUA TEST)/2012
Fuente: Adaptado de: Solano, Correa. 2012

Fecha	Resultado E.COLI (UFC/100 ml).	Punto de muestreo	Observaciones
14/05/2012	110	Captación El Coco	Invierno
14/05/2012	10	Captación Pitapuro	Invierno
14/05/2012	10	Grifo	Invierno
24/09/2012	210	Captación El Coco	Verano
24/09/2012	10	Captación Pitapuro	Verano
24/09/2012	150	Tanque de distribución	Verano
24/09/2012	20	Red	Verano

En base a los datos y otros de índole social y técnico ya descritos anteriormente, se selecciona la población de Cangonamá para la ejecución de esta investigación. Se procede a la colecta de muestras para determinar la calidad de agua de fuente y en red a la fecha de este trabajo. Los resultados de laboratorio se analizan en base a los límites permisibles vigentes o establecidos en la normativa Ecuatoriana INEN 1108.

Por las condiciones de climáticas del sector, distancia entre el sitio de fuentes y punto de análisis y, de transporte; las muestras deben preservarse, para lo cual se utiliza un cooler portátil para mantener su temperatura y garantizar la calidad de la muestra y no sufra cambios en su composición.

En la Figura 5.16 se observa las muestras de agua tomada en los manantiales y su preparación para transporte hacia el laboratorio.



Figura 5. 16 Muestras de agua para analíticas
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las analíticas de calidad de agua en los puntos del sistema seleccionados son los que se detallan a continuación en las tablas 5. 12, 5.13 y 5.14

RESULTADOS

Tabla 5. 12 Resumen de análisis físico – químico Bacteriológico (Verano 1)
Fuente: Elaboración propia

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			Verano 1			
Parámetro	Expresado como	Limite permisible	El Coco 1 (agua cruda)	El Coco 2 (agua cruda)	Pitapuro (agua cruda)	Punto de red
Sabor	-	Inobjetable 100	Inobjetable 0	Inobjetable	Inobjetable	Inobjetable
Color	U.Pt-Co	-	0	0	0	0
Olor	-	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Temperatura	°C	Ausencia	19,6	19,5	19,6	19,9
Turbiedad	NTU	100	0	0	0	3
Sólidos totales	mg/l		42	74,0	70,9	64
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	1000	41,9	73,4	70,2	63,4
Sólidos disueltos volátiles	mg/l		39,2	71,9	69,4	62,9
Conductividad	μohms/cm	1250	84,0	146	140,5	126,2
Sólidos sedimentables	ml/l	Ausencia	0	0	0	0
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS						
Parámetro	Expresado como	Limite permisible	El Coco 1 (agua cruda)	El Coco 2 (agua cruda)	Pitapuro (agua cruda)	Punto de red
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5 - 9	6.10	6,30	6,40	6,0
Alcalinidad Total	mg/l	-	35	50	50	45
bicarbonatos	mg/l	250	35	50	50	45
Carbonatos	mg/l	120	0.00	0	0	0
Dureza Total	mg/l	500	30	55,0	55	45
Dureza Cálctica	mg/l	500	14,9	29,9	34,9	24,9
Dureza magnésica	mg/l	5	15,0	25,1	20	20,1
Hierro Total	mg/l	1,0	0,04	0,03	0,03	0,02
Sílice	mg/l	-	9,00	8,00	8,00	8,00
Cloro libre	mg/l	0,5	0	0	0	0
Nitrógeno Nitrato	mg/l	10	1	1	1,20	1,20
Nitrato	mg/l	45	4,40	4,40	5,28	5,28
Nitratos + Nitritos	mg/l	10	4,43	4,43	5,31	5,31
Anhídrido carbónico libre		5	2,20	2,18	2,10	2,00
Sulfatos	mg/l	400	0	0	0	0
Flúor	mg/l	1,5	0	0	0	0
CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS						
Parámetro	Expresado como	Limite permisible	El Coco 1 (agua cruda)	El Coco 2 (agua cruda)	Pitapuro (agua cruda)	Punto de red
Coliformes Totales	NMP/100 ml	<2*	20	18	16	3
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<2*				
Gérmenes Totales	U.F.C./ml	0	12000	11200	11800	920

RESULTADOS

Tabla 5.13. Resumen de análisis físico – químico Bacteriológico (Verano 2)
Fuente: Elaboración propia

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			Verano 2			
Parámetro	Expresado como	Limite permisible	El Coco 1 (agua cruda)	El Coco 2 (agua cruda)	Pitapuro (agua cruda)	Punto de red
Sabor	-	Inobjetable 100	Inobjetable	Inobjetable	Inobjetable	Inobjetable
Color	U.Pt-Co	-	0	0	0	0
Olor	-	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Temperatura	°C	Ausencia	19,5	19,4	19,4	19,7
Turbiedad	NTU	100	0	0	0	0
Sólidos totales	mg/l		42,9	73,8	70,8	64,1
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	1000	42,5	73,5	70,5	63,5
Sólidos disueltos volátiles	mg/l		41,4	72,1	69,8	62,7
Conductividad	μohms/cm	1250	85,0	147	141	127
Sólidos sedimentables	ml/l	Ausencia	0	0	0	0
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS						
Parámetro	Expresado como	Limite permisible	El Coco 1 (agua cruda)	El Coco 2 (agua cruda)	Pitapuro (agua cruda)	Punto de red
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5 - 9	6,10	6,20	6,40	6,40
Alcalinidad Total	mg/l		36	48	52	47
bicarbonatos	mg/l	250	36	48	52	47
Carbonatos	mg/l	120	0	0	0	0
Dureza Total	mg/l	500	30	54	54	44
Dureza Cálctica	mg/l	500	15	30,7	34,9	24,9
Dureza magnésica	mg/l	5	14,9	23,3	19,1	19,1
Hierro Total	mg/l	1,0	0,04	0,03	0,03	0,03
Sílice	mg/l		9,10	8,30	8,20	8,30
Cloro libre	mg/l	0,5	0	0	0	0
Nitrógeno Nitrato	mg/l	10	1	1	1,20	1,20
Nitrato	mg/l	45	4,40	4,40	5,28	5,28
Nitratos + Nitritos	mg/l	10	4,43	4,43	5,31	5,31
Anhídrido carbónico libre		5	2,20	2,12	2,0	2,20
Sulfatos	mg/l	400	0	0	0	0
Flúor	mg/l	1,5	0	0	0	0
CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS						
Parámetro	Expresado como	Limite permisible	El Coco 1 (agua cruda)	El Coco 2 (agua cruda)	Pitapuro (agua cruda)	Punto de red
Coliformes Totales	NMP/100 ml	<2*	18	20	18	1*
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<2*				
Gérmenes Totales	U.F.C./ml	0	11700	11700	12000	880

RESULTADOS

Tabla 5.14 Resumen de análisis físico – químico Bacteriológico (Invierno 1)
Fuente: Elaboración propia

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			Invierno 1			
Parámetro	Expresado como	Limite permisible	El Coco 1 (agua cruda)	El Coco 2 (agua cruda)	Pitapuro (agua cruda)	Punto de red
Sabor	-	Inobjetable 100	Inobjetable	Inobjetable	Inobjetable	Inobjetable
Color aparente	U.Pt-Co	-	40	23	23	18
Olor	-	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Temperatura	°C	Ausencia	19,3	19,8	19,9	19,8
Turbiedad	NTU	100	5	2	2	2
Sólidos totales	mg/l		52,9	65,9	65	65,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	1000	41,2	59,7	60,2	60,3
Sólidos disueltos volátiles	mg/l		40,5	58,1	59,6	59,8
Conductividad	μohms/cm	1250	82,6	119,4	120,4	120,5
Sólidos suspendidos volátiles	mg/l		9,2	3,7	3,8	3,8
Sólidos sedimentables	ml/l	Ausencia	0	0	0	0
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS						
Parámetro	Expresado como	Limite permisible	El Coco 1 (agua cruda)	El Coco 2 (agua cruda)	Pitapuro (agua cruda)	Punto de red
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5 - 9	6,13	7,14	7,13	7,12
Alcalinidad Total	mg/l	-	30	50	50	45
bicarbonatos	mg/l	250	30	50	50	45
Carbonatos	mg/l	120	0	0	0	0
Dureza Total	mg/l	500	30	50	50	45
Dureza Cálctica	mg/l	500	14,9	34,9	34,9	29,9
Dureza magnésica	mg/l	5	15	15,1	15,1	15,1
Hierro Total	mg/l	1,0	0,03	0,02	0,05	0,02
Sílice	mg/l	-	9,0	9,0	8,0	8,0
Cloro libre	mg/l	0,5	0,0	0	0	0
Nitrógeno Nitrato	mg/l	10	1,0	1,22	1,22	1,20
Nitrato	mg/l	45	4,40	5,37	5,37	5,28
Nitratos + Nitritos	mg/l	10	4,43	5,40	5,40	5,31
Anhidrido carbónico libre		5	2,20	2,20	2,40	1,92
Sulfatos	mg/l	400	0	0	0	0
Flúor	mg/l	1,5	0	0	0	0
OD	mg/l	No < 6	15	15	15	15
CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS						
PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	LÍMITE PERMISIBLE (INEN 1108)	El Coco 1	El Coco 2	Pitapuro	Punto de red
Coliformes Totales	NMP/100 ml	<2*	30	8	12	4
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<2*				
Gérmenes Totales	U.F.C./ml	0	12200	1020	1100	960

Se observa que todos los resultados de calidad de agua, se encuentran dentro de los rangos permisibles para agua cruda, en términos generales el agua al ser de origen subterráneo y que aflora a la superficie en forma de vertiente o manantial tiene buena calidad y con un contenido aceptable de minerales y sílice.

En lo que se refiere a la calidad microbiológica se observa que existe contaminación con coliformes totales y gérmenes totales, la analítica no ha determinado el subgrupo de coliformes fecales, más el grupo de coliformes totales es un claro indicador de contaminación, pues una exposición mínima a estos factores crea riesgo inmediato para la salud conocido como riesgo agudo para la salud. Aunque existe una excepción importante, la prueba de coliformes totales sigue siendo el estándar para determinar la calidad bacteriana del agua potable en los EE.UU. y el mundo. (New Hampshire Department of Environmental Services 2010);

Se analiza que a pesar de disminuir su concentración por el proceso de filtración lenta que existe en el sistema, persiste en la red o punto de distribución, más su valor debe ser igual a cero.

Adicionalmente se realiza un análisis de calidad de agua en cuanto a contenido de un grupo de metales pesados, para descartar una posible contaminación por este tipo de elementos, los cuales se pormenorizan en la tabla 5.15, los valores de referencia se comparan con los límites de referencia dados por la OMS y que son los mismos que están vigentes en la normativa local vigente par agua de consumo humano Norma INEN **1108**.

Tabla 5. 15 Resultados de análisis de contaminación por metales pesados
Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Método	Unidades	Limite permisible (INEN 1108)	Resultados		
				Coco1	Coco 2	Pitapuro
Arsénico	PEE/LS/FQ/01	µg/l	10	<30	<30	<30
Cadmio	PEE/LS/FQ/06	µg/l	3	<10	<10	<10
Mercurio	SM/3210/ICP	µg/l	0.000	<6	<6	<6
Plomo	PEE/LS/AI/04	µg/l	10	<50	<50	<50
Selenio	SM/3120/ICP	µg/l	10	<200	<200	<200

Como se puede apreciar los resultados son muy bajos a nivel de trazas, hace referencia a valores mínimos de detección del método aplicado: Espectrometría óptica de plasma por acoplamiento inductivo (ICP-OES). Estos valores no permiten definir con exactitud si los

resultados se ajustan a los valores de referencia dados por la OMS. Sin embargo, estas analíticas se han realizado simplemente para verificar la presencia o no de alguno de estos elementos, pues si bien es cierto no existe la presencia de industrias o minería en la zona de influencia de la microcuenca de abastecimiento, el interés era descartar con analíticas o resultados esta posibilidad.

5.5 O.E.5: SELECCIÓN DE TÉCNICA DE POTABILIZACIÓN.

Para la selección del tipo de tratamiento o técnica de potabilización y elaboración de la matriz de ponderación a aplicar, de los aspectos señalados en el modelo SHTEFIE se escogen los de mayor interés adaptándolos a las condiciones del sector y población. Los aspectos o parámetros considerados se valoran en una escala cualitativa a la cual se le da un puntaje para transformarlos en variables cuantificativas y valorar los resultados.

En la celda de tratamiento por potabilización convencional se entiende que se encuentran los procesos de coagulación, floculación, desinfección. En este caso, la implementación de una etapa de coagulación-floculación representaría grandes desventajas debido a la dependencia de los productos químicos necesarios para el proceso y su elevado coste, por otro lado los resultados de turbidez son bajos por el origen del agua de alimentación, por tanto no se considera su implementación. Además, precisa grandes superficies y necesidad de obras civiles, por lo que su implementación en la zona no sería adecuada.

El proceso de desinfección por oxidación química/ cloración se define en razón de la necesidad de cloro residual en la red, para cumplir la normativa vigente y, adicionalmente como se conoce, la cloración, sin un adecuado tratamiento de eliminación de materia orgánica origina riesgos en la salud del hombre por la aparición de precursores de trihalometanos (THM) que según el grado o tiempo de exposición a aguas con THM puede generar cáncer.

En la tabla 5.16 se especifican los aspectos tomados en consideración para la selección de la técnica de potabilización más adecuada a las condiciones sociales de entorno y técnicas de Cangonamá.

Tabla 5. 16 Criterios de selección tipo de tratamiento
Fuente: Elaboración propia

Tratamiento de potabilización						
Aspecto	Potabilización convencional	Desinfección por calor	Oxidación química (Cloración)	Tecnología de membranas		U.V.
				O.I.	UF.	
Social						
Aceptación comunitaria de la implementación de Tipo de instalación	3	1	3	2	3	3
Implicación de la población para mejorar sus condiciones sanitarias	3	2	3	2	3	3
Disponibilidad al trabajo comunitario	2	2	2	2	3	3
Facilidad de operación y mantenimiento	3	3	3	3	3	3
Salud						
Reducir las estadísticas de morbilidad	3	2	2	4	4	4
Reducir las enfermedades significativas (diarreas parasitosis)	3	2	3	4	4	4
Reducir riesgos sanitarios	2	2	2	4	4	3
Tecnológicas.						
Facilidad de implementación	3	4	3	3	3	3
Vida útil de las instalaciones adecuado	3	3	3	4	4	4
Calidad de agua de consumo cumple con normas internacionales	3	2	3	4	4	4
Escalable en función de la demanda.	2	1	2	3	4	3
Mayor sensibilidad a picos de contaminación	2	1	2	4	4	3
Menor uso de productos químicos	2	1	0	4	4	4
Económicos						
Existe un operador del sistema	2	1	2	3	4	4
Coste de implementación	2	2	2	3	3	3
Financieros						
Capacidad y voluntad de pago	1	1	1	1	1	1
Disposición a asumir roles de responsabilidad	2	1	2	3	3	3
Ambientales						
Existe disponibilidad del recurso agua	3	3	3	3	3	3
Sostenibilidad del sistema	2	1	2	3	3	4
TOTAL	47	34	43	59	63	62
Bajo =1; Regular = 2; Bueno= 3;Excelente =4						

Como conclusión parcial del estudio de selección de la tecnología, como se observa en la tabla 5.16, los tipos de tratamiento más adecuado o de mayor puntuación son las nuevas tecnologías: ósmosis Inversa, Ultrafiltración y/o Radiación UV. Que garantizan el aprovisionamiento de agua segura.

El tipo de tratamiento seleccionado en este caso de estudio en base a los resultados de la matriz de selección y datos de la calidad de agua de fuente como en este caso bajo contenido de sales y con valores de parámetros de calidad química dentro de los rangos permisibles y susceptible de tratamiento, es la tecnología de membranas: ultrafiltración; por las ventajas antes descritas, y para “reasegurar” una total desinfección se acompañaría de UV y un punto de cloración.

5.6 O.E.6: VALIDACIÓN DE TÉCNICA DE POTABILIZACIÓN.

El resultado de la selección de técnica de potabilización es la utilización de la tecnología de membranas, en este caso como se ha mencionado se diseñara una potabilizadora mediante la implementación de ultrafiltración. Para su validación se procede a la verificación de resultados de concentraciones o niveles de los siguientes parámetros: Coliformes totales, pH y conductividad , con la experimentación en una planta piloto utilizando proceso de membranas de similares características a la que se implementará en la población de Cangonamá, para esto se sigue el procedimiento indicado en el diagrama de flujo que se indica en la Figura 5. 17.

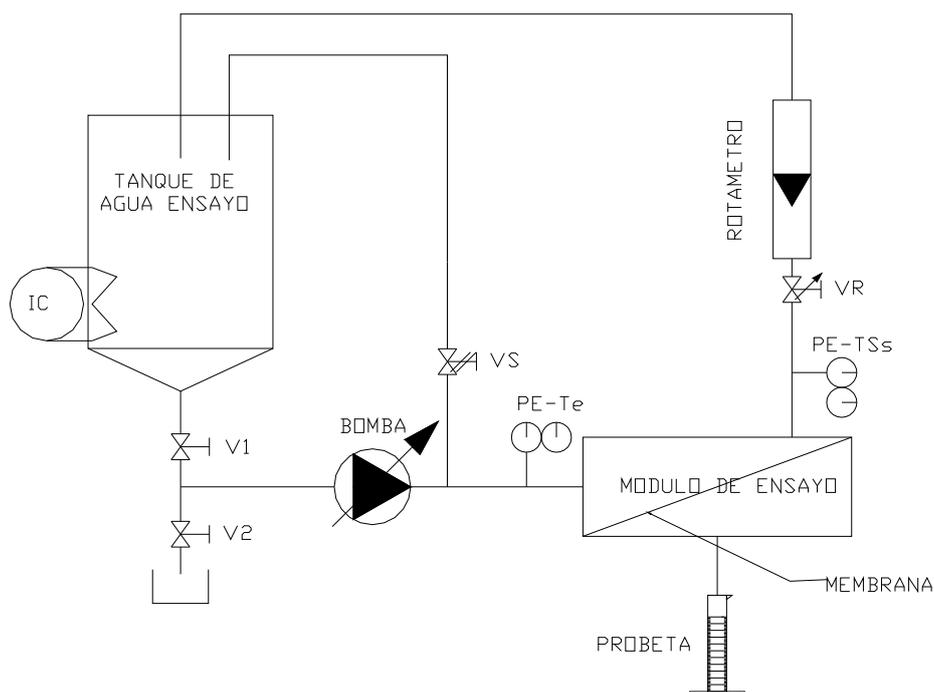


Figura 5. 17 Diagrama de flujo de planta de ensayo
Fuente: Arnal 2007. **Adaptación:** Elaboración propia

Especificaciones técnicas de Planta Piloto

La planta piloto de ensayo cumple con las siguientes especificaciones técnicas:

Un tanque de agua de ensayo con capacidad de 20 L. provisto de un intercambiador de calor, que se conecta a una bomba de cierre automático equipada con variador de velocidad para trasegar un caudal en un rango de 100 -300 L/h. Presión de trabajo de 0.5 a 20 bar.

El módulo de membranas tiene una superficie útil de 30 cm² equipado con 4 membranas para un MWCO de 150 KDaltons.

Un medidor de caudal de 50 a 500 L/h.

Se dispone además de 4 probetas de 50 mL., para el análisis de la calidad de permeado en cada capa.

Dos medidores de presión manométrica del rango de 0 – 10 bar

El alimento pasa por las unidades de membrana y en cada una de estas se toman las muestras para su análisis correspondiente. En la Fig. 5.18 de presenta un esquema de lo enunciado:

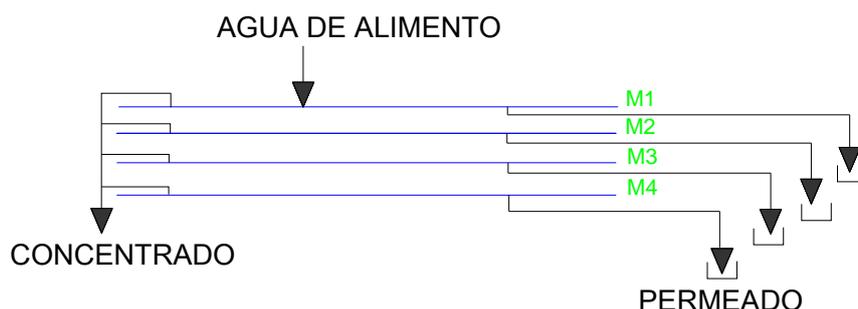


Figura 5. 18 Esquema de proceso de filtración en membranas
Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, en la tabla 5.17 se muestran los resultados de eliminación de contaminación microbiológica, en este caso se analizan muestras de agua cruda de las captaciones de Cangonamá (M1), Chacras (M2) y de un sector aledaño la Colemba

Tabla 5. 17 Resultados analíticos de planta piloto
Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Corriente					
	Alimento			Permeado		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
pH (unidades)	6.3	7.99	7.85	7.7	7.73	7.5
Conductividad (μS/cm)	146	357	56.2	75.7	84.2	34.5
Coliformes (UFC/100mL)	18	incontable	incontable	0.0	0.0	0.0

En la Figura 5.19 a título de ejemplo Se muestran dos imágenes de placas Petri donde se observa la presencia de contaminantes, se puede apreciar que los puntos de color azul señalan la presencia de Escherichia Coli por contaminación fecal y el color rojo es un indicador dela presencia de estreptococos. Estas imágenes son de agua cruda sin el tratamiento de membrana

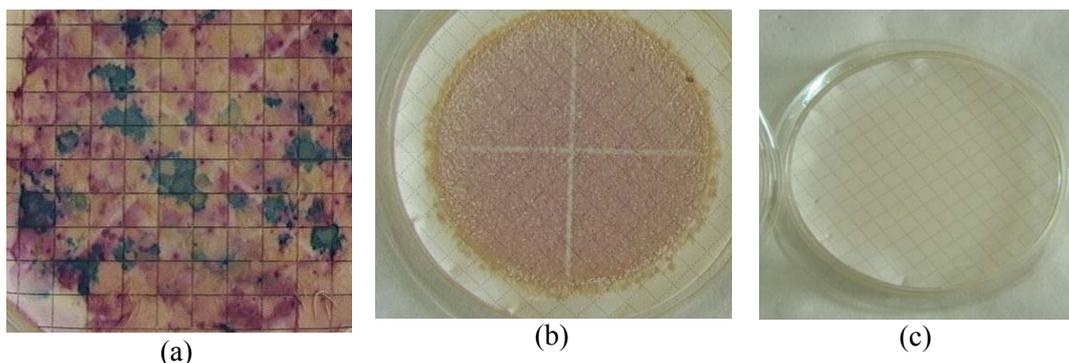


Figura 5. 19 Placas Petri: (a) presencia de Escherichia Coli (b) Estreptococos (c) permeado
Fuente: Laboratorio de la UTPL

5.7 O.E.7: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN

5.7.1 Formación de técnicos locales.

Como ya se ha descrito anteriormente, la formación de los técnicos locales es indispensable para la sostenibilidad y buen funcionamiento del sistema de agua. Debe cumplir y hacer cumplir todas las funciones y responsabilidades establecidas en los estatutos y reglamentos ya existentes en la Junta administradora de Agua (JAA) que se refieren al operador y al usuario del servicio. A continuación, algunas de las responsabilidades:

- Conocer las partes del sistema agua y potabilización
- Operar y mantener adecuadamente el servicio.
- Inspeccionar periódicamente cada componente del sistema.
- Llevar el registro y control de la operación y mantenimiento, haciendo un reporte mensual.
- Realizar el cobro de la tasa fijada por el servicio, que servirá para cubrir los costos de operación y mantenimiento de la potabilizadora y sistema en general.
- Informar a la (JAA) o entidad responsable sobre las necesidades de adquisición de materiales, herramientas, repuestos e insumos para el buen funcionamiento del sistema.
- Realizar un control de la calidad de agua de efluente, a través de la toma de muestras y comunicar los resultados de las analíticas en caso de existir variaciones

El operador u operadora deberá vivir en la comunidad a la que representa, ser usuario, saber leer y escribir, ser mayor de 18 años y, de preferencia haber participado en talleres de capacitación para operadores y en las actividades de interés comunal. Es importante que durante la ejecución de obra se capaciten, además de los técnicos a los usuarios de la

comunidad, para que posteriormente puedan asumir la responsabilidad de operar y mantener el sistema en general.

Los técnicos locales participarán de la construcción de la potabilizadora, en donde se les explicará de manera sencilla y concreta el funcionamiento del sistema de potabilización.

5.7.2 Diseño de la instalación a construir

A. Parámetros de calidad

De todos los parámetros de calidad de agua ejecutados, se ha seleccionado un grupo de ellos en base a los resultados de las analíticas y, que se considera los de mayor incidencia en el tipo de tratamiento a implementar. Se detalla en la tabla 5.18

Tabla 5. 18 Resultados de analíticas de agua de alimentación

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Cantidad
Conductividad ($\mu\text{ohms/cm}$)	82.6 – 147
pH (unidades)	6.10 -7.14
Turbidez (NTU)	2 – 5
Coliformes totales NMP/100 ml	16 – 30
Gérmenes totales (U.F.C./ml)	1020 – 12000
Cloro residual (mg/L)	0

B. Demanda de agua de la población

Para verificar si la cantidad de agua disponible abastecerá la demanda de la población actual y futura, se ejecuta el cálculo de caudales en base a la normativa ecuatoriana CPE INEN -5, los resultados se indican en la tabla 5.19, los mismos que se computan para los siguientes datos de población:

- Periodo de diseño: 20 años
- Población censada: 301 Habitantes
- Población estudiantil: 107 Habitantes.
- Población flotante: 16 Habitantes.
- Población actual (Pa): 317 Habitantes

Tabla 5. 19 Resultados de bases de diseño
Fuente: Elaboración propia

Descripción	Ecuación	Factor	Unidad	Resultado
Consumo medio diario	$C_{md} = \frac{f \times Pa \times DM}{86400}$	f=1.20 Pa= 317 Htes. DM= 80 L/Hab/día	L/s	0.35
Consumo máximo diario	$Q_{MD} = K_{MD} \times C_{md}$	KMD= 1.25	L/s	0.44
Consumo máximo horario	$Q_{MH} = K_{MH} \times C_{md}$	KMH= 3	L/s	1.05
Caudal mínimo en fuente	$Q_{Fuente} = 2 \times Q_{MD}$	-	L/s	0.88
Caudal de captación	$Q_{Capt} = 1.2 \times Q_{MD}$		L/s	0.53
Caudal de conducción	$Q_{Conduc} = 1.1 \times Q_{MD}$		L/s	0.48
Caudal planta de tratamiento	$Q_{Tratam.} = 1.1 \times Q_{MD}$		L/s	0.48
Volumen de almacenamiento	$V_{Almacen.} = \frac{0.5 C_{md} \times 86400}{1000}$		m ³	15.12

De los resultados de la tabla 5.19 se observa que el caudal necesario para cubrir la demanda de la población de 317 habitantes es de 0.44 L/s $\approx 38.02 \text{ m}^3/\text{día}$. Con un volumen de almacenamiento según la normativa de 15.12 m^3 .

Más para el diseño de la potabilizadora del presente caso de estudio, se establece un horizonte de 500 habitantes, pronosticando que con la mejora de los servicios básicos la población crezca y puedan beneficiarse no solo las personas del centro urbano de la parroquia, sino también los de los barrios aledaños. Por tanto el caudal necesario para dotar a este número de pobladores con una dotación de 80 L/Hab/día será de:

$$Q = 80 \frac{L}{\text{Hab. día}} \times 500 \text{ Hab} = 40000 \frac{L}{\text{día}}$$

$$Q = 40 \text{ m}^3/\text{día}$$

Que con los datos de aforo que se tiene, se prevé que la cantidad de agua disponible es suficiente para cubrir la demanda actual y futura. El caudal de estiaje se estima en $112.32 \text{ m}^3/\text{día}$ y en invierno de $150.33 \text{ m}^3/\text{día}$.

Para el diseño de la potabilizadora a instalar, se considera aplicar la tecnología de membranas, principalmente la microfiltración y ultrafiltración por las ventajas que este tipo de tratamiento tiene frente a otros sistemas de potabilización, el mismo que será integrado al sistema existente, en este caso a la captación y filtro lente descendente (F.L.D), mejorando la calidad de agua de consumo.

C. Componentes de la Instalación potabilizadora

La instalación potabilizadora se diseña para que funcione integrando elementos existentes en el sistema actual, evitando la construcción de obras civiles que resultan costosas. En la Figura 5.20 Se presenta el diagrama de bloques con la concepción del diseño.

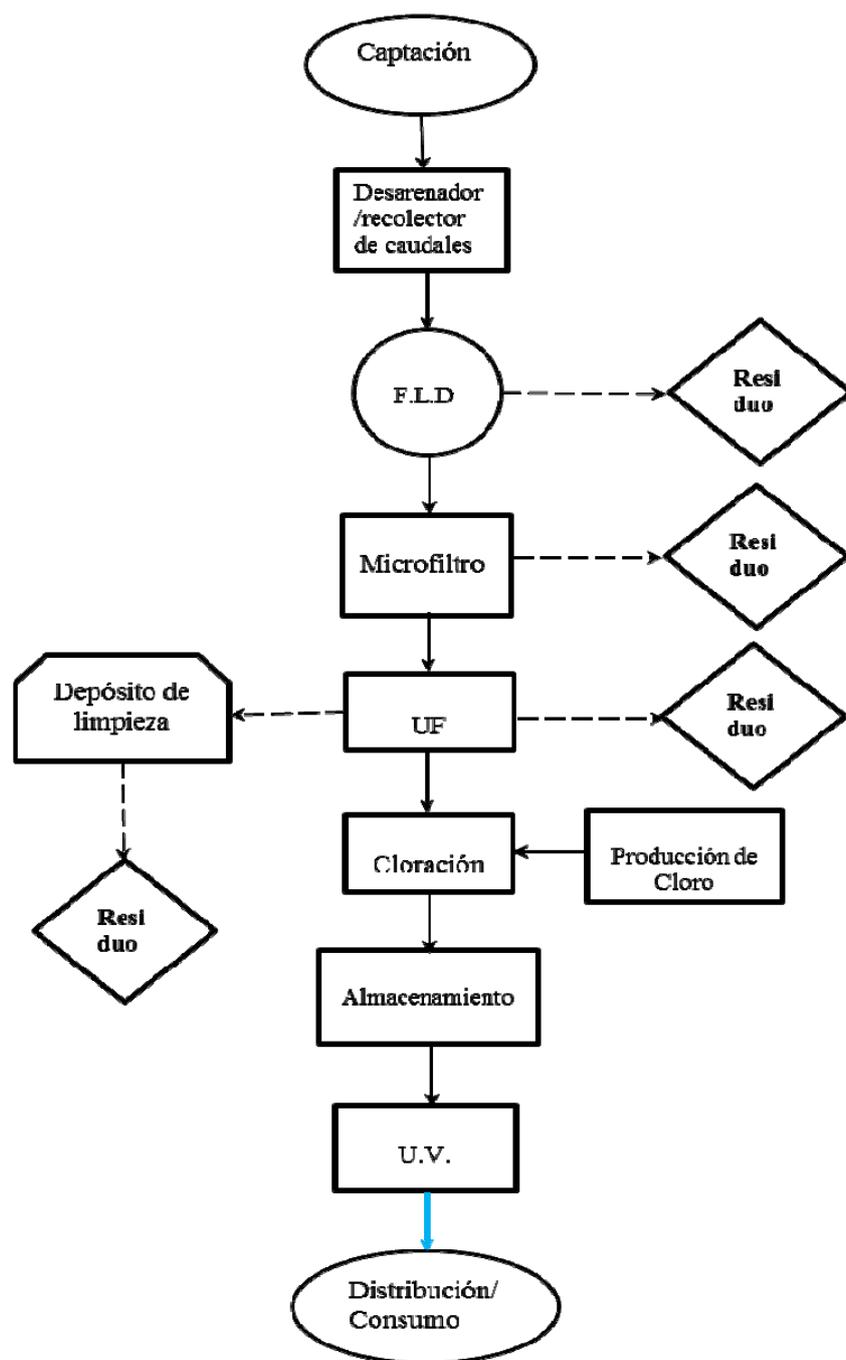


Figura 5. 20 Diagrama de bloques de proceso de tratamiento de la unidad de potabilización
Fuente: Elaboración propia

La potabilizadora consta de las siguientes partes:

Pretratamiento

El pretratamiento tiene por objetivo mejorar la calidad de agua de alimento a la potabilizadora con la finalidad de prolongar la vida útil de esta. Para el pretratamiento se considera mantener la filtración en lecho de arena (FLD) sumar un filtro rápido de arena (FA) para una presión de

trabajo del rango de 0.5 a 2 bar, y microfiltración (MF) de 25 µm de tamaño de poro de sus telas filtrantes. Se recomienda utilizar el modelo NW 50 de 2” de diámetro de la casa comercial Cintropur; la función esta etapa es eliminar los sólidos en suspensión, de forma que no dañen la superficie de la membrana.

Unidad potabilizadora:

El diseño se basa en la tecnología de membranas, concretamente en la ultrafiltración. Se elige una UF de la marca Hydranautics de las siguientes características: Membrana de polímero: Polietersulfona hidrófila, MWCO nominal: 150 KDaltons con capacidad de filtración de 1.8 a 4.3 m³/h, y capacidad de soportar picos de hasta 200 NTU de turbidez, de configuración de la membrana en módulo en fibra hueca. Con un rango de operación de 4.0 a 10.0 de pH. Figura 5.21

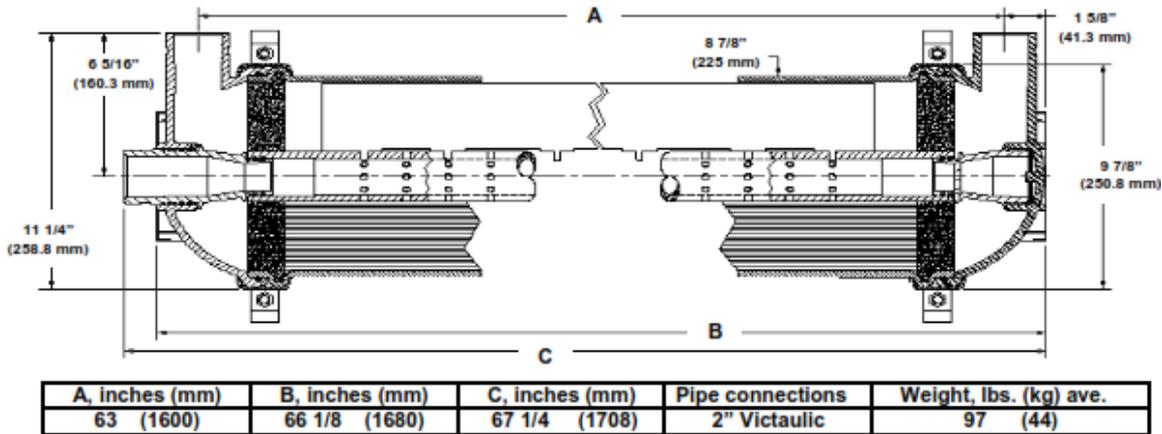


Figura 5. 21 Esquema de características de membrana UF HYDRAcap 60-LD
Fuente: <http://www.lenntech.com/Data-sheets/Hydranautics-HYDRAcap60-LD-L.pdf>

Desinfección:

La desinfección, se diseña para realizarla por radiación UV y establecer un punto de cloración que dada la existencia del equipo Clorid, se lo integra para servir de punto de cloración, con una dosificación que garantice el cloro residual en red dentro de los rangos deseables de la normativa (0.5 – 1.5 mg/L).

A continuación del punto de cloración se prevé la implementación de dos tanques de mezcla que sirven de depósito de agua potable con capacidad de 200 L. interconectados para funcionar o prestar servicio una vez que el otro se vacíe o este en mantenimiento.

Finalmente para garantizar una desinfección total, a más de los procesos anteriormente descritos se prevé instalar un módulo de 2 lámparas UV modelo 2S No UV-1002-04 para un caudal máximo de 4 m³/h, de la casa comercial Mundiagua, con capacidad de tratamiento de 8 L/min.

Unidad de lavado de la membrana

La unidad de lavado está prevista de la instalación de dos tanque de 100 L de capacidad, donde se ubica la disolución de limpieza con una concentración de 50ppm de Cl libre que se hace circular mediante la bomba de lavado (B1), en circuito cerrado, y el segundo tanque que contiene agua limpia ultra filtrada para realizar el desplazamiento del agua de limpieza y enjuague del módulo, antes de seguir con la producción de agua pura

Distribución

Completo el ciclo de la potabilizadora se prevé la distribución del agua potabilizada a través de una red de agua que se distribuirá a los siguientes puntos de interés, que se denominarán Puntos de Agua Saludable. (PAS)

- Escuela
- Colegio
- Iglesia
- Parque

En la figura 5. 22 se presenta un esquema de lo descrito.

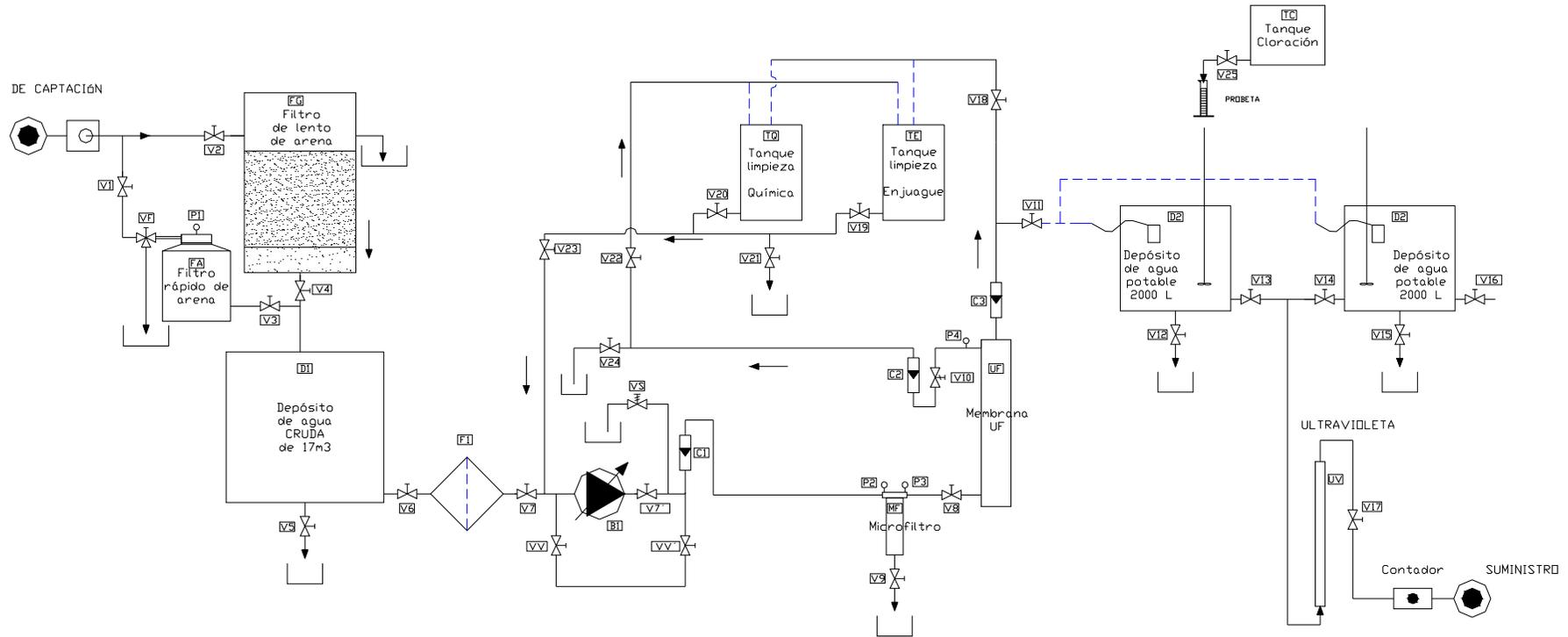


Figura 5. 22 Esquema de funcionamiento de planta potabilizadora.
Fuente: Arnal (2011), **Adaptación:** Elaboración propia

Funcionamiento:

Para una mejor comprensión del funcionamiento de la potabilizadora diseñada, se detalla su funcionamiento:

El agua captada a diferentes cotas superiores a 1980 m.s.n.m. se trasiega al tanque desarenador cota: 1977.03 donde se laminan y suman los tres caudales provenientes de las 3 captaciones se conduce al filtro de arena(FA) con un rango de presión de trabajo de 0.5 a 2 bar que se diseña implementar y, pasa al filtro lento descendente (FLD), que se encuentra a una cota: 1954.05, este se conecta al tanque depósito de 17.1 m³ de capacidad de almacenamiento existente con un nivel de tratamiento dado por los filtros antes señalados.

Seguidamente se colocará un filtro con tamaño de poro con capacidad de retener cuerpos con diámetro superior a los 5 mm, en caso de que se haya introducido al tanque de almacenamiento por eventos fortuitos, asegurando los equipos subsecuentes.

A continuación tenemos la unidad potabilizadora como tal que está provista de una bomba (B1) de 1HP de potencia que servirá para impulsión y limpieza de las membranas a través del diseño en circuito cerrado, según se observa en el diagrama de la Figura 5.23.

Una unidad de microfiltración (MF) de las características señaladas, que sirve de retención de partículas mayores a 25 µm. A continuación la ultrafiltración (UF) que elimina las bacterias presentes en el agua de la calidad antes señalada y en general los microorganismos causantes de enfermedades; siguiendo el circuito tenemos dos depósitos de almacenamiento y mezcla de cloro que funcionan en serie, es decir uno a continuación del otro que entra en servicio en forma alterna una vez que el otro se vacíe. Estos tanques estarán dispuestos de dispositivos de mezcla

Existe diseñado un módulo de radiación ultravioleta (UV) como un reaseguramiento de la purificación del agua para consumo y labores domésticas, está dispuesta de tal forma que se pueda implementar o no, que se instalará en función de las condiciones económicas y sociales que a la fecha de la construcción se encuentre, pues tanto la calidad como la economía son variables dinámicas que dependen de muchos factores, considerando que con el proceso de ultrafiltración y cloración ya se asegura la purificación del agua a beber.

Finalmente como se ha mencionado para el sistema de limpieza de las membranas se encuentra instalada la bomba B1, que tiene doble función, en este caso para la limpieza de las

membranas. El tanque de limpieza química con 100 L de capacidad donde adicionará 50 ppm de Cl libre. A continuación el tanque de limpieza o enjuague para limpiar con agua ultrafiltrada antes de entrar nuevamente en funcionamiento.

5.8 O.E.8: UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN

La instalación se ubicará en la cota 1922.72 en el sector La Cruz, donde se encuentra el tanque de almacenamiento con una capacidad de 17 m³. Presta las condiciones de seguridad y a una altura que garantiza presión manométrica para la ubicación de la potabilizadora.

La instalación de la potabilizadora se ejecutará con la presencia de los técnicos responsables del sistema, quienes serán los encargados de la correcta operación y mantenimiento del mismo.



Figura 5. 23 Ubicación sector La Cruz. Tanque de almacenamiento
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5.23 se observa el sector donde se ubicará la potabilizadora, que es donde se encuentra el tanque de almacenamiento. Las adecuaciones a esta zona la realizaron los técnicos locales con ayuda de la comunidad a través de mingas.

Una vez construida la instalación se deberán realizar la comprobación del correcto funcionamiento de la misma a través de la ejecución de analíticas de los parámetros que se

detallan en la tabla 5. 20, controlando tanto la calidad del agua de alimento como la del producto final.

Tabla 5. 20 Parámetros de control en puesta en marcha
Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Corriente	
	Alimento	Producto
pH (unidades)		
Conductividad (μS/cm)		
Coliformes totales (UFC/100 mL)		
Índice de Langelier		
Cloro residual (mg/L)		

Para el control se añade el valor de índice de Langelier, que es un parámetro para determinar la capacidad incrustante o corrosiva del agua. Para valores menores a 0, el agua se puede considerar con tendencia corrosiva; igual a cero es un agua equilibrada y con valores superiores a cero con tendencia incrustante.

El índice de Langelier se puede definir como la indicación del grado de saturación del carbonato de calcio en el agua, el cual se basa en el pH, la alcalinidad y la dureza, o sea que si el índice es negativo indica que el agua es corrosiva, por el contrario si el IL es positivo, el carbonato de calcio puede precipitar y formar escamas en la tubería de agua.

Es un índice que refleja el equilibrio del pH del agua con respecto al calcio y la alcalinidad; y es usado en la estabilización del agua para controlar tanto la corrosión como la escala de incrustación.

Los detalles de frecuencia de toma de muestras de control de la potabilizadora se detallan en el manual de funcionamiento.

5.9 O.E.9: CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LA POTABILIZADORA.

Para el control y seguimiento de la potabilizadora, se ha redactado el manual de operación y mantenimiento de la instalación potabilizadora y se ha dado explicaciones específicas del funcionamiento y tipo de mantenimiento a realizar al sistema en general, puesto que este diseño toma el agua de red proveniente de la captación y posterior desarenador.

Este manual se ha redactado de manera sencilla y de forma explícita, de tal forma que los responsables del sistema puedan desarrollar las actividades rutinarias de mantenimiento y limpieza sin complicaciones; se determina la frecuencia de labores a ejecutar en cada unidad del sistema y la potabilizadora. El manual consta en el Anexo 4 de este Trabajo de Fin de Máster.

De igual forma para controlar la calidad de agua de salida o de distribución, se desarrolla un formato de control con los parámetros a vigilar que, según los resultados de calidad de agua realizados y ya analizados en el apartado 5.4, nos determina que los parámetros a vigilar son los microbiológicos básicamente y otros que se señalan en el formato que se muestra en la Figura 5. 24. Estos análisis de calidad de agua de salida a la distribución deben realizarse al menos dos veces al año o cuando se presenten eventos fortuitos que puedan derivar en la desmejora de la calidad del agua. Estos formatos los manejarán los técnicos responsables del proyecto donde recogerán la información solicitada que servirá para el seguimiento y control.

PROYECTO: Potabilizadora para la parroquia Cangonamá - Ecuador			
MATRIZ DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA DE DISTRIBUCIÓN			
Parámetro	Resultado analítica	Fecha	Técnico Responsable
pH (unidades)			
Conductividad (µS/cm)			
Coliformes totales (UFC/100 mL)			
Índice de Langelier			
Cloro residual (mg/L)			
Observaciones			

Figura 5. 24 Formato de control de calidad de agua de distribución.

Fuente: Elaboración propia

5.10 O.E.10: CONTROL Y SEGUIMIENTO DE ENFERMEDADES DE ORIGEN HÍDRICO.

Como se ha mencionado en la metodología, para el control y seguimiento de las enfermedades de origen hídrico de esta población objetivo, se ha desarrollado un formato de control que será entregado a los funcionarios del Subcentro de Salud Cangonamá, quienes prestarán su colaboración con la entrega de información y datos específicos. De igual forma se verán

involucrados en el desarrollo de futuras investigaciones de los resultados de la implementación de la potabilizadora diseñada. La participación activa de otras entidades públicas y privadas puede llevar al cumplimiento del objetivo de esta investigación.

El formato está diseñado de forma concreta y sencilla de tal forma que no signifique demasiado trabajo adicional a las personas que lo llenarán y que puedan generar mala interpretación a las preguntas que se realizan o los datos a rellenar. En la Fig.5.25 se presenta el modelo del formato a cumplimentar para el control y seguimiento de las enfermedades de la población beneficiaria del proyecto.

PROYECTO: Potabilizadora para la parroquia Cangonamá - Ecuador									
MATRIZ DE CONTROL DE ENFERMEDADES DE ORIGEN HÍDRICO.									
No.	Nombre del paciente	Edad: A/M/D	Diagnóstico	Procedencia		Procedencia del agua que bebe			Litros de agua que bebe al día
				Centro urbano	Barrio	Red pública	Pozo	Otros (especifique)	
1									
2									
3									
4									

Figura 5. 25 Formato para control de enfermedades de origen hídrico
Fuente: Elaboración propia

Además se seguirá el control de inasistencia al centro de educación básica de la población, que nos proporcionará información relevante para la evaluación de los resultados de la implementación y puesta en marcha de este proyecto de investigación. Ese seguimiento se lo realizará con los profesores de cada año escolar que registrará la inasistencia y el motivo de la misma, si es por enfermedad categorizada como de origen hídrico.

La simplicidad de los procesos es importante para evitar la desidia en los actores cuando se presentan formatos o formularios extensos y de difícil entendimiento.

En la figura 5.26 se presenta el modelo del formato a ser entregado a los docentes de los establecimientos educativos de la localidad. Este debe ser llenado todos los días del periodo escolar y la información reposar en la Dirección del centro para evitar la pérdida de los mismos.

PROYECTO: Potabilizadora para la parroquia Cangonamá - Ecuador				
Año escolar: Periodo:	Fecha	Total de inasistencia	Causa de la inasistencia/ EOH	Profesor responsable
Primer año de formación básica				
Segundo año de formación básica				
Tercer año de formación básica				
Cuarto año de formación básica				
Quinto año de formación básica				
Sexto año de formación básica				
Séptimo año de formación básica				

Figura 5. 26 Formato de seguimiento de incidencia de inasistencia a planteles educativos por EOH
Fuente: Elaboración propia

6. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados del Trabajo Fin de Máster obtenidos nos permiten realizar el siguiente análisis:

Presentación del proyecto a la comunidad

1. Como se ha mencionado anteriormente, el empoderamiento y predisposición de los moradores de la parroquia Cangonamá, beneficiarios de este proyecto, son indispensables para el cumplimiento del objetivo de este trabajo; está se ha puesto de manifiesto y socialmente existe la predisposición de trabajar en el mejoramiento de sus condiciones de vida a través de la implementación de un sistema con nuevas tecnologías que concatenadamente mejorará su economía al bajar los índices de morbilidad.
2. La fase de presentación del proyecto a la comunidad da como resultado la designación de los técnicos responsables del proyecto, que han sido elegidos por los propios miembros de esta comunidad y se han involucrado en el desarrollo del mismo desde sus inicios y, un resultado tangible es la organización para las denominadas mingas de trabajo para dar mantenimiento al tanque de almacenamiento del sector la Cruz, donde se instalará la potabilizadora y labores de mantenimiento de la red de distribución existente. Estos técnicos serán los responsables del manejo de la panta y sistema y han sido participes de todas las actividades como reconocimiento de la zona, toma de muestras y más actividades inherentes al tema que han llevado a buen término este trabajo.

Estudio Epidemiológico de la población

El estudio de los perfiles epidemiológicos de la población ha sido parte fundamental de la razón del por qué desarrollar este proyecto de mejora de calidad de agua de consumo, se pone en evidencia las falencias del sistema de distribución de agua en cuanto a calidad de agua en grifo a la población y, los problemas sanitarios que estos acarrear. A continuación señalamos un análisis de los resultados obtenidos

3. Los datos obtenidos del perfil epidemiológico de la población nos indican que aproximadamente el 50% de la enfermedades que se presentan en la población son de origen hídrico, como se observa el valor más alto de las atenciones son por parasitosis, elevando la morbilidad significativamente de la población en general.

4. Los datos de inasistencia escolar debido a enfermedades catalogadas como de origen hídrico nos indican que de los grupos etarios con más incidencia en inasistencia por lo anteriormente señalado son los pequeños del grupo de 5 a 6 años, sin que se haya podido determinar la incidencia en los niños de 0 a 5 años por falta de información, más se debe considerar las estadísticas globales existentes a nivel nacional que corroboran que esto es un hecho. Los grupos más vulnerables son los niños y los ancianos.

Reconocimiento de la zona de influencia

Con el cumplimiento de los objetivos específicos anteriormente señalados se procede a evaluar los resultados del reconocimiento de la zona de influencia y sus características generales sociales económicas y técnicas.

5. Cangonamá es una población rural con una población actual de 301 habitantes que se encuentra emplazada en un sector con pendientes que fluctúan entre el 25 y 50%, favoreciendo al diseño de un sistema por gravedad. Que es importante por la carga piezométrica para funcionamiento de las unidades diseñadas sin la necesidad de equipos de bombeo que encarecerían la e implementación del diseño de este TFM.
6. En términos de económico sociales, se encuentra ubicada entre las poblaciones que viven en condiciones de pobreza y extrema pobreza, por lo que es necesaria la intervención de entidades gubernamentales, organismos no gubernamentales e instituciones con las competencias requeridas con poder de decisión e implementar soluciones que conlleven a mejorar las condiciones de vida de la población.
7. Poseen un sistema de abastecimiento que, si bien funciona y presta servicio, no cuenta con la calidad de agua de consumo que cumpla con los rangos establecidos en la normativa vigente en el país INEN 1108 en lo referente a los parámetros microbiológicos. Los parámetros físicos químicos se encuentran dentro de los rangos permisibles y se pueden tratar sin mayores procesos. Lo cual nos lleva a la decisión de implementar un diseño de potabilizadora que asegure la total eliminación de coliformes totales, bacterias, virus y microorganismos causantes de enfermedades.

8. El funcionamiento hidráulico del sistema actual presenta problemas de altas presiones en las partes más bajas por el sector donde se encuentran ubicadas las instituciones educativas y la Iglesia local. El trazado de la red actual se puede ver en el anexo de planos de este trabajo.
9. Las condiciones de las unidades de captación y tanques de almacenamiento son deficientes, principalmente por la falta de mantenimiento, a más de otros factores que derivan en la mala calidad del agua de consumo. En cuanto a las captaciones son obras civiles que se deben reconstruir y asegurar o proteger su ingreso, se propone la reconstrucción de nuevas unidades. Esta alternativa no entra en el costo de la potabilizadora, pues el diseño considera hacer uso del agua que llega hasta la captación y de ahí en adelante su tratamiento. Se incluye el diseño en el anexo de planos.
10. El sistema carece de desinfección, por tanto la propuesta planteada en este trabajo con una instalación de potabilización basada en tecnología de membranas, compacta escalable en función de las necesidades que se puedan presentar, sin comparación con el coste que significaría la construcción de un sistema de potabilización convencional la hacen la opción más viable que garantizará la provisión de agua segura por su robustez.

Calidad y Cantidad de agua

11. La población de Cangonamá es una localidad rural de la provincia de Loja- Ecuador al igual que muchas otras poblaciones de este país posee recursos hídricos suficientes para cubrir la demanda de los pobladores, en este caso poseen un caudal de ingreso de mínimo $112 \text{ m}^3/\text{día}$ en época de verano o estiaje y $150 \text{ m}^3/\text{día}$ en invierno, cuando los cálculos de requerimientos del recurso agua para satisfacer sus necesidades básicas para una población de 500 habitantes es de $40 \text{ m}^3/\text{día}$, lo cual nos asegura el continuo aprovisionamiento de agua al sistema
12. Las analíticas de calidad de agua nos indican que el agua proveniente de los tres manantiales tienen en general una buena calidad físico - química y que la deficiencia de calidad se presenta en la calidad microbiológica, pues se tiene la presencia de

Coliformes totales en la red/grifo. Es decir consumen agua contaminada, este parámetro es el indicador principal a considerar para el diseño de la potabilizadora.

Selección de la técnica de potabilización:

13. Para la selección de la técnica de potabilización se valoran además de los aspectos técnicos, los aspectos sociales, económicos, de salud y otros señalados en la metodología anteriormente descrita SHTEFIE. Se tiene que resultado de este análisis, la tecnología de membranas es la más adecuada y se analiza su fiabilidad.

Validación de la técnica

14. La potabilizadora diseñada está basada en la tecnología de membranas, tal como resulta del análisis de la selección de la técnica de potabilización, para validar el método elegido se han realizado pruebas con membranas dispuestas de tal forma que se asemejen a las características de la UF de 1500 KDaltons de MWCO del diseño presentado. Los resultados expuestos nos permiten asegurar la fiabilidad y eficiencia que tendrá el diseño presentado una vez que se ponga en marcha esta instalación. Asegurando una remoción de organismos patógenos de hasta el 99%. Como se observa en los resultados remueve coliformes y estreptococos. Los valores de eliminación de coliformes del proceso de filtración en membranas nos indican la eliminación total de los mismos, así mismo estabiliza el pH.

Diseño de la Instalación

15. El diseño de la instalación potabilizadora obedece a los requerimientos de la población objetivo, en este caso Cangonamá y se ha diseñado la instalación de tal forma que cubra la demanda de 500 habitantes. Que si bien es cierto a la fecha es de 301 habitantes, lo que se espera es que al mejorar sus condiciones de vida, los habitantes de la zona no emigren a otras ciudades y el índice de crecimiento poblacional aumente o al menos sea el normal para este tipo de poblaciones (1% anual)
16. El diseño se concibe para aprovechar la carga piezométrica y funcione a gravedad evitando el uso de sistemas de bombeo, con el consiguiente ahorro energético. En el diseño que se presenta se hace referencia a la necesidad de una bomba para la limpieza de membranas, que funcionará eventualmente en la ejecución de la misma.

17. El diseño del tratamiento mismo por tecnología de membranas ofrece la garantía de la eliminación de todo microorganismo causante de enfermedades. La revisión bibliográfica nos indica una eficiencia de hasta el 99% de remoción.
18. Se diseña un proceso de cloración a continuación de la UF con la finalidad de garantizar cloro residual en red de 1.5 ppm. y parámetro de control en la normativa vigente. Un módulo de UV para “reasegurar” el agua luego de la cloración, que funciona como un doble candado de seguridad.

Ubicación y puesta en marcha

19. La ubicación de la instalación se evalúa considerando los factores como distancia, presión manométrica, seguridad. Resultado de este análisis tenemos que el mejor lugar es el sector denominado la cruz, y el diseño se concibe considerando técnicamente la carga hidráulica para el aprovechamiento y buen funcionamiento de la misma
20. Para la puesta en marcha se prevé la participación de los técnicos responsables para su capacitación en obra y posterior mantenimiento.
21. Se ha elaborado un manual de operación y mantenimiento en términos adecuados y de fácil entendimiento para los técnicos responsables de la instalación, este se encuentra en el anexo correspondiente.

Control de calidad de agua y enfermedades hídricas.

22. Para el control de estos dos aspectos, parte importante del presente proyecto y valoración de los resultados posteriores, se presentan los diseños de formatos a ser entregados a los actores correspondientes en cada ámbito, teniendo en consideración que se debe estar siempre en contacto con los responsables de cada aspecto, para evitar que la información que se genere se pierda o no se continúe llevando el control.

7. CONCLUSIONES.

Tras el estudio realizado dentro del alcance del presente TFM, las conclusiones más relevantes son las siguientes.

Después del estudio de las condiciones particulares de la población beneficiaria, se puede considerar a los habitantes de Cangonamá en situación económico y social de extrema pobreza, el empoderamiento del proyecto permitirá la mejora de la calidad de vida, el desarrollo económico y social de la parroquia de acuerdo con la voluntad mostrada por sus habitantes en la fase de socialización del proyecto.

Las condiciones de funcionamiento del sistema de agua existente no brinda seguridad en el agua de consumo que deriva en altos índices de morbilidad por enfermedades de origen hídrico en los habitantes de Cangonamá, siendo los grupos más vulnerables los niños y adultos mayores.

Las condiciones topográficas del sector ofrecen la ventaja de poder diseñar una potabilizadora que aproveche la carga hidráulica que se presenta, evitando el uso de sistema de bombeo para su funcionamiento con el consiguiente ahorro energético.

La calidad de agua de fuente de captación y en red presenta contaminación microbiológica, con calidad físico química aceptable; la puesta en marcha de la potabilizadora diseñada, asegura la calidad de todos estos parámetros anteriormente indicados y el correcto tratamiento de la contaminación microbiológica presente en el acuífero.

De acuerdo con la bibliografía consultada, y por sus ventajas de porcentajes de eficiencia demostrados en los ensayos de validación del sistema elegido, el diseño de la instalación seleccionado basado en la tecnología de membranas, presenta excelentes propiedades de: facilidad de manejo, capacidad de aumentar su producción (es escalable), fiabilidad y eficacia, robustez de funcionamiento y seguridad de calidad de agua producida, ya que está dotada de tres sistemas de desinfección del agua tratada, sin alterar la composición química del agua del agua de alimento

La formación y participación de los técnicos locales en todas las etapas del proyecto, garantizan el buen funcionamiento de la instalación y su sostenibilidad en el tiempo.

Este diseño y los resultados obtenidos una vez realizada la puesta en marcha de la instalación, servirán de referente para la implementación del mismo concepto en otras poblaciones del Ecuador con los mismos problemas de calidad de agua de consumo, siendo que es frecuente en la mayoría de las zonas rurales.

Con la puesta en marcha de este proyecto, las condiciones de vida de la población se verán mejoradas en un alto porcentaje. Se aspira que las enfermedades de origen hídrico disminuyan en al menos un 40% de forma inmediata, considerando que este factor también depende de otros factores sociales y culturales que no se pueden controlar en el presente trabajo, por ello, se hace indispensable una educación sanitaria de la población, con mayor énfasis en los niños y jóvenes de la población.

El seguimiento de los resultados de calidad de agua y enfermedades de origen hídrico es importante para la verificación de la sostenibilidad del proyecto y su eficiencia.

De acuerdo al Objetivo de este trabajo, tras su realización, se concluye, que se ha tomado en consideración todos los aspectos técnicos y sociales que intervienen para un correcto diseño del tratamiento de potabilización, que prestará el servicio para la población actual y futura hasta 500 habitantes.

8. INDICE DE ACRÓNIMOS

AQUAPOT	Potabilización para países en vías de desarrollo
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAF	Corporación Andina de Fomento
CPE	Código de Práctica Ecuatoriana
EOH	Enfermedades de Origen Hídrico
FLD	Filtro Lento Descendente
FA	Filtro de Arena
GAC	Carbón activado granular
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
GAMA	Consejo estatal para el control de los recursos del agua – California-USA.
IDH	Índice de Desarrollo Humano
INEC	Instituto Ecuatoriano de estadísticas y Censos
INEN	Instituto de Normalización del Ecuador.
JAA	Junta Administradora de Agua
MF	Microfiltración
NBI	Necesidades Básicas Insatisfechas
NF	Nanofiltración
NOM	Materia orgánica natural
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
ODM	Objetivos Del Milenio
OE	Objetivo Específico
OMS	Organización Mundial de la salud
ONU	Organización de Naciones Unidas
OI	Ósmosis Inversa
PAC	Polvo de carbón activado
PAS	Punto de Agua Saludable
PNBV	Plan Nacional del Buen Vivir Ecuador
PNUD	Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SHTEFIE	Social, Health, Technological, Economic, Financial, Institutional, Environmental.
THM	Trihalometanos

INDICE DE ACRÓNIMOS

UF	Ultrafiltración
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USEPA	United States Environmental Protection Agency.
UV	Luz ultravioleta

9. BIBLIOGRAFIA.

Arnal, J.M., García Fayos, B., Sancho, M. Verdú G. & Lora J.(2010). *Design and installation of a decentralized drinking water system based on ultrafiltration in Mozambique*. *Desalination*, 250, 613-617

Andreozzi, R.; Caprio, V.; Insola, A.;& Marotta, R. (1999). *Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery*. *Catalysis Today*, 53 (51-59).

Bukhari, Z., Hargy, T., Bolton, J., Dussert, B. & Clancy, J. (1998). *Inactivation of Cryptosporidium parvum oocysts using medium-pressure ultraviolet light*, 1998. En: AWWA AC/E.

Banco Interamericano de desarrollo (BID) (2014). *Programa Nacional de Inversiones en Agua, Saneamiento y Residuos Sólidos (PROSANEAMIENTO) (EC-L1122)*. Recuperado de <http://www.iadb.org/es/paises/ecuador/ecuador-y-el-bid,1065.html>.

Canche, J. & Ávila Reveles, J., *Degradación Fotocalítica de ácidos húmicos por TiO₂/H₂O₂/Luz solar natural o cámara solar*

Feres, J.C. (Ed).(2001) *El Método de las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) y sus Aplicaciones en América Latina*. Naciones Unida, CEPAL, División de estadísticas y Proyecciones Económicas.

Franceys, R., & Ince, M. Technical Brief No. 49: *Choosing an appropriate technology*.

Gadgil, A. (1998). *Drinking water in developing countries*. *Annual review of energy and the environment*, 23(1), 253-286.

Jagger, J. (1967). *Introduction to research in ultraviolet photobiology*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc

Malley, J.P., Shaw, J.P.,& Ropp, J.R. (1995). *Evaluation of by-products produced by treatment of groundwaters with ultraviolet irradiation*. AWWA Research Foundation and the American Water Works Association.

Munakata, N., Daito, M. & Hieda, K. (1991) *Inactivation spectra of Bacillus subtilis spores in extended ultraviolet wavelengths (50-300nm) obtained with synchrotron radiation*. *Photochemistry and Photobiology*; vol. 54(5), 761-768.

New Hampshire Department of Environmental Services (2010). *Interpreting The Presence Of Coliform Bacteria In Drinking Water*. Recuperado de: <http://des.nh.gov/organization/commissioner/pip/factsheets/dwgb/documents/dwgb-4-1.pdf>

Organización Mundial de la Salud (2006). *Guía para la calidad de agua potable*. Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf

Pryor, M. J., Jacobs, E. P., Botes, J. P., & Pillay, V. L. (1998). *A low pressure ultrafiltration membrane system for potable water supply to developing communities in South Africa*. *Desalination*, 119(1), 103-111.

Programa de Naciones Unidas (PNUD).(2014). *Informe de desarrollo humano 2014 Sosteniendo el Progreso Humano: Reducir vulnerabilidades y construir resiliencia*. Recuperado de: <http://hdr.undp.org/es>

Romero, R. J.A., (2006). *Purificación del agua*. Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería.

Rodríguez, V., F. J., (2003) *Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización*. Madrid España. Ediciones Díaz de Santos.

Solarte, Y., Salas, M. L., Sommer, B., Dierolf, C., & Wegelin, M. (1997). *Uso de la radiación solar (UV-A y temperatura) en la inactivación del Vibrio cholerae en agua para consumo humano. Factores que condicionan la eficiencia del proceso*. *Colombia Médica*, 28(3), 123-129.

Secretaría nacional de Planificación y Desarrollo -Ecuador.(SENPLADES)(2013) *Plan Nacional del Buen Vivir 2013- 2017*. Recuperado de: <http://documentos.senplades.gob.ec/Plan%20Nacional%20Buen%20Vivir%202013-2017.pdf>

The World Bank. (2014). *World Development indicators 2014*. Recuperado de <http://data.worldbank.org/sites/default/files/wdi-2014-book.pdf>.

Xiaoyan G., Zhenjia Z.,Lin F.,& Liguó S. (2009). *Study on ultrafiltration for surface water by a polyvinylchloride hollow fiber membrane*. *Desalination*. 238. 183-191.

Xia S.,Liu Y., Li X., & Yao J. (2007).*Drinking water production by ultrafiltration of Songhuajiang River with PAC adsorption*. *Journal of Environmental Sciences*. 19. 536-539.

Wright J., Gundry S., & Conroy R. (2004) *Household drinking water in developing countries: a systematic review of microbiological contamination between source and point-of-use*. *Tropical Medicine and International Health* 9 No 1, 106-117.

Wright H.,& Cairns W., *Luz ultravioleta* .Trojan Technologies (1998) Vol. 23

Páginas web

Boletín de KURIMEXICANA: Aqualog. Página web: <http://www.kurimexicana.com/agalog-mayo-2012.shtml>. Fecha de consulta: mayo de 2015.

Calidad del agua de la OMS. Página web: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/.Fecha de consulta Enero de 2015

CINTROPUR, Página web:

http://www.pintocruz.pt/fotos/produtos/cintropur_industrial_48840955528371cb8cf84_114122824754c66c97112ab.pdf. Fecha de consulta: Mayo 2015

Food and Agriculture Organization of the United States. FAO Página web:

http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ECU. Fecha de consulta: Enero de 2015.

Instituto Nacional de estadísticas y Censos (INEC) Página web:

<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/pobreza/>. Fecha de consulta: Enero de 2015

Lentech. Página web:

<http://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua>. Fecha de consulta. Diciembre 2014.

LENTECH, Página web:

<http://www.lenntech.es/productos/membrane/hydranautics-membranes.htm>. Fecha de consulta: Mayo de 2015

mi+d Un lugar para la ciencia y la tecnología. Página web:

<http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2012/07/13/131815>. Fecha de consulta: Mayo de 2015

Organización de naciones Unidas. Página web:

<http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/sanitation.shtml>. Fecha de consulta. Enero de 2015.

Organización de naciones Unidas. Página web:

http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp. Fecha de consulta: Enero de 2015.

Organización Mundial de la Salud. Página web:

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs178/es/>. Fecha de consulta: Febrero de 2015.

Organización de naciones Unidas. Página web:

<http://www.un.org/millenniumgoals/environ.shtml>. Fecha de consulta. Febrero de 2015.

UNESCO, Página web:

http://webworld.unesco.org/water/wwap/facts_figures/agua_industria.shtml Fecha de consulta: Mayo 2015.

Wikipedia, geografía de Ecuador. Página web:

http://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_de_Ecuador . Fecha de consulta Noviembre de 2014

Mundiagua, Página web:

<http://www.mundiagua.com/equipos-varios/lampara-ultravioleta.asp>. Fecha de consulta. Mayo de 2015

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS		Pág.
Anexo 1	Encuesta Socio Económica Sanitaria.	135
Anexo 2	Planos del sistema de agua de la parroquia Cangonamá	139
Anexo 5	Manual de Operación y mantenimiento de la Instalación.	

ANEXO 1
ENCUESTA SOCIO ECONÓMICA SANITARIA.

ANEXO 2
PLANOS DEL SISTEMA DE AGUA DE LA PARROQUIA
CANGONAMÁ

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	DIÁMETRO	CANTIDAD	LONG.
E1	TRAMO CORTO PVC-PR	1"	1	0.10
E2	TRAMO CORTO PVC-PR	1"	2	0.40
E3	TRAMO LARGO PVC-PR	1"	1	0.96
E4	CODO PVC-PR 90°	1"	3	
E5	TRAMO CORTO PVC-PR	50mm	1	0.10
E6	TRAMO CORTO PVC-PR	50mm	1	0.36
E7	TRAMO CORTO PVC-PR	50mm	1	0.46
E8	TRAMO LARGO PVC-PR	50mm	1	2.30
E9	TEE PVC-PR	50mm	1	

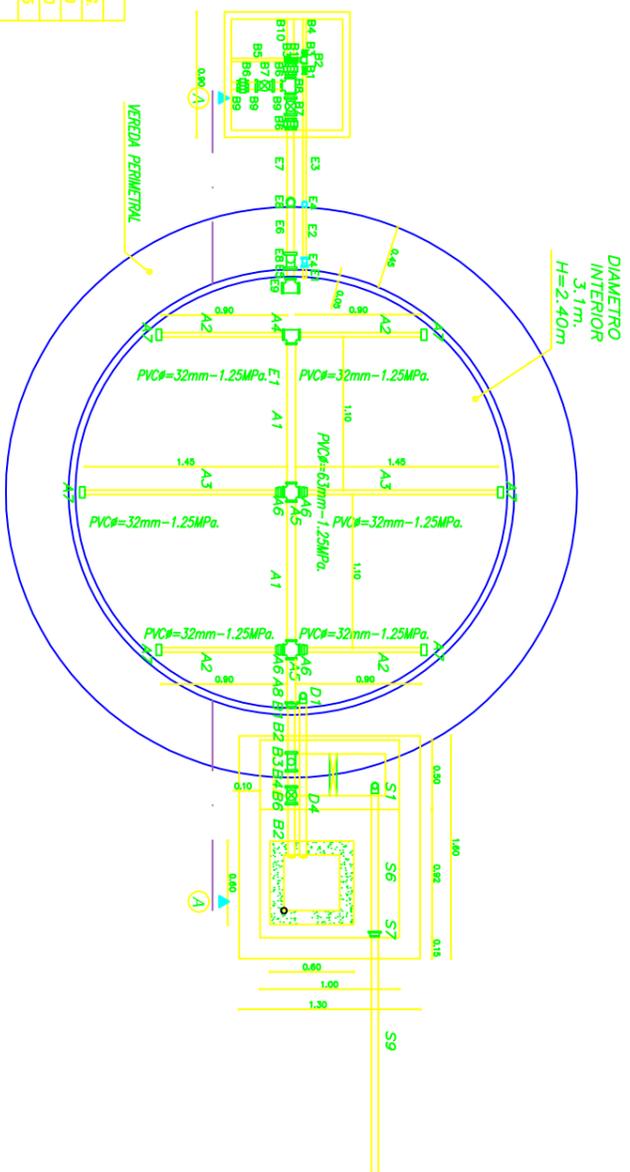
CAMA DE VALVULAS				
B1	VALVULA DE COMPUESTA RED WHITE BRONCE	1"	2	
B2	TEE PVC-PR	25mm	1	
B3	UNIVERSAL PVC-PR	25mm	2	
B4	TRAMO CORTO PVC-PR	25mm	1	0.26
B5	TRAMO CORTO PVC-PR	25mm	1	0.40
B6	UNIVERSAL PVC-PR	50mm	3	
B7	VALVULA DE COMPUESTA RED WHITE BRONCE	50mm	2	
B8	TEE PVC-PR	50mm	1	
B9	TRAMO CORTO PVC-PR	50mm	3	0.05
B10	TRAMO CORTO PVC-PR	50mm	1	0.30

CONEXIONES DE AGUA				
A1	TRAMO PVC E/C	63mm	4	1.10
A2	TRAMO PVC E/C	33mm	8	1.00
A3	TRAMO PVC E/C	33mm	4	1.45
A4	TEE REDUCTORA PVC E/C	33-32mm	2	
A5	CRUZ PVC E/C	63mm	4	
A6	REDUCTOR PVC E/C	33-32mm	8	
A7	TAPON PVC	33mm	12	
A8	TUB. PVC	33mm	2	0.36

A CLORACION				
S1	TRAMO CORTO PVC-PR	50 mm	2	0.15
S2	UNIVERSAL PVC-PR	50 mm	2	
S3	TRAMO CORTO PVC-PR	50 mm	4	0.05
S4	VALVULA DE COMPUESTA RED WHITE BRONCE	2"	2	
S5	CODO PVC-PR 90°	50 mm	5	
S6	TRAMO PVC E/C	50 mm	2	1.00
S7	ADAPTADOR PVC-H	50 mm	2	
S8	TRAMO CORTO PVC-PR	50 mm	1	0.20
S9	TRAMO CORTO PVC-PR	50 mm	1	1.70

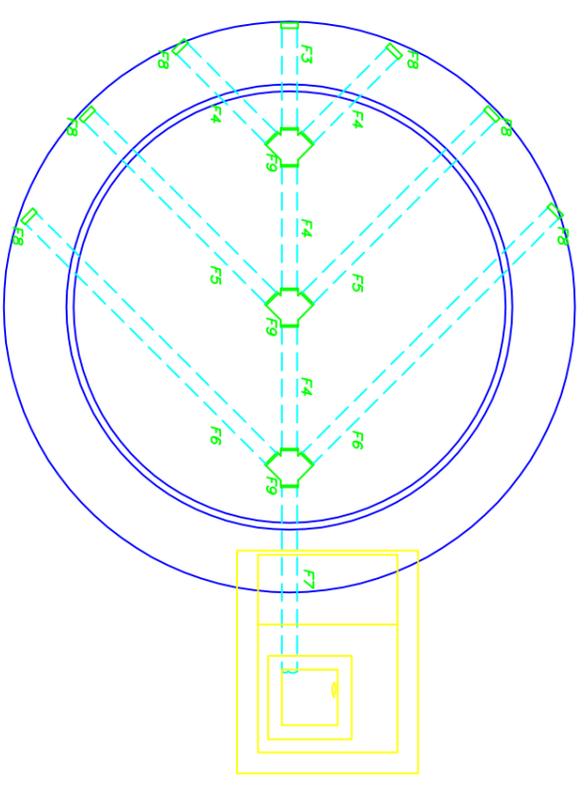
REBOSAR				
D1	BOCA DE CAMPANA DE ALUMINIO	2"	2	
D2	TRAMO PVC E/C	50mm	2	2.00
D3	CODO PVC-PR 90°	50mm	2	
D4	TRAMO PVC E/C	50mm	2	1.10

DESAGUE FILTRO LENTO DE ARENA Y SUBSTRATOS				
F1	TUBERIA DE DESAGUE E/C	110mm	2	2.05
F2	TUBERIA DE DESAGUE E/C	110mm	1	2.75
F3	TUBERIA DE DESAGUE E/C	110mm	2	0.75
F4	TUBERIA DE DESAGUE E/C	110mm	4	0.90
F5	TUBERIA DE DESAGUE E/C	110mm	4	1.85
F6	TUBERIA DE DESAGUE E/C	110mm	4	2.50
F7	TUBERIA DE DESAGUE E/C	110mm	2	1.35
F8	TAPON M DESAGUE E/C	110mm	14	
F9	VERA DOBLE DESAGUE E/C	110mm	6	



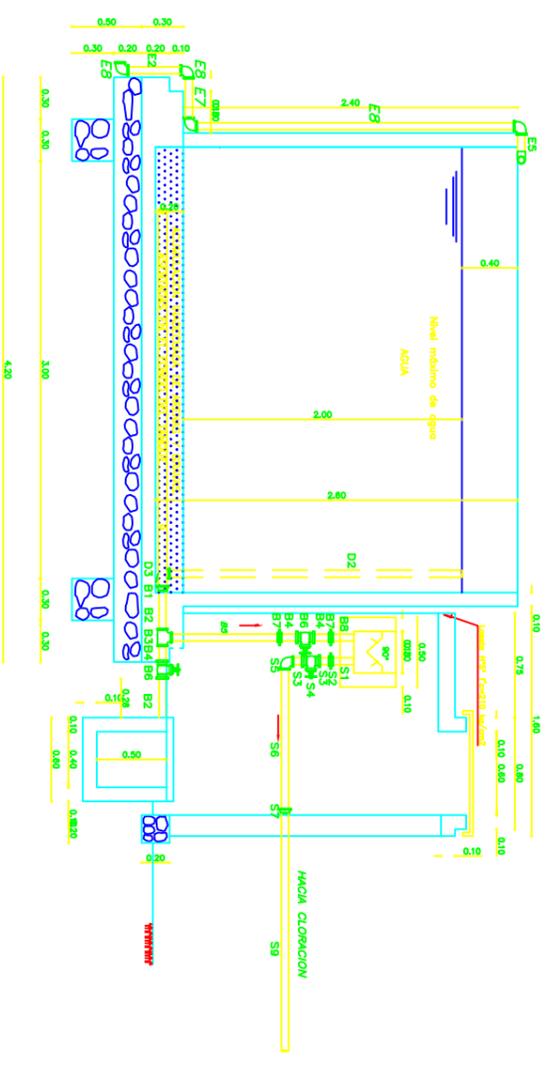
FILTROS LENTOS DESCENDENTE

ESCALA: 1:20



SISTEMA DE DUBDRENES

ESCALA: 1:20

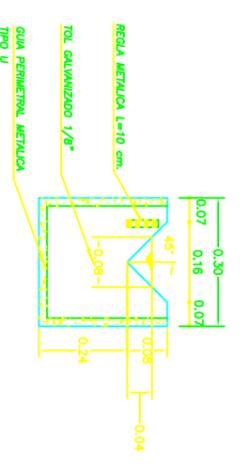


CORTE A-A

ESCALA: 1:20

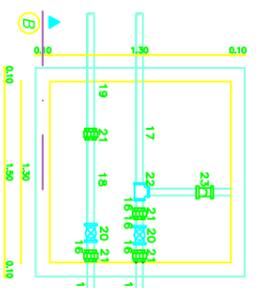
DETALLE DEL VERTEDERO

ESCALA: 1:5

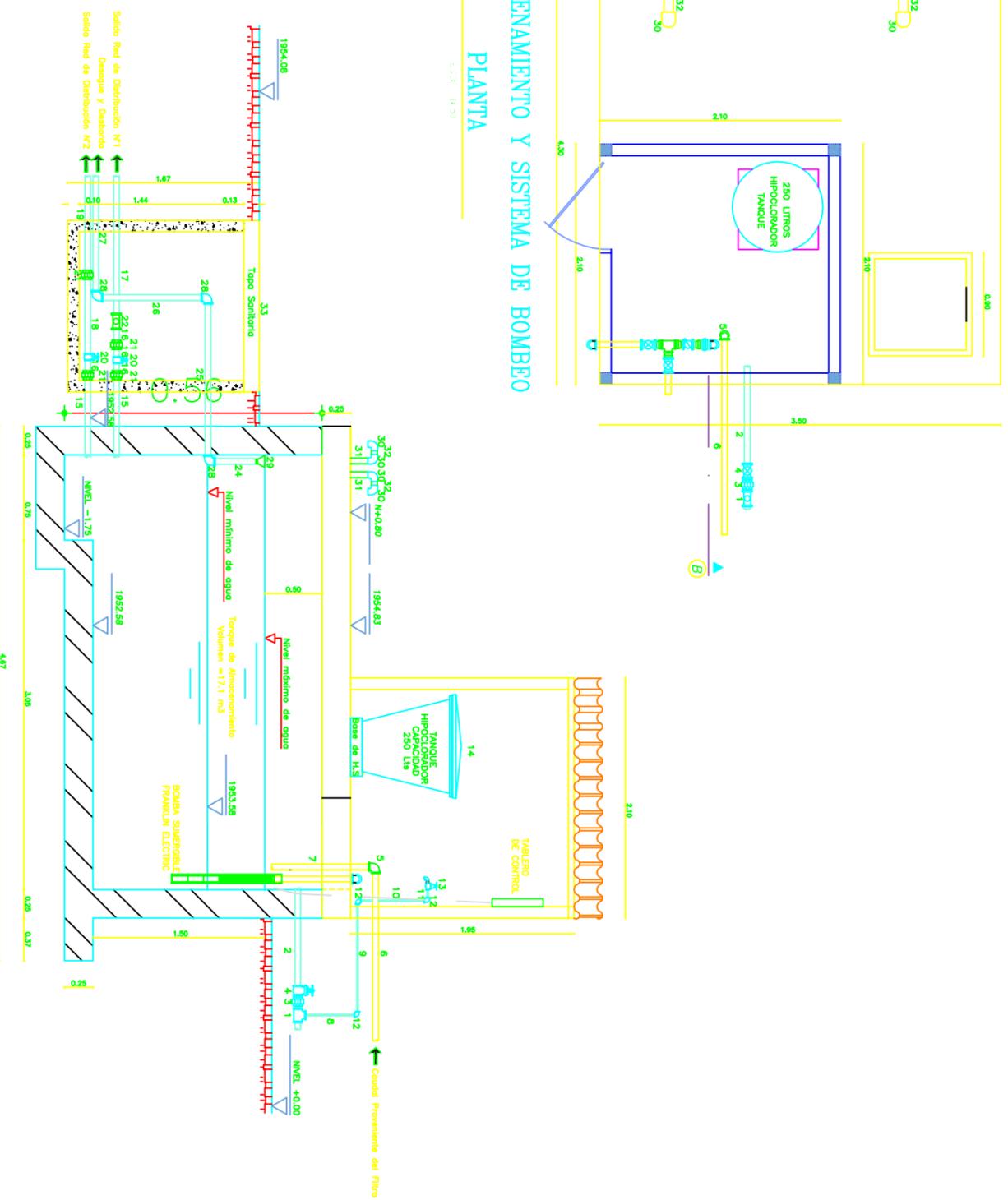


PROYECTO: POTABILIZACIÓN DE AGUAS CRUDAS MEDIANTE TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS PARA 500 HABITANTES. CASO DE ESTUDIO CANGONAMA ECUADOR		D:\Juan Carlos\Desktop\esquem\m1hmo.jpg	
FECHA:	MAYO/2015	DIBUJADO: SONIA LORENA GONZAGA V.	ESCALA
FICHERO:	COMPROBADO: DR. JOSÉ M. ARNAL A.		
Nº PLANO:	2		

SIGNO	DESCRIPCION	Ø (pulg)	LONGIT. (m)	CANT.
LISTA DE ACCESORIOS				
ENTRADA A TANQUE				
1	TRE H.G.E.P.	2"		1
2	TRAMO COBRO H.G.E.P.	2"	0.65	1
3	UNIVERSAL H.G.	2"		1
4	VALVULA DE COMPUESTA EN BRONCE	2"		1
5	CODO PVC P ROSCABLE	2"	1.70	1
6	TRAMO COBRO PVC P ROSCABLE	2"	0.65	1
7	TRAMO COBRO PVC P ROSCABLE	2"	0.65	1
DERIVACION A HIPOCLORIDOR				
8	TRAMO COBRO H.G.	1/2"	0.45	1
9	TRAMO COBRO H.G.	1/2"	0.65	1
10	TRAMO COBRO H.G.	1/2"	0.65	1
11	TRAMO COBRO H.G.	1/2"	0.65	1
12	CODO H.G. 90	1/2"		3
13	Llave de PASO	1/2"		1
14	TANQUE HIPOCLORIDOR			1
SALIDA DE RED				
15	TRAMO COBRO H.G.	2"	0.70	2
16	TRAMO COBRO H.G.	2"	0.05	4
17	TRAMO COBRO H.G.	2"	1.20	1
18	TRAMO COBRO H.G.	2"	0.65	1
19	TRAMO COBRO H.G.	2"	0.65	1
20	VALVULA DE COMPUESTA EN BRONCE	2"		2
21	UNIVERSAL PVC P ROSCABLE	2"		4
22	TRE H.G.E.P.	2"		1
23	CODO PVC P ROSCABLE	2"		2
DESAGUE Y DESBORDE				
24	TRAMO COBRO H.G.	2"	0.35	1
25	TRAMO COBRO H.G.	2"	1.35	1
26	TRAMO COBRO H.G.	2"	0.65	1
27	TRAMO COBRO H.G.	2"	1.00	1
28	CODO H.G. 90	2"		3
29	DESBORDE DE CAMPANA DE ALUMINIO	2"		1
AIRRADORES				
30	CODO DE 90 H.G.E.P.	2"		4
31	TRAMO COBRO H.G.E.P.	2"	0.15	2
32	NEUDO H.G.E.P.	2"	0.05	1
33	TAPA SANDIAYARA METALICA	2"		1

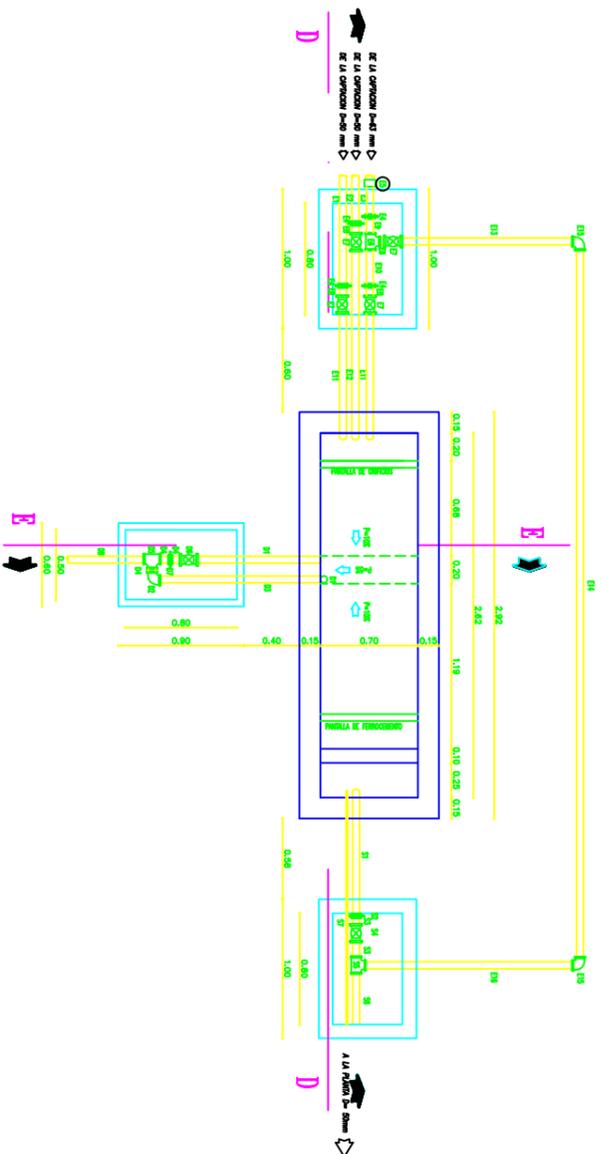


TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y SISTEMA DE BOMBEO PLANTA

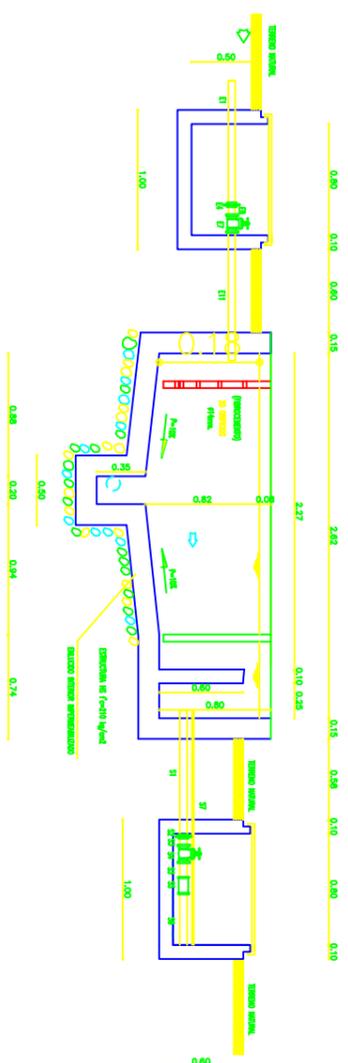


CORTE A - A TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y SISTEMA DE BOMBEO CORTE B - B

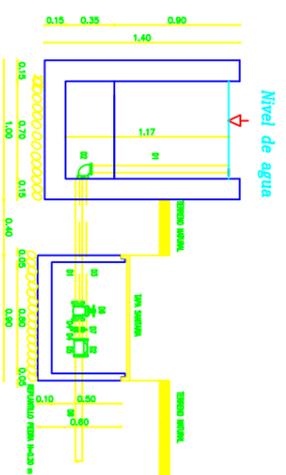
PROYECTO: ESTUDIO Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA CANGONAMA		DIBUJADO: SONIA LORENA GONZAGA V.		ESCALA	
FECHA:	MAYO/2015	D:\Jhon Carlos\Desktop\asequero\ultimo.jpg		1:50	
FICHERO:		COMPROBADO: DR. JOSÉ M. ARNAL A.			
Nº PLANO:	3				



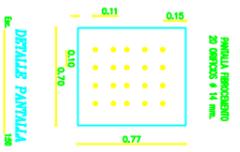
PLANTA DESALINADOR
Escala: 1:50



CORTE D-D
Escala: 1:50



CORTE E-E
Escala: 1:50



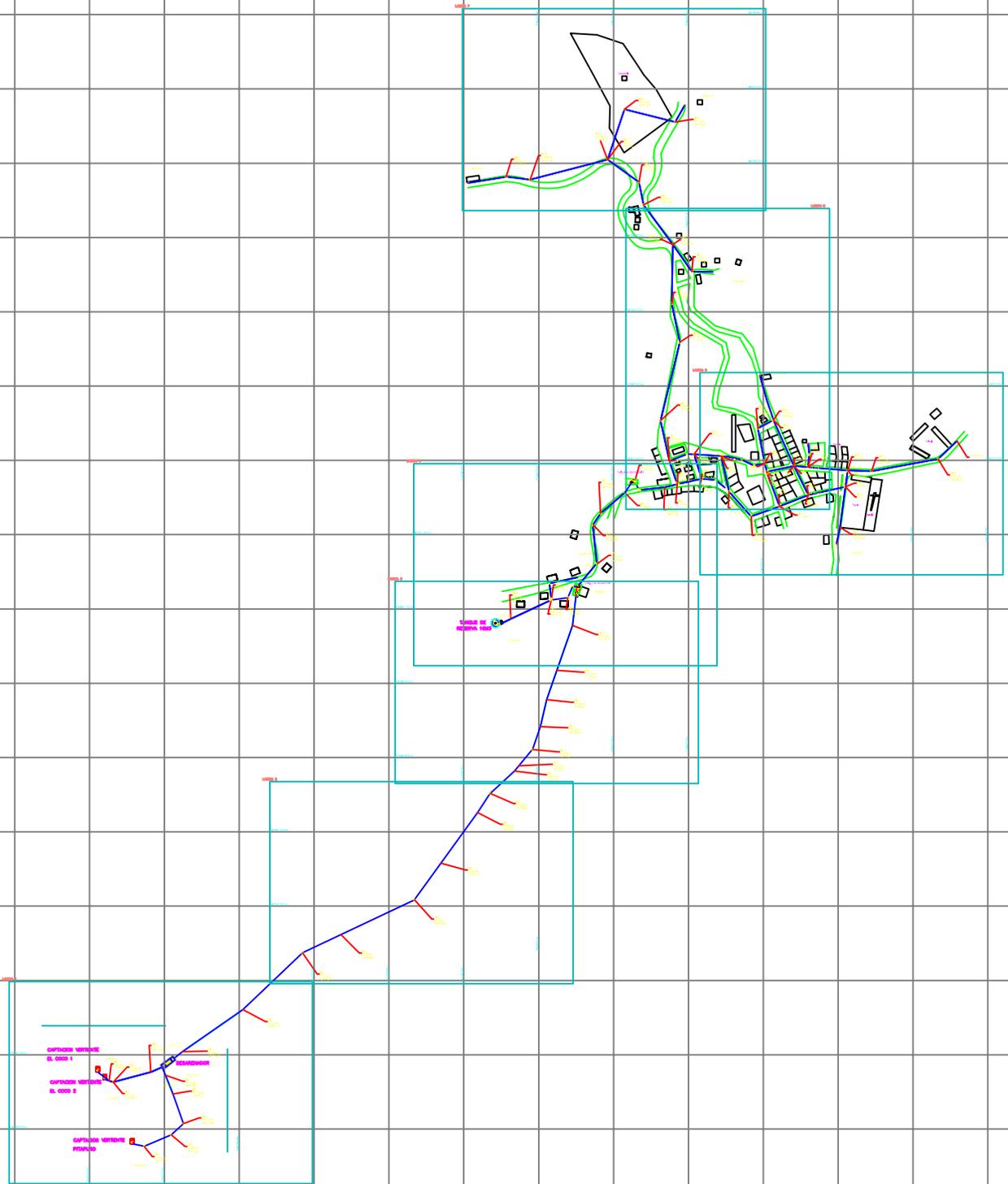
PANUELA PROYECTADA
20 VALVULAS 4 X 5 mm.
DETALLE PANUELA
Escala: 1:50

LISTADO DE ACCESORIOS DESALINADOR

SIGNO	DESCRIPCION	DIAMETRO	CANTID.	LONGIT.
ENTRADA				
E1	TUBERIA PVC E/C	50 mm	1	0.75
E2	TUBERIA PVC E/C	50 mm	1	0.50
E3	TUBERIA PVC E/C	50 mm	1	0.20
E4	UNIVERSAL PVC	50 mm	4	
E5	ADAPTADOR H OR E/C	63mm A 2"	1	
E6	TEE PVC	50 mm	1	
E7	VALVULA DE COMPUERTA RED WHITE BRONCE	2"	4	
E8	TUBERIA PVC E/C	50 mm	4	0.05
E9	TUBERIA PVC E/C	50 mm	1	0.10
E10	TUBERIA PVC E/C	50 mm	1	0.25
E11	TUBERIA PVC E/C	50 mm	2	0.90
E12	TUBERIA PVC E/C	50 mm	1	1.35
E13	TUBERIA PVC E/C	50 mm	1	1.25
E14	TUBERIA PVC E/C	50 mm	1	5.10
E15	CODO PVC 90°	50 mm	2	
E16	TUBERIA PVC E/C	50 mm	1	1.50
SALIDA				
S1	TUBERIA PVC E/C	50 mm	1	0.90
S2	UNIVERSAL PVC	50 mm	1	
S3	TUBERIA PVC E/C	50 mm	2	0.05
S4	VALVULA DE COMPUERTA RED WHITE BRONCE	2"	1	
S5	TEE PVC	50 mm	1	
S6	TUBERIA PVC E/C	50 mm	1	0.35
S7	MANGUERA PVC	1/2"	1	1.70
DESGARDE				
D1	TUBERIA PVC E/C	50 mm	2	1.00
D2	CODO PVC 90°	50 mm	2	
D3	TUBERIA PVC E/C	50 mm	1	1.20
D4	TUBERIA PVC E/C	50 mm	3	0.05
D5	TEE PVC	50 mm	1	
D6	VALVULA DE COMPUERTA RED WHITE BRONCE	2"	1	
D7	UNIVERSAL PVC	50 mm	1	
D8	TUBERIA PVC E/C	50 mm	1	0.55

PROYECTO: POTABILIZACIÓN DE AGUAS CRUDAS MEDIANTE TECNOLOGIA DE MEMBRANAS PARA 500 HABITANTES. CASO DE ESTUDIO CANGONAMA ECUADOR		DIBUJADO: SONIA LORENA GONZAGA V.		D: Jhon Carlos Velezco Vasquezo ymlmno.jpg	
FECHA:	MAYO/2015	COMPROBADO: DR. JOSÉ M. ARNAL A.			
FICHERO:					
N° PLANO:	4				
			ESCALA		1:50

RED DE DISTRIBUCIÓN DE SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA PARROQUIA CANGONAMA



PROYECTO: ESTUDIO Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA CANGONAMA	
FECHA: MAYO/2015	DIBUJADO: SONIA LORENA GONZAGA V.
FICHERO:	COMPROBADO: DR. JOSÉ M. ARNAL A.
N° PLANO: 5	

D:\Juan Coria\Desktop\esquema\ymlhms.jpg

ESCALA
1: 4000

NP561100m

CAPTACION VERTIENTE
EL COCO 1

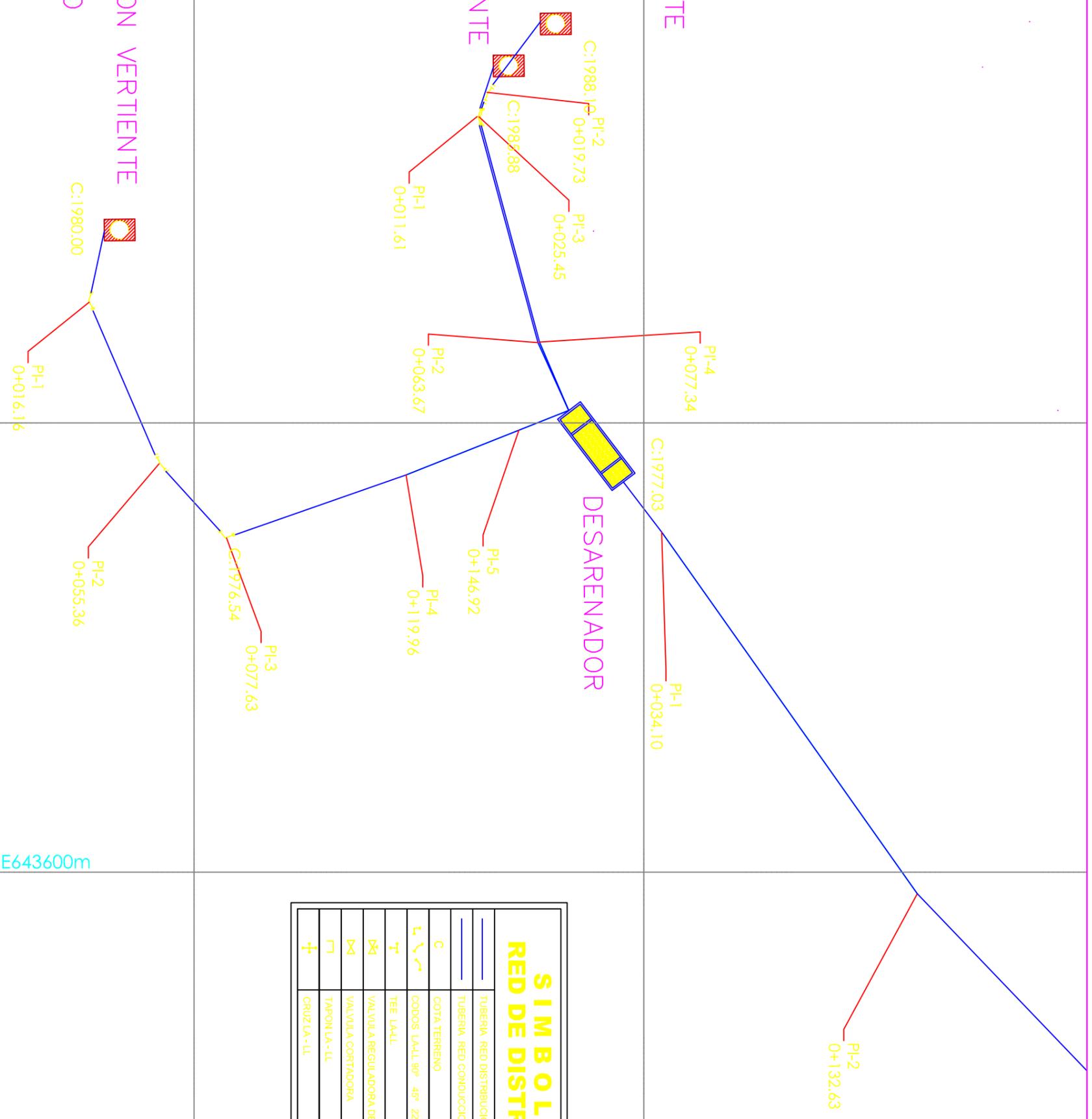
CAPTACION VERTIENTE
EL COCO 2

NP561000m

CAPTACION VERTIENTE
PITAPURO

E643400m

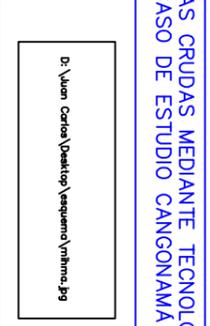
E643500m



FECHA:	MAYO/2015
FICHERO:	
N° PLANO:	6

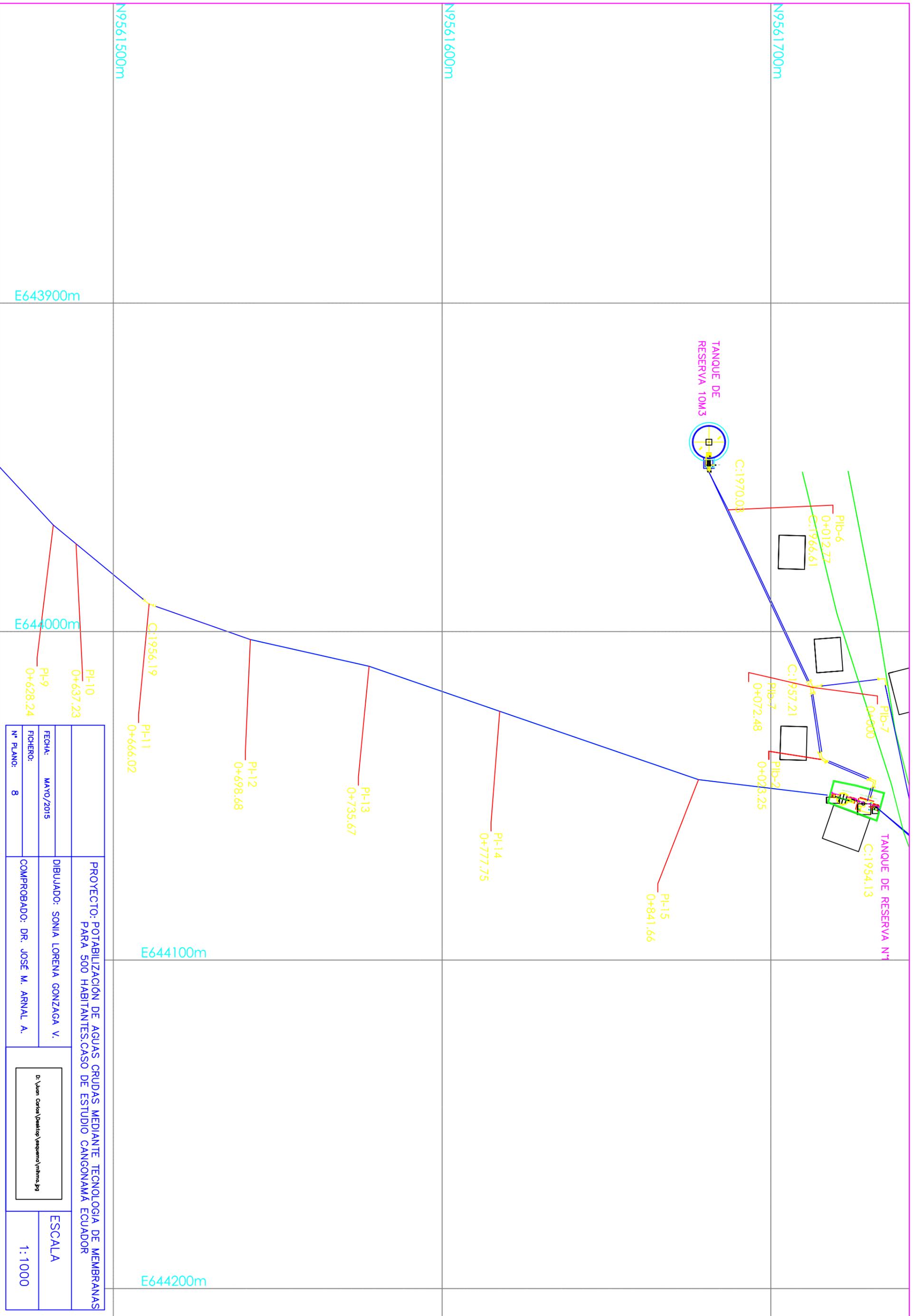
DIBUJADO:	SONIA LORENA GONZAGA V.
COMPROBADO:	DR. JOSÉ M. ARNAL A.

PROYECTO: POTABILIZACIÓN DE AGUAS CRUDAS MEDIANTE TECNOLOGIA DE MEMBRANAS PARA 500 HABITANTES.CASO DE ESTUDIO CANGONAMA ECUADOR



ESCALA	1:1000
--------	--------

SIMBOLOGIA RED DE DISTRIBUCION	
	TUBERIA RED DISTRIBUCION PROYECTO
	TUBERIA RED CONDUCCION EN DISTRIBUCION
	COTA TERRENO
	CODOS LA=LL 90° 45° 22.5°
	TEE LA=LL
	VALVULA REGULADORA DE PRESION
	VALVULA CORTADORA
	TAPON LA=LL
	CRUZ LA=LL



FECHA: MAYO/2015		DIBUJADO: SONIA LORENA GONZAGA V.			ESCALA 1:1000
FICHERO:		COMPROBADO: DR. JOSÉ M. ARNAL A.			
N° PLANO: 8		PROYECTO: POTABILIZACIÓN DE AGUAS CRUDAS MEDIANTE TECNOLOGIA DE MEMBRANAS PARA 500 HABITANTES. CASO DE ESTUDIO CANGONAMA ECUADOR			

SIMBOLOGIA RED DE DISTRIBUCION

	TUBERIA RED DISTRIBUCION PROYECTO
	TUBERIA RED CONDUCCION EN DISTRIBUCION
	COTA TERRENO
	CODOS LA-LL 90° 45° 22.5°
	TEE LA-LL
	VALVULA REGULADORA DE PRESION
	VALVULA CORTADORA
	TAPONIA-LL
	GRUZ LA-LL

N9561400m

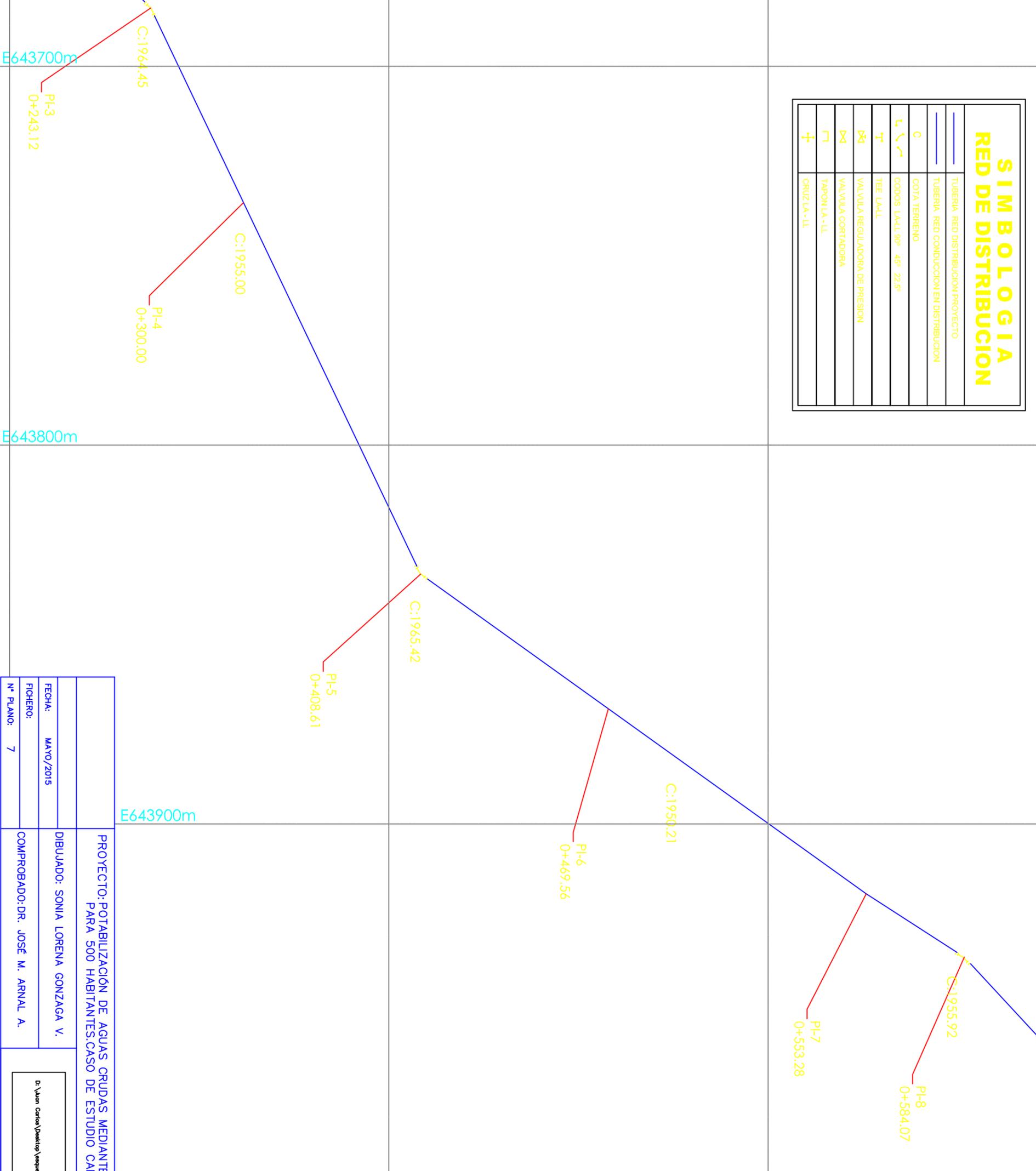
N9561300m

E643700m

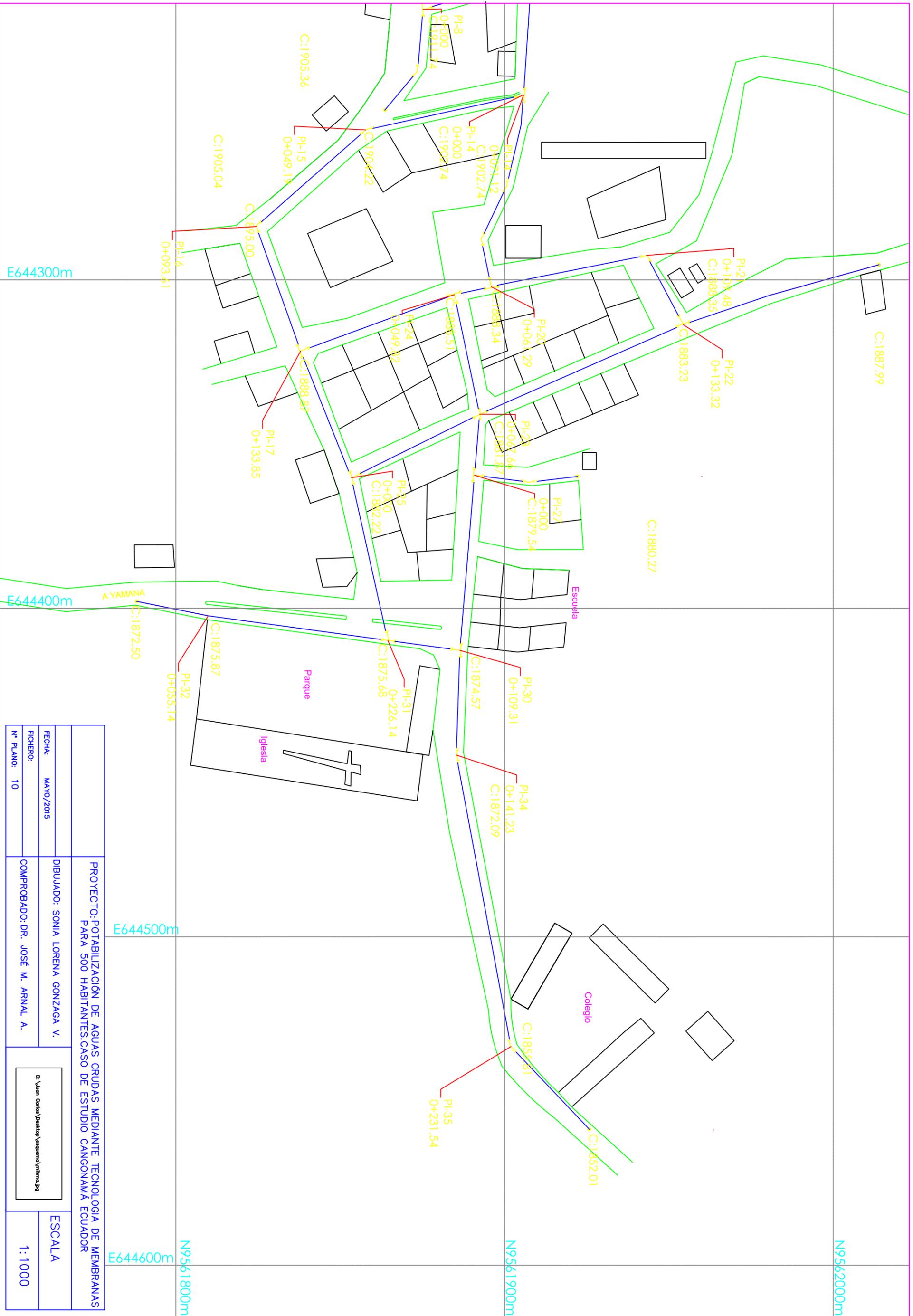
E643800m

E643900m

E644000m



<p>PROYECTO: POTABILIZACION DE AGUAS CRUDAS MEDIANTE TECNOLOGIA DE MEMBRANAS PARA 500 HABITANTES. CASO DE ESTUDIO CANGONAMA ECUADOR</p>	
<p>FECHA: MAYO/2015</p>	<p>DIBUJADO: SONIA LORENA GONZAGA V.</p>
<p>FICHERO:</p>	<p>COMPROBADO: DR. JOSÉ M. ARNAL A.</p>
<p>N° PLANO: 7</p>	<p>Dr. Vjuan Carlos Vasquez Vasquez y Arina, Jg</p>
<p>ESCALA</p>	<p>1 : 1000</p>

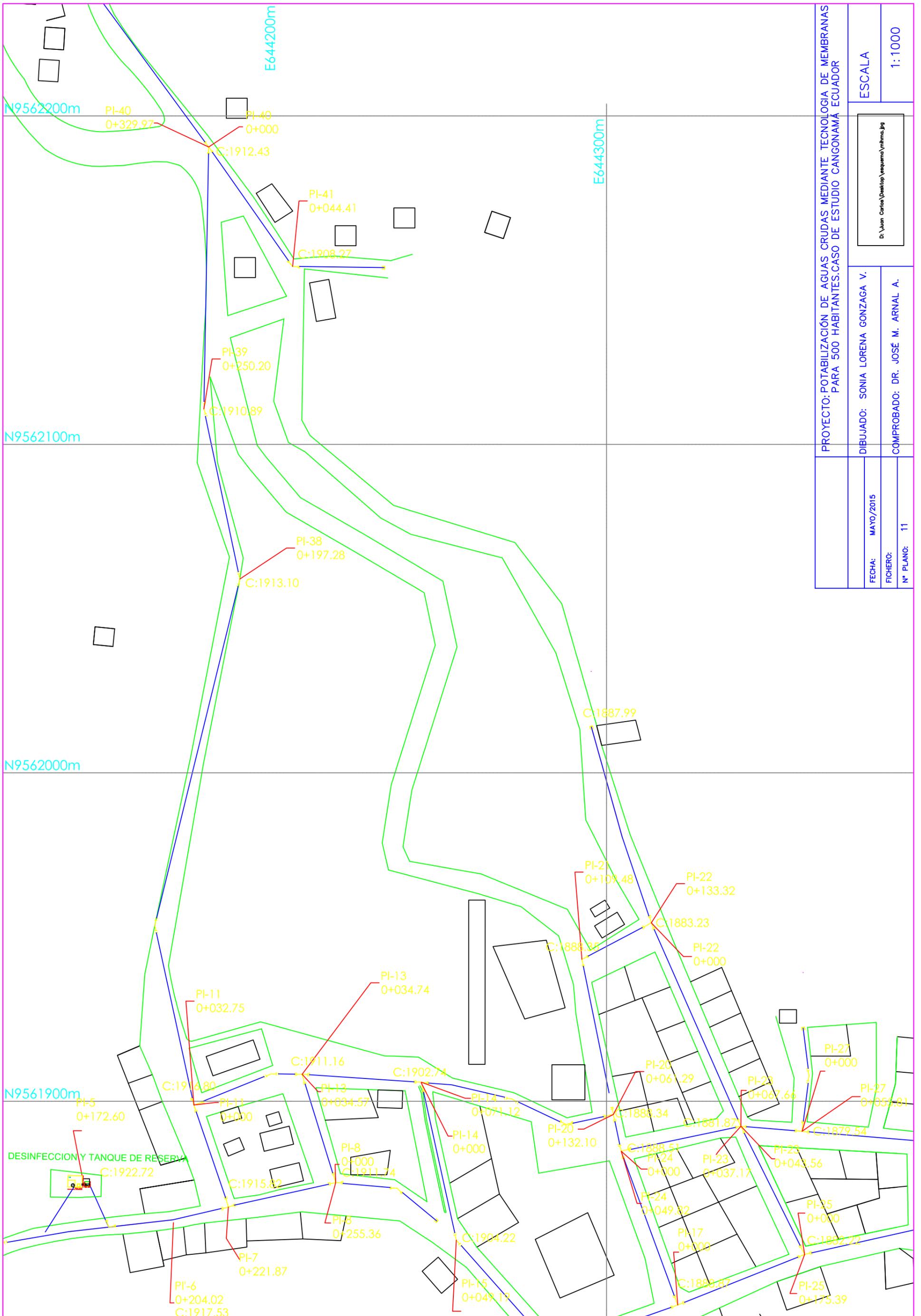


PROYECTO: POTABILIZACIÓN DE AGUAS CRUDAS MEDIANTE TECNOLOGIA DE MEMBRANAS PARA 500 HABITANTES. CASO DE ESTUDIO CANGONAMA ECUADOR

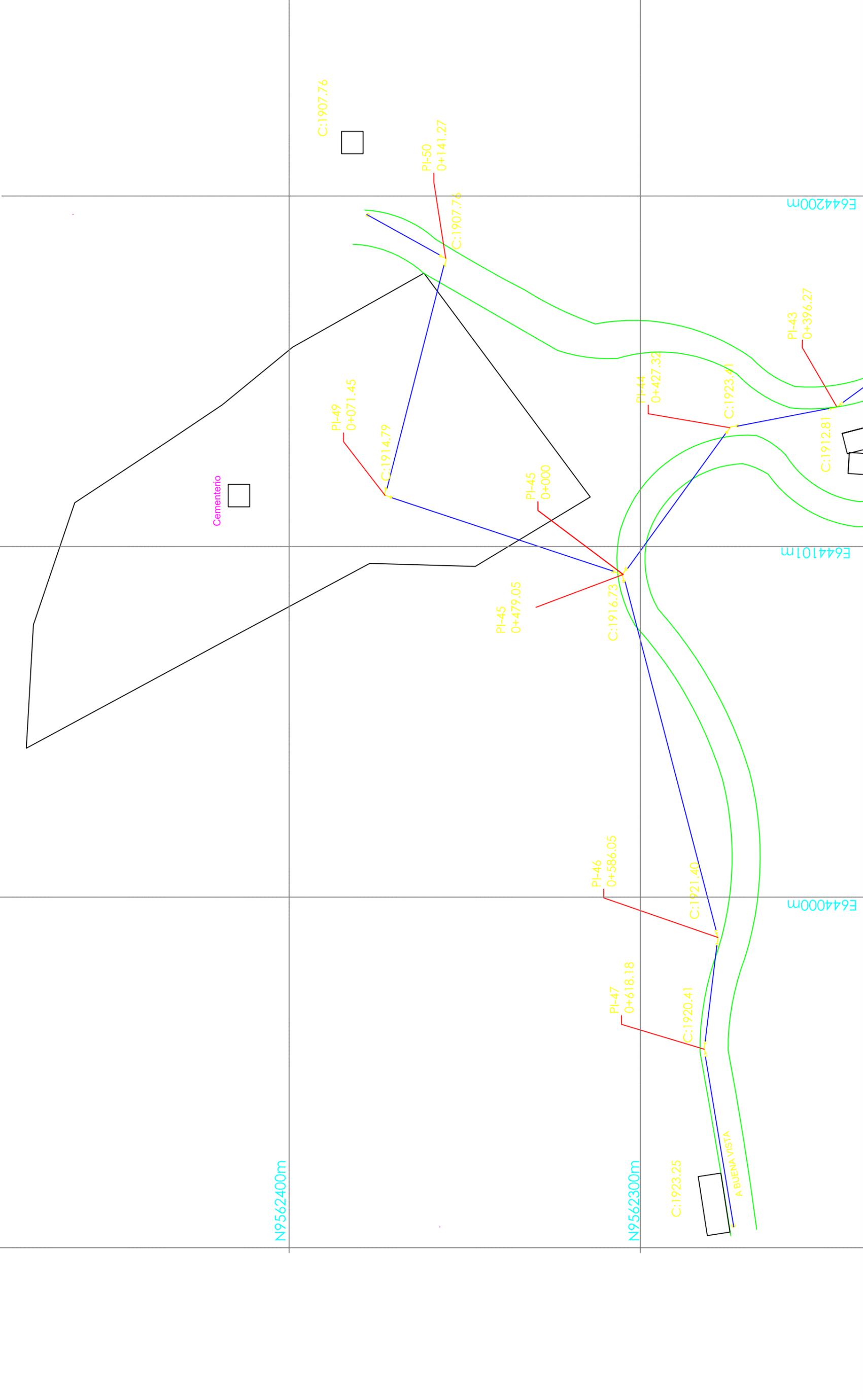
FECHA:	MAYO/2015	DIBUJADO:	SONIA LORENA GONZAGA V.
FICHERO:		COMPROBADO:	DR. JOSÉ M. ARNAL A.
Nº PLANO:	10		



ESCALA	1:1000
--------	--------



PROYECTO: POTABILIZACIÓN DE AGUAS CRUDAS MEDIANTE TECNOLOGIA DE MEMBRANAS PARA 500 HABITANTES.CASO DE ESTUDIO CANGONAMA ECUADOR		ESCALA 1:1000	
DIBUJADO: SONIA LORENA GONZAGA V.		ESCALA 1:1000	
FECHA: MAYO/2015	FICHERO:	COMPROBADO: DR. JOSÉ M. ARNAL A.	
N° PLANO: 11	D:\Juan Carlos\Desktop\esquem\mhma.jpg	ESCALA 1:1000	



<p>PROYECTO: POTABILIZACIÓN DE AGUAS CRUDAS MEDIANTE TECNOLOGIA DE MEMBRANAS PARA 500 HABITANTES. CASO DE ESTUDIO CANGONAMA ECUADOR</p>	
<p>FECHA: MAYO/2015</p>	<p>DIBUJADO: SONIA LORENA GONZAGA V.</p>
<p>FICHERO:</p>	<p>COMPROBADO: DR. JOSÉ M. ARNAL A.</p>
<p>Nº PLANO: 12</p>	<p>Dr. Juan Carlos Viquez\arquero\utilitario.jpg</p>
<p>ESCALA</p>	
<p>1 : 1000</p>	

ANEXO 3
MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA
INSTALACIÓN.

**Trabajo Fin de Máster/Manual de
Operación y Mantenimiento**
**POTABILIZACIÓN DE AGUAS CRUDAS MEDIANTE
TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS PARA 500
HABITANTES.CASO DE ESTUDIO CANGONAMÁ
ECUADOR**

Intensificación: TRATAMIENTO DE AGUAS

Autor

SONIA LORENA GONZAGA VALLEJO

Director

DR. JOSE MIGUEL ARNAL ARNAL

Codirector

DR JORGE GARCIA-SERRA GARCÍA

MAYO/2015



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

INDICE	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. RESPONSABLE DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	3
4. DEFINICIONES	5
5. COMPONENTES DEL SISTEMA Y SU POTABILIZACIÓN	9
5.1 Abastecimiento y calidad de agua.....	9
5.2 Diagrama de flujo de la instalación	9
5.2.1 Parámetros de control	13
5.2.2 Etapa de producción	14
5.3 Estructuras de Captación.....	15
5.3.1 Captaciones de manantial	16
5.3.1.1 Operación y puesta en marcha	16
5.3.1.2 Limpieza y desinfección	16
5.3.1.3 Mantenimiento	17
5.3.2 Recomendaciones Generales	18
5.4 Desarenador	19
5.4.1 Operación General.....	19
5.4.2 Mantenimiento.....	19
5.4.2.1 Tanque desarenador	20
5.4.2.2 Registros de operación y mantenimiento.....	21
5.5 Estructuras de pretratamiento potabilizador.....	22
5.5.1.1 Mantenimiento del F.L.D.....	26
5.5.2 Filtro de Arena. FA.....	30
5.5.2.1 Mantenimiento del Filtro de Arena.....	30
5.5.3 Depósito de Agua	32
5.5.3.1 Operación y puesta en marcha	32
5.5.3.2 Mantenimiento	32
5.6 Tratamiento.....	34
5.6.1 Gestión de permeado producido (agua pura).....	35
5.6.2 Funcionamiento de la Instalación. Etapa de lavado de las membranas.....	35
5.6.3 Gestión del concentrado producido	40
5.7 Red de Distribución.....	40

5.7.1	Herramientas y Materiales.....	40
5.7.2	Operación.....	41
5.7.3	Mantenimiento.....	41
5.7.4	Tuberías	41
5.7.5	Reparación de fugas.....	42
5.7.6	Frecuencia de mantenimiento	42
6.	REFERENCIAS	44

INDICE DE FIGURAS	Pág.
Figura 1 Esquema del funcionamiento de una membrana	6
Figura 2 Esquema del principio de ultrafiltración.....	7
Figura 3 Funcionamiento de la instalación en funcionamiento, unidades de limpieza.....	11
Figura 4 Diagrama de bloques de limpieza de membranas.....	36

INDICE DE TABLAS	Pág.
Tabla 1 Cuadro de control y funcionamiento del F.L.D. (pretratamiento)	12
Tabla 2 Cuadro de control y funcionamiento F.A. (pretratamiento).....	12
Tabla 3 Cuadro de control y funcionamiento (tratamiento).....	13
Tabla 4 Leyenda de elementos de la instalación.	12
Tabla 5. Parámetros de control.....	14
Tabla 6 Operación y mantenimiento en captaciones.....	15
Tabla 7 Cuadro general de mantenimiento en captaciones de manantial de fondo	18
Tabla 6 Actividades de operación del desarenador	19
Tabla 9 Actividades de mantenimiento del desarenador.....	20
Tabla 10 Frecuencia de mantenimiento.	21
Tabla 11 Actividades de rearenado del F.L.D.....	26
Tabla 12 Actividades de mantenimiento del F.L.D.	27
Tabla 13 Problemas frecuentes y soluciones.....	29
Tabla 14 Funcionamiento y limpieza de Filtro de Arena FA.....	31
Tabla 15 Actividades para el mantenimiento de tanques de almacenamiento	34
Tabla 16 Frecuencia de mantenimiento de red de distribución.....	43

1. INTRODUCCIÓN

Este documento está dirigido a técnicos encargados de la operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua. Presenta las pautas para mantener correctamente los sistemas de captación y servicio de agua potable, lo cual permite asegurar a los habitantes el consumo de agua de buena calidad, proporcionar agua en forma constante, prolongar la vida de los componentes del sistema y disminuir los gastos en sus reparaciones.

El buen funcionamiento de los sistemas de tratamiento depende del constante mantenimiento y una adecuada operación del sistema, puesto que esto contribuirá en primer lugar a obtener un normal tratamiento sin interrupciones, con agua de calidad y cantidad para cubrir parte de las necesidades de riego del sistema, como también se evitará el deterioro de las diferentes unidades del sistema.

Se incluye información de la operación y mantenimiento, por un lado, de las captaciones de manantiales de ladera y de fondo y, por otro, de reservorios de almacenamiento. En el caso de la operación, se desarrollarán las acciones adecuadas y oportunas que se efectuarán para que la captación de ladera y/o fondo, funcione en forma continua y eficiente según las especificaciones de diseño. Así mismo, con la finalidad de prevenir o corregir daños en la captación, se desarrollarán dos tipos de mantenimiento, preventivo y correctivo. En el primer caso, para evitar los problemas de funcionamiento y, en el segundo, para reparar los daños causados por acciones extrañas o imprevistas o deterioros normales del uso.

Se incluyen los diagramas de flujo de la instalación de la potabilizadora diseñada así como las indicaciones a seguir para llevar a cabo el manejo de la instalación, la producción de agua potable, su mantenimiento y limpieza así como su puesta en marcha y paro, a corto y largo plazo. Además de los conceptos básicos de cada elemento con su definición y nomenclatura utilizada.

Finalmente, se incorpora información sobre la limpieza y desinfección de las captaciones, estructuras de tratamiento y las redes de distribución, su frecuencia (mensual, trimestral y anual), los trabajos a realizar y las herramientas y materiales necesarios para la operación y el mantenimiento de todos los sistemas.

2. OBJETIVOS

Dentro de los objetivos de este manual de operación y mantenimiento se consideran los siguientes puntos:

- Conocer las partes de un sistema de agua.
- Manejar las operaciones de mantenimiento preventivo y las actividades de mantenimiento correctivo.
- Conocer y utilizar las herramientas básicas para la labor y mantenimiento de su proyecto.
- Operar un plan de trabajo sobre el mantenimiento del sistema de agua.

3. RESPONSABLE DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los técnicos responsables de la operación y mantenimiento del sistema. El operador u operadora designado(a) por la asamblea o entidad responsable, debe ser una persona calificada o responsable de la adecuada operación y mantenimiento de las instalaciones del sistema de agua potable.

El operador u operadora debe cumplir y hacer cumplir todas las funciones y responsabilidades establecidas en los estatutos y reglamentos que se refieren al operador y al usuario. A continuación, algunas de las responsabilidades:

- Operar y mantener adecuadamente el servicio.
- Inspeccionar periódicamente cada componente del sistema.
- Llevar el registro y control de la operación y mantenimiento, haciendo un reporte mensual a la JASS o entidad responsable.
- Cobrar la tarifa calculada para asegurar la sostenibilidad del proyecto
- Informar a la comunidad o entidad responsable sobre las necesidades de adquisición de materiales, herramientas, repuestos e insumos para el buen funcionamiento del sistema.

El operador u operadora deberá vivir en la comunidad a la que representa, ser usuario, saber leer y escribir, ser mayor de 18 años y, haber participado en los talleres de capacitación del manejo de planta, así como del proceso de construcción y en las actividades de interés comunal. Es importante que durante la ejecución de obra se capaciten, además de los técnicos o entidad responsable a los usuarios de la comunidad, para que posteriormente asuman el cargo de operadores u operadoras.

4. DEFINICIONES

OPERACIÓN

La operación es el conjunto de acciones adecuadas y oportunas que se efectúan para que todas las partes del sistema funcionen en forma continua y eficiente según las especificaciones de diseño.

MANTENIMIENTO

El mantenimiento se realiza con la finalidad de prevenir o corregir daños que se produzcan en las instalaciones.

- ✓ *Mantenimiento preventivo.*- se efectúa con la finalidad de evitar problemas en el funcionamiento de los sistemas.
- ✓ *Mantenimiento correctivo.*- Es el que se efectúa para reparar daños causados por acciones extrañas o imprevistas, o deterioros normales del uso.

De la buena operación y mantenimiento de un sistema de agua potable depende que el agua que consumamos sea de buena calidad, y que tengamos un servicio continuo y en la cantidad necesaria. Además permitirá garantizar la vida útil del sistema y disminuir los gastos de reparaciones.

ULTRAFILTRACIÓN

La ultrafiltración (UF) es un proceso que utiliza membranas porosas para separar ciertos componentes del agua empleando la presión como fuerza impulsora. El mecanismo de separación de las membranas de UF es similar al de un tamiz, pero en este caso de tamaño molecular (Figura 1). Así, las moléculas o especies cuyo tamaño sea mayor que el de los poros de la membrana (⊗) no serán capaces de atravesarla, mientras que las moléculas de tamaño inferior (●) sí la atravesarán.

En el caso de la potabilización de agua mediante ultrafiltración, el alimento será el agua procedente de manantial que se quiere potabilizar, el permeado será el agua potable sin microorganismos, y el rechazo o concentrado será un agua que contendrá todos los microorganismos que haya separado la membrana, y por lo tanto, será un agua más contaminada que la de alimento.

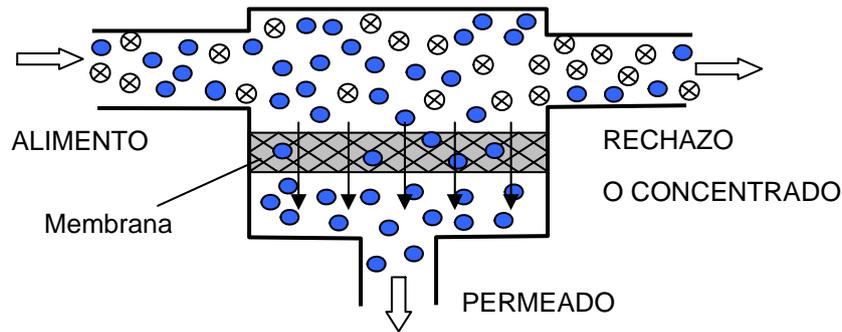


Figura 1 Esquema del funcionamiento de una membrana
Fuente: Arnal. Manual de funcionamiento de Mozambique 2007

En un proceso de membrana intervienen tres corrientes:

- ✓ ALIMENTO, agua a tratar.
- ✓ PERMEADO, agua pura sin virus ni bacterias.
- ✓ RECHAZO o CONCENTRADO, agua sucia con virus y bacterias.

Partes principales de una planta de ultrafiltración

- Captación del agua. Es uno de los aspectos fundamentales para el correcto funcionamiento de una planta de UF, ya que la calidad del agua debe ser la mejor posible y el caudal de agua debe ser suficiente para que la planta pueda producir el agua tratada necesaria sin riesgo de sobreexplotación del acuífero.
- Pretratamiento. Antes de entrar en los módulos de ultrafiltración, el agua a tratar se debe filtrar para evitar que se estropee la membrana.
- Bomba de presión. La bomba de presión de la planta es la que impulsa el agua alimento a la presión necesaria para que se produzca la separación en la membrana. En el caso de la ultrafiltración son suficientes presiones entre 0,5 y 5 bar para llevar a cabo el proceso. La bomba necesita energía para su funcionamiento, las formas posibles de suministrar dicha energía son motor eléctrico, motor de gasolina o gasoil, placas solares, caída de agua por gravedad.
- Módulos de ultrafiltración. Después de la bomba, el agua alimento entra en los módulos de ultrafiltración donde se produce la separación de los microorganismos, y se obtienen dos corrientes: el permeado y el concentrado.
- Postratamiento del permeado. Después de atravesar la membrana al permeado debe acondicionarse mediante un postratamiento en función del uso al que esté destinada el agua tratada. En el caso de agua ultrafiltrada para consumo humano puede ser

conveniente la adición de cloro para evitar el crecimiento microbiológico, es decir, que el agua vuelva a contaminarse.

- Unidad de limpieza. Con el uso, las membranas se van ensucianando por la deposición de materia sobre su superficie y van perdiendo eficiencia. Por eso, las membranas deben limpiarse periódicamente para eliminar el ensuciamiento y recuperar su rendimiento. La limpieza consiste en hacer circular por la membrana agua con productos químicos adecuados para eliminar el ensuciamiento. Cuando la limpieza ya no recupera el rendimiento de la membrana en un grado apreciable se debe sustituir por una nueva. En condiciones normales, si las condiciones de operación de la membrana son adecuadas, una membrana tiene una vida útil entre 3 y 5 años. En la Figura 2 se observa un esquema del principio de ultrafiltración.

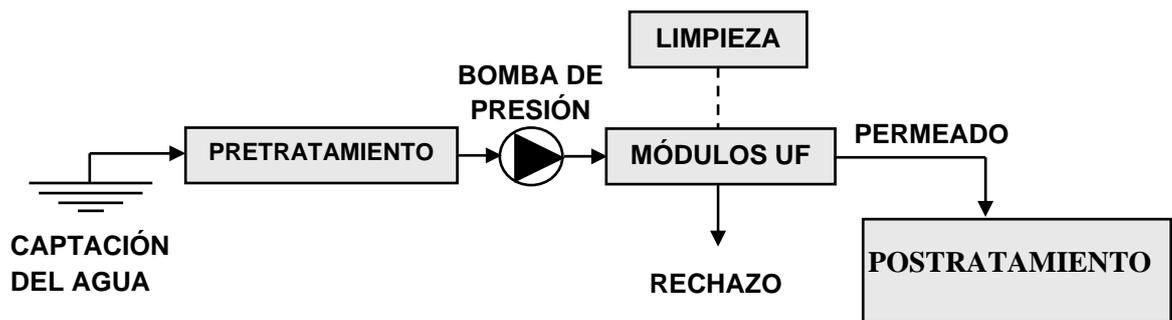


Figura 2 Esquema del principio de ultrafiltración

Fuente: Arnal. Manual de funcionamiento de potabilizadora de Mozambique (2007)

5. COMPONENTES DEL SISTEMA Y SU POTABILIZACIÓN

Los componentes del sistema de abastecimiento de agua de la parroquia Cangonamá son los que se presentan a continuación con su correspondiente descripción de forma de instalación y funcionamiento.

5.1 Abastecimiento y calidad de agua

El agua que abastecerá a la nueva instalación de potabilización procede del sistema existente, la red de distribución cubre la población y a la fecha de este trabajo no posee desinfección por efectos del mal funcionamiento del equipo y la falta de mantenimiento.

El agua se capta de tres vertientes o manantiales y trasegada a un tanque de laminación y desarenador donde se suman todos los 3 caudales, pasando a un proceso de filtración en arena en el denominado Filtro Lento descendente (FLD) y de aquí hacia la red de distribución, no está en funcionamiento el equipo de desinfección, por lo tanto el agua de consumo no es apta para el consumo.

Como se menciona anteriormente, la principal deficiencia de este sistema es la falta de tratamiento, básicamente la desinfección. Las analíticas realizadas nos indican que el mayor problema que tiene es la presencia de Coliformes totales y fecales en red. Los parámetros físico - químicos son aceptables y de fácil tratamiento.

Debido a esta condición, el abastecimiento de agua a la nueva potabilizadora basada en la tecnología de membranas, se realizará utilizando el agua proveniente de la conducción del sistema existente y proveniente del filtro y tanque de reserva No 1, con una presión manométrica al sitio de implantación de 30 m.c.a. Lo cual garantiza su funcionamiento sin la necesidad de la implementación de sistema de bombeo. La cantidad de agua de suministro está garantizada pues la oferta del recurso hídrico es superior a la demanda calculada de la población.

5.2 Diagrama de flujo de la instalación

En la figura 3 se representa en forma esquemática mediante un diagrama de flujo la planta potabilizadora por ultrafiltración que se instalará en la zona del sector denominado La Cruz.

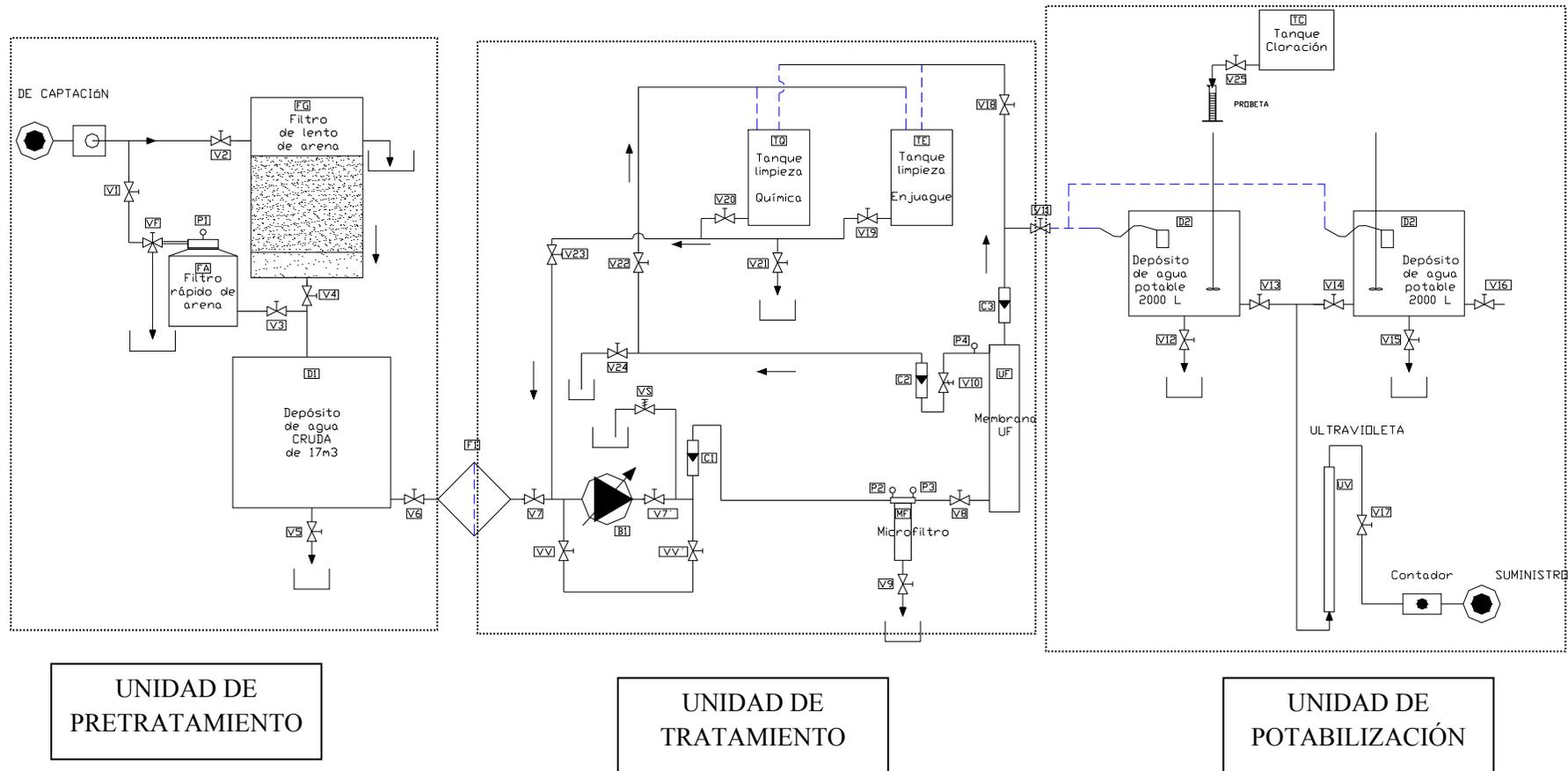


Figura 3 Funcionamiento de la instalación en funcionamiento, unidades de limpieza
Fuente: Arnal (2011), **Adaptación:** Elaboración propia

En la tabla 1, se muestra el cuadro de control de la instalación de potabilización en la etapa de pretratamiento para la unidad de Filtro Lento descendente (FLD) durante la producción y limpieza. En la tabla 2 se muestra el control de válvulas durante las etapas de Marcha, Limpieza y enjuague. Y en la tabla 3 se muestra el cuadro de control y funcionamiento en la etapa de tratamiento. La leyenda de los símbolos empleados para nombrar los elementos aparecen detallados en la tabla 4. Con el fin de interpretar el funcionamiento de un elemento o válvula se le ha asignado un **1** al elemento en funcionamiento o a la válvula abierta, un **0** al elemento parado o a la válvula cerrada. y **R** a la regulación

Unidad de pre-tratamiento

Tabla 1 Cuadro de control y funcionamiento del F.L.D. (pretratamiento)

FILTRO LENTO DESCENDENTE (F.L.D.)							
ETAPA	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
MARCHA	0	1	0	1	0	1	1
LIMPIEZA	1	0	1	1	Cambio/lavado de arena		

Tabla 2 Cuadro de control y funcionamiento F.A. (pretratamiento)

FILTRO RÁPIDO DE ARENA (F.A.)						
ETAPA	V1	V2	V3	V4	VÁLVULA ESPECIAL	VF
MARCHA	1	0	1	0	Posición producción	1
LIMPIEZA	1	0	0	0	Posición Lavado	L
ENGUAGUE	1	0	0	0	Posición enjuague	E

Unidad de tratamiento

Tabla 3 Cuadro de control y funcionamiento (tratamiento)

TRATAMIENTO																		
ETAPA	V7	VV	VV'	V7'	V8	V9	V10	V11	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	B1	Inicialmente se limpia 1 vez por semana	
PRODUCCIÓN	1	1	1	0	1	0	R	1	0*	0	0	0	0	0	1	0		
LIMPIEZA	0	0	0	1	1	1/0	R	0	1	0	1	0	0	1	0	1		
ENJUAGUE	0	0	0	1	1	1/0	R	0	1	1	0	0	1	1	0	1		
PRODUCCIÓN	1	1	1	0	1	0	R	1	0*	0	0	0	0	0	1	0		

1→ Paso de fluido

0→ No paso de fluido

R→ Regulación

V18* → Se abre hasta llenar los depósitos TE y TQ y después permanece cerrada.

1/0→ Para limpieza del microfiltro.

Tabla 4 Leyenda de elementos de la instalación.

Marca	Identificación
V1	Válvula de paso (todo-nada)
VF	Válvula especial de limpieza de filtro
V2	Válvula de paso
V3	Válvula de paso
V4	Válvula de paso
V3	Válvula selectora
FA	Filtro de arena
P1	Manómetro entrada al filtro de arena
V4	Válvula de paso
D1	Depósito de agua cruda
V5	Válvula de limpieza de depósito
V6	Válvula de entrada (regulación de caudal de alimentación)
F1	Filtro de seguridad (tamaño de poro = 5 mm)
V7	Válvula de paso
V7'	Válvula de paso
V8	Válvula de paso a UF
V9	Válvula de paso limpieza de microfiltro
C1	Caudalímetro 1
P2	Manómetro de entrada al microfiltro
P3	Manómetro de salida del microfiltro/ entrada al módulo
MF	Microfiltro de 25 micras
V10	Válvula de especial de regulación
C2	Caudalímetro de agua desecho
UF	Módulo de membranas de ultrafiltración
V11	Válvula de paso a Depósito de cloración
V12	Válvula de paso
V13	Válvula de paso
V14	Válvula de conexión tanques de cloración
V 15	Válvula de paso

UV	Módulo de UV
V16	Válvula de paso
V17	Válvula de paso al contador
Contador	Contador de agua purificada, paso al suministro
P4	Manómetro de salida de UF
D2, D2'	Depósitos de agua potable 2000 L
TC	Tanque de Cloración
TQ	Tanque de agua con disolución de limpieza
TE	Depósito de agua para enjuague
V18	Válvula de llenado de tanques de limpieza y enjuague
V19	Válvula de vaciado de depósito de agua de enjuague
V20	Válvula de vaciado de depósito de disolución de limpieza
V21	Válvula vaciado de rechazo
V22	Válvula de paso para limpieza
V24	Válvula de vaciado de rechazo
V25	Válvula de control cloración

5.2.1 Parámetros de control

La instalación tiene los siguientes aparatos de medida y control:

- ✓ Manómetro de presión P1: medida de presión en el filtro de arena (bar)
- ✓ Caudalímetro C1: medida de caudal a la entrada de la instalación (L/h)
- ✓ Manómetro de presión P1: medida de presión a la entrada del microfiltro (bar)
- ✓ Manómetro de presión P2: medida de presión a la salida del microfiltro y a la entrada de la instalación (bar)
- ✓ Caudalímetro C3 medida de caudal de salida de agua pura producida (permeado) (L/h)
- ✓ Caudalímetro C2: medida de caudal de rechazo vertido (L/h)
- ✓ Contador: medida de agua de salida a suministro (m³)

Con estos instrumentos se pueden medir y controlar los siguientes parámetros:

Tabla 5. Parámetros de control
Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Aparato de medida	Indicación (*)
Pérdida de carga filtro de arena	P1	Limpeza filtro cuando la presión sea 0.5 kg/cm ² superior a la presión inicial
Perdida de carga en el microfiltro	P2-P3	Limpeza filtro cuando la diferencia entre ambos manómetros sea superior 0.5 kg/cm ²
Pérdida de carga en el módulo de membranas	P4	Limpeza membranas cuando el caudal se reduzca en un 15% respecto del caudal inicial
Caudal de alimentación de las membranas	C1	Oscilará entre 1200-1800 L/h
Caudal de agua pura producida	C3	Oscilará entre 800-1200 L/h

El ajuste de los equipos se realizará durante la etapa de puesta en marcha de la instalación

5.2.2 Etapa de producción

A continuación se describe el funcionamiento de la instalación

Como se ha indicado, el agua procede de la unidad de filtración ubicada a 30 metros de desnivel respecto a la ubicación de la potabilizadora que se encuentra aguas abajo.

Las condiciones de funcionamiento son:

- Caudal de entrada (QE):1200-1800 L/h
- Presión de entrada membranas (P2):4 bar (máximo)
- Presión de salida membranas (P3): 4 bar (máximo)
- Caudal de permeado (QP): 1050- 4300 L/h
- Caudal de rechazo vertido (QR2): 170 L-255 L/m2/h

Como consecuencia del funcionamiento del sistema de potabilización, se generara dos corrientes características claramente diferenciadas: el rechazo (agua más sucia que el agua de entrada (alimento) y que no atraviesa la membrana) y el permeado (agua pura desinfectada y que atraviesa la membrana). La gestión de ambas corrientes se realiza por separado, como se observa en el diagrama de flujo de la Figura 3.

5.3 Estructuras de Captación

De forma general durante el invierno, se recomienda visitar la fuente de agua una vez al mes, esto se hará para detectar desperfectos y el estado de limpieza de la misma y para corregir algún problema encontrado, Se limpiará la fuente de maleza y vegetación, tierra, piedra o cualquier otro material que dé lugar a obstrucción o represente un peligro de contaminación del agua.

Además el tanque de captación deberá revisarse a cada dos meses teniendo cuidado que no existan rajaduras, filtraciones y que las tapaderas de visita estén en su respectivo lugar y en buen estado. Si existiera empozamiento de agua, deberá hacer canales de desagüe para drenar el agua y evitar contaminación. Al notar derrumbes o deslaves que afecten el tanque de captación o de almacenamiento el técnico deberá de actuar de forma inmediata. Para evitar problemas se deben realizar las siguientes actividades.

Tabla 6 Operación y mantenimiento en captaciones.

Fuente: Elaboración propia

Actividades a ejecutar	Frecuencia		Personal	Herramientas
	Invierno	Verano		
Limpieza interior de cajón recolector.	1 vez/2sem	1 vez/mes	1 jornalero	Palas-rastrillos-baldes
Desinfección interior de tanque recolector.	1 vez / 3 meses	1 vez / 3 meses	1 jornalero	Baldes-escobas-cloro liquido
Apertura-cierre y engrasado de válvulas	1 vez/mes	1 vez/3 meses	1 jornalero	Juego de llaves-grasa
Limpieza de la rejilla de fondo.	1 vez/2sem	1 vez/mes	1 jornalero	Palas-rastrillos-baldes
Acondicionamiento general del aspecto externo, pintado de las estructuras, partes metálicas con pintura anticorrosiva.	1 vez/mes	1 vez/ anual	2 jornalero	Juego de llaves-grasa, baldes-escobas-cloro líquido, pintura.
Inspección de las captaciones.	1 vez/2sem	1 vez/2 meses	1 jornalero	Operación visual

5.3.1 Captaciones de manantial

La captación en manantial de fondo es una estructura que permite recolectar el agua del manantial que sale del subsuelo en forma vertical, cuando el manantial es de fondo y concentrado, la captación consta de dos (2) partes: la primera, corresponde a una cámara húmeda que sirve para almacenar el agua y regular el gasto a utilizarse; y la segunda, a una cámara seca que sirve para proteger la válvula de salida y de desagüe.

5.3.1.1 Operación y puesta en marcha

Para poner en marcha, abrir la válvula de salida y mantener cerrado la válvula de desagüe.

5.3.1.2 Limpieza y desinfección

Limpieza

Limpieza externa.- Se inicia con la limpieza de piedras y malezas de la zona aledaña a la captación. Limpiar el canal de escurrimiento y la salida de la tubería de desagüe.

Limpieza interna.-para realizar la limpieza interna se procede de la siguiente manera:

- Abrir la tapa metálica de la cámara húmeda y de la cámara seca.
- Abrir la válvula de desagüe y evacuar el agua de la cámara húmeda.
- Cerrar la válvula de salida.
- Limpiar con escobilla las paredes y accesorios.
- Enjuagar con agua las paredes, eliminando toda la suciedad.

Desinfección

Con la limpieza interna solamente se elimina la suciedad por lo que se tiene que desinfectar para matar todos los microbios, para desinfectar se necesita los siguientes materiales:

- Hipoclorito de calcio al 30-35 %.
- Un balde.
- Una cuchara sopera.
- Un trapo.
- Una Escobilla.
- Guantes de jebe para operador.

Procedimiento para la desinfección

Primera parte

- Inicialmente se deberá echar seis (6) cucharas grandes con hipoclorito de calcio al 30-35% en un balde con 10 litros de agua y disolver bien.
- Con la solución y un trapo frotar accesorios y paredes internas.

Segunda parte

- Cerrar la válvula de desagüe.
- Esperar que recupere su nivel.
- Echar 13 cucharas de hipoclorito de calcio al 30-35% en un balde con 10 litros de agua, disolver bien y vaciar toda la solución clorada.
- Frotar las paredes internas de la cámara húmeda con el hipoclorito de calcio disuelto.
- Dejar correr el agua por el cono de rebose durante dos (2) horas, que es el tiempo de retención del agua en la captación.
- Abrir la válvula de desagüe para eliminar los residuos de cloro.
- Poner en marcha nuevamente la captación, abrir la válvula de salida y cerrar la tapa de la cámara húmeda y de la cámara seca.

5.3.1.3 Mantenimiento

En la tabla 5 se indica el mantenimiento de los diferentes componentes, así como también la frecuencia con la que se debe realizar el mantenimiento y limpieza de las estructuras.

Tabla 7 Cuadro general de mantenimiento en captaciones de manantial de fondo
Fuente: Guía de Procedimientos para la operación y mantenimiento de captaciones y reservorios de almacenamiento, 2005.

FRECUENCIA	ACTIVIDADES	HERRAMIENTAS
Mensual	- Girar las válvulas para que no se endurezcan. - Dar un cuarto (1/4) de vuelta hacia la izquierda y derecha.	
Trimestral	- Limpiar las piedras y malezas de la zona cercana a la captación. - Limpiar el canal de escurrimiento. - Limpiar el dado de protección de la tubería de limpia y desagüe y, el emboquillado del canal de limpia. - Aforar el rendimiento del manantial en la salida de la tubería de limpia	-Pico, lampa, machete. - Balde graduado en litros, reloj y libreta de campo.
Semestral	- Limpiar y desinfectar las instalaciones. - Lubricar y aceitar las válvulas de control. - Verificar la protección del afloramiento y la cámara húmeda. Si hay fugas o grietas, resanar la parte dañada utilizando igual cantidad de cemento y arena. - Proteger con pintura anticorrosiva la válvula de control.	- Escobilla, escoba, brocha, lija. -Hipoclorito, pintura, cemento, arena.
Anual	- Pintar elementos metálicos (tapas válvula de control, etc.). - Pintar paredes exteriores y techo de la captación.	-Brocha, lija, pintura

5.3.2 Recomendaciones Generales

- La captación debe tener una adecuada protección para evitar la contaminación del agua.
- Se deberá sellar la zona del afloramiento e instalar una tapa sanitaria provista de un seguro para evitar que manos extrañas la retiren.
- La salida de la tubería de limpieza y desagüe debe protegerse con una malla metálica para evitar la entrada de animales pequeños.
- Instalar un cerco perimétrico para evitar que personas y animales puedan dañar la estructura.
- Después de cada limpieza o reparación será necesario desinfectar la cámara húmeda.
- Si hay fugas o grietas, resanar la parte dañada.

5.4 Desarenador

Un adecuado mantenimiento de las unidades de sedimentación se hace necesario para asegurar que estas unidades trabajen en forma efectiva y eficiente; si se descuidara este aspecto los desarenadores podrían no remover las materias suspendidas en el agua, ocasionando una obstrucción en el sistema de filtro o de distribución. Los sedimentos interfieren con el proceso de sedimentación incrementando la velocidad del agua en el tanque. Además, la acumulación de estos sedimentos puede causar descomposición y causar sabores y olores en el agua.

5.4.1 Operación General

La operación del desarenador es muy sencilla, básicamente es llevar una vigilancia de la eficiencia de éste para proceder a la evacuación de los sedimentos acumulados en el fondo de la unidad. Esta vigilancia está relacionada con el control del caudal que ingresa a la unidad y el control de la calidad de agua efluente.

Tabla 8 Actividades de operación del desarenador

Fuente: Guía de procedimientos para la operación y mantenimiento de desarenadores y sedimentadores” 2005.

ACTIVIDAD	ACCIONES CLAVES
Medición y control de caudal	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar el nivel de agua en el dispositivo de aforo de cada unidad. - Ajustar la válvula de entrada hasta alcanzar el caudal de operación.
Evacuación de lodos o sedimentos	Disponer la evacuación de sedimentos del fondo de la unidad, cuando la diferencia entre la turbiedad del agua efluente y el afluente sea bajo.
Registro de información	<ul style="list-style-type: none"> - Anotar en el libro de registro diario las variaciones de turbiedad en el ingreso y salida de la unidad. - Cambios en el caudal de la fuente durante el día. - Fecha de lavado de la unidad.

5.4.2 Mantenimiento

El mantenimiento de los desarenadores incluye actividades periódicas que consisten principalmente en el drenaje y evacuación de sedimentos acumulados en el fondo de la unidad.

La evacuación de los sedimentos que se depositan en el fondo de la unidad será cada 6 u 8 semanas dependiendo de la calidad del agua cruda y del volumen del tanque. Si el agua es muy turbia la remoción de sedimentos se debe realizar con mayor frecuencia.

Tabla 9 Actividades de mantenimiento del desarenador

Fuente: Guía de procedimientos para la operación y mantenimiento de desarenadores y sedimentadores” 2005.

ACTIVIDAD	ACCIONES CLAVES
Lavado de la unidad	Cerrar la válvula de entrada al tanque
Cortar el flujo de agua hacia el tanque	
Limpieza cámara de entrada	Desprender el material adherido en el fondo y en las paredes de la cámara, utilizando escobilla con cerdas de material sintético.
Limpieza de cámara de sedimentación	<ul style="list-style-type: none"> - Abrir la válvula de drenaje para la evacuación de lodos y dejar evacuar toda el agua y sedimentos. - Con palas, cubetas, baldes, tablas y carretilla, remover los sedimentos del tanque, empujándolos hacia el drenaje y llevándolos fuera del lugar. Raspar el fondo del tanque y dejarlo completamente limpio. - Si hubieran una bomba y manguera, rociar los sedimentos del fondo. - Enjuagar completamente el tanque antes de restaurar su funcionamiento.
Limpieza cámara de salida	Desprender el material adherido al fondo y paredes de la cámara.
Poner en funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Cerrar los drenajes y abrir las válvulas para llenar el tanque. - Una vez limpio el tanque debe volver a sus funciones en cuanto sea llenado. Esto debe ser entre 4 a 6 horas, dependiendo del volumen del tanque.

Es importante no realizar los cortes de suministro en horas de máxima demanda. Generalmente, se realizan de medio día a media tarde. Se deberá advertir a los usuarios sobre los cortes de agua, así estos pueden regular su consumo durante el periodo de corte.

5.4.2.1 Tanque desarenador

Esta unidad tiene solamente un módulo desarenador, entonces se tiene previsto que durante el periodo de limpieza se cortará el suministro del líquido vital hacia el filtro lento descendente y paso a la potabilizadora, con el fin de darle el mantenimiento necesario para el buen funcionamiento de dicha estructura, se debe tener en cuenta los siguientes lineamientos:

- Sedimentos que se presentan tanto a la entrada como a la salida del módulo.

- Después de depositar el material en el sitio de disposición, se procede a colocar sobre el material retirado del desarenador y agregar una capa de tierra de aproximadamente 10 cm.
- Rociar de 3 a 4 puñados de cal en toda la superficie, para evitar la proliferación de moscos y la producción de malos olores.

Tabla 10 Frecuencia de mantenimiento.

Fuente: Adaptado de Guía procedimientos para la operación y mantenimiento de desarenadores y sedimentadores” 2005.

ACTIVIDADES A EJECUTARSE	FRECUENCIA		PERSONAL	HERRAMIENTAS
	INVIERNO	VERANO		
Limpieza interior del tanque (arenas).	1 vez/2sem	1 vez/mes	1 jornalero	Palas- cepillo metálico -baldes
Desinfección interior de tanque sedimentador.	1 vez / 3 meses	1 vez / 3 meses	1 jornalero	Baldes-escobas- cloro liquido
Apertura-cierre y engrasado de válvulas.	1 vez/2sem	1 vez/mes	1 jornalero	Juego de llaves-grasa
Limpieza y desbroce de la vegetación.	1 vez/ 2meses	1 vez/ 6meses	1 jornalero	Palas.
Verificación de presencia de fisuras y fugas.	1 vez/2sem	1 vez/2 meses	1 jornalero	Operación visual
Inspección del desarenador.	1 vez/2sem	1 vez/2 meses	1 jornalero	Operación visual

Otros mantenimientos que deben realizarse con periodicidad son:

- Engrasado de los dispositivos de apertura de compuertas (mensualmente).
- Pintado de elementos metálicos con pintura anticorrosiva (semestralmente).
- Inspección minuciosa de la unidad, resane de deterioros en la estructura, reparación cambio de válvulas y compuertas (anualmente).

5.4.2.2 Registros de operación y mantenimiento

Los aspectos operacionales y de mantenimiento deben ser considerados desde la fase de planeación del proyecto. Usualmente en la localidad se conforma un ente para administrar el sistema de abastecimiento de agua; sin embargo, es el operador quien juega un papel importante en la operación y mantenimiento del sistema.

Se considera, entre otras funciones principales del operador de una planta de tratamiento, el control del flujo, el monitoreo de la calidad del agua, la limpieza de las unidades de pretratamiento y la ejecución de actividades generales de mantenimiento.

Una herramienta importante para el operador y que contribuye a alcanzar un mejor control sobre el funcionamiento del sistema, es la ficha de control, la cual debe ser llevada diariamente según el programa de seguimiento acordado con el ente de soporte en control y vigilancia de la calidad del agua. Los registros obtenidos para los parámetros de interés deben ser comparados con los valores deseables, a fin de establecer la eficiencia en el funcionamiento de la planta de tratamiento y tomar las acciones en caso de ser necesarias.

5.5 Estructuras de pretratamiento potabilizador

El pretratamiento de la potabilizadora diseñada está compuesto por dos unidades de filtración, por el Filtro Lento Descendente (FLD) existente del sistema en funcionamiento, al cual se la agrega otra unidad de filtración con un Filtro Rápido de Arena FA. Que son elementos diseñados con el objetivo de mejorar la calidad de agua de alimento al tratamiento propiamente dicho, compuesto por el microfiltro y ultrafiltración que se detalla más adelante. A continuación se definen las características de este pretratamiento en lo referente a funcionamiento y operaciones de mantenimiento.

5.5.1 Filtro Lento descendente (FLD)

Características

Hay dos parámetros básicos a considerar en la operación y mantenimiento de una batería de filtros lentos: la velocidad de filtración v_f (m/h) o carga hidráulica superficial q (m³/d. m²) y la pérdida de carga H (m) producida por la colmatación del lecho de arena durante una carrera del filtro. Esa pérdida de carga creciente durante la carrera, es igual a la diferencia de los niveles superficiales o cargas líquidas respectivamente del sobrenadante y de la cámara colectora de agua filtrada, según sea el tipo de filtro adoptado.

La operación normal es controlar la calidad del agua filtrada y el nivel líquido máximo, ya sea para que no se pase de la pérdida máxima admitida por el filtro (en la cámara colectora) o el caudal a filtrar (en el sobrenadante).

Operación de FLD

Consiste en tareas previas para poner en funcionamiento la planta de tratamiento una vez concluida su construcción, especialmente la verificación de que los elementos de la planta estén de acuerdo con el diseño.

La operación más importante en esta etapa es la del llenado del manto de arena. El mismo se realiza lentamente saturando el lecho con flujo descendente, aproximadamente entre 0,10 y 0,20 m por hora, hasta un nivel del sobrenadante que evite la erosión de la superficie filtrante por la acción cinética del chorro de ingreso. Se aconseja arena lavada para el manto de arena a fin de acortar el período de la puesta en marcha, ya que la natural sin lavar contiene material fino y en consecuencia lo prolonga. En ambos casos debe eliminarse el primer efluente hasta que la turbiedad del agua filtrada sea la aceptable.

Otro aspecto a considerar en esta etapa es la maduración del filtro o sea la formación de la capa biológica, o “schmutzdecke”, que puede ser de varias semanas y es dependiente de la temperatura (a mayor temperatura menor período de maduración y viceversa).

Mantenimiento normal.- Es el conjunto de tareas que se efectúan en forma permanente y rutinaria. Entre las mismas se mencionan las más importantes.

a) Limpieza del lecho filtrante de arena

Se puede efectuar por el método del raspado, el más utilizado hasta el presente en filtros de nivel constante en el sobrenadante y el método de rastrillado de la superficie colmatada en donde se formó la capa biológica, aplicado generalmente en filtros lentos modificados.

Esta operación debe iniciarse una vez que se tiene la máxima pérdida de carga admitida por el sistema o eventualmente cuando se tiene una turbiedad en el efluente superior al límite establecido (si se puede determinar “in situ” este parámetro).

En el método del raspado se tiene normalmente las siguientes tareas secuenciales cuando se llega a esa pérdida máxima.

- Extraer el material flotante del sobrenadante.
- Cerrar el ingreso de agua cruda y dejar filtrar con velocidad declinante, hasta que el nivel líquido descienda unos centímetros debajo de la superficie del lecho de arena.
- Raspar entre 1 y 3 cm la capa superficial del lecho y retirar fuera del filtro la arena removida. Se aconseja desarrollar esta tarea en las primeras horas o en las últimas del

día, estimándose que un operario tarda, en promedio, una hora para limpiar entre 15 y 20 m² de filtro.

- El retiro del material extraído con palas anchas se realiza manualmente por medio de baldes y dentro de la unidad (el personal debe ponerse botas especiales).

Para grandes superficies filtrantes puede ser más factible, técnica y económicamente, efectuar esa operación por medio de equipos especiales. El método del rastrillado consiste en romper y remover la capa biológica superficial colmatada. Esa operación se la puede realizar con un rastrillo especial provisto de un mango compatible con las dimensiones de la caja filtrante o con equipos especiales de accionamiento mecánico.

Ese sistema de limpieza se hace manualmente en unidades pequeñas y medianas. La operación de rastrillado resulta más económica por la ventaja demostrada en la reducción de los períodos de maduración del filtro y los de la limpieza, estimada en un 25% de la gastada en la operación de raspado. La frecuencia de la operación de limpieza depende de la turbiedad del líquido a tratar, pudiendo además ser anticipada antes de tener la máxima pérdida de carga admitida por el filtro.

El material removido es arrastrado por el flujo ascendente proveniente de la unidad contigua hacia la camada de lavado de arenas. Se recomienda las siguientes etapas secuenciales:

- Se cierra el ingreso de agua cruda en la unidad a limpiar.
- Se deja filtrar con velocidad decreciente el líquido del sobrenadante, que tiene nivel máximo al final de la carrera, aconsejándose sea efectuado durante la noche.

Otra alternativa es drenarlo por la cámara de ingreso, anteriormente considerada, pero se pierde ese volumen de agua cruda.

- Se abre la válvula que permite la descarga de la colectora del agua filtrada, hasta que el nivel del sobrenadante sea el mismo que el de la cresta del muro que separa el filtro y la cámara de ingreso, que pasa a ser receptora del agua sucia superficial del lavado por rastrillado.
- Se aplica el rastrillado con la herramienta especial, en la operación denominada “húmeda”.
- Se lo conecta con el filtro contiguo que está funcionando, mediante la apertura de una válvula o compuerta de intercomunicación. El caudal filtrado de esa unidad fluye en forma ascensional por el manto de grava y arena. En consecuencia se produce el arrastre de las partículas removidas en la etapa húmeda hacia la superficie y posteriormente

hacia la cámara colectora de la descarga arriba mencionada, cuya válvula de bloqueo se abre.

- La etapa “seca” comienza cerrando esa válvula o compuerta de “intercomunicación” y la de bloqueo de la descarga. Al mismo tiempo se abre la válvula de agua filtrada para permitir que el nivel líquido dentro de la unidad descienda 0,40 m debajo de la superficie de arena.
- Se procede al rastrillado y nivelación de la capa seca de la superficie del lecho de arena.
- Se vuelve a abrir esa válvula o compuerta de intercomunicación y la correspondiente a la cámara de descarga, con el fin de tener de nuevo ese flujo ascendente y la descarga del agua sucia hacia el exterior, hasta tener agua limpia.
- Una variante es la de permitir el escurrimiento del caudal de agua cruda sobre la superficie de arena, ubicando la cámara colectora anexa al muro opuesto al de ingreso. La finalidad es que ese caudal produzca el arrastre del material removido durante la etapa “húmeda”, hacia esa cámara. Luego se continúa con las etapas que siguen a partir de la etapa “seca”. Esa variante es semejante al autolavado de los filtros dinámicos.
- Como se ha indicado, el caudal requerido para el arrastre de las partículas desprendidas durante el rastrillado puede provenir de las restantes unidades de la batería, mediante un canal común de agua cruda.
- Si el ingreso desde ese canal es sumergido se puede producir filtración con velocidad variable y decreciente en la batería intercomunicada, la que se autorregularía de acuerdo a la colmatación de los restantes lechos filtrantes.

b) Rearenado o reconstrucción del lecho filtrante

Esta operación se realiza en las unidades limpiadas con el método del raspado luego de que las sucesivas extracciones de arena superficial, colmatada luego de cada carrera, reduzca la altura del lecho hasta un valor mínimo que normalmente es de 0,40 a 0,60 m sobre la grava soporte (0,30 m según últimas investigaciones). También se realiza el rearenado en el método del rastrillado cuando haya que extraer el manto colmatado luego de un período más prolongado, de igual manera que en el raspado.

Tabla 11 Actividades de rearenado del F.L.D.

Fuente: Guía de procedimientos para la operación y mantenimiento de sistemas de filtración 2005

ACTIVIDADES	ACCIONES CLAVES
Raspar la capa superior	Seguir los procedimientos indicados para limpiar el lecho filtrante.
Drenar el agua del lecho filtrante	Abrir la válvula de vaciado
Extraer la arena	<ul style="list-style-type: none"> - Dependiendo del tamaño del filtro dividir la superficie en varias partes y rearene una por una. - Tener en cuenta que ha retirado 0.50 m y la altura de lecho remanente en el filtro es 0.50 m. - Retirar la arena de una zona del filtro y colóquela a un lado, no saque la arena gruesa ni la grava de soporte.
Rellene el lecho de arena	<ul style="list-style-type: none"> - Rellenar con arena limpia el filtro, utilizando la almacenada en la caseta, hasta alcanzar una altura de 0.50 m, coloque sobre ésta la que previamente ha amontonado; hasta alcanzar la altura máxima de arena. - Continuar el raspado con las otras zonas del filtro, utilizando el mismo procedimiento.
Nivelar la superficie de arena	Nivelar la superficie de la arena, de la misma manera que se hace después del raspado
Poner en servicio nuevamente el filtro.	Seguir el procedimiento indicado en los cuadros anteriores.
Dejar madurar el lecho filtrante	En condiciones tropicales, la maduración después de reponer la arena tomará de 3 a 15 días, dependiendo de la calidad de agua afluente.

La operación consiste en colocar arena nueva o lavada en lugar de esa capa vieja remanente, la que a su vez pasa a ser la capa superior mediante una serie de movimientos de ambos materiales. La finalidad es que esa última capa al ser superficial, contiene organismos y elementos necesarios para una rápida maduración, lo que no ocurriría con la arena nueva.

Una vez obtenida la altura del lecho requerida, la capa vieja arriba y la nueva abajo, se nivela la superficie y se pone en operación el filtro, de igual forma que en la puesta en marcha de la unidad, pero normalmente con menor período de maduración debido a los microorganismos de la capa vieja.

5.5.1.1 Mantenimiento del F.L.D.

Las actividades rutinarias de mantenimiento incluyen el raspado o trillado, la manipulación de la arena, y el monitoreo de la unidad. Los raspados periódicos continúan progresivamente hasta alcanzar una profundidad mínima del lecho de arena del orden de 0.50 m; una vez alcanzado este nivel se debe proceder al rearenamiento. Para el rearenamiento es importante conocer previamente la cantidad de arena disponible en la caseta de almacenamiento, la cual debe ser suficiente para restablecer la altura inicial del lecho filtrante; debe tenerse en cuenta

que cerca del 20% de la arena instalada inicialmente en el filtro se pierde en el lavado y transporte entre el filtro, la cámara de lavado y la caseta de almacenamiento.

Consideraciones complementarias para limpieza del medio filtrante

- Programando la tarea de limpieza por anticipado, se puede evitar el desperdicio de agua durante la eliminación de la capa sobrenadante.
- La noche anterior al día de la limpieza, se cierra el ingreso de agua cruda a la caja del filtro y se deja filtrar con tasa declinante durante la noche
- A la mañana siguiente, apenas aclara el día, el personal encargado de esta tarea debe estar listo para iniciar el raspado, tratando de concluirla antes de la salida del sol, para proteger de su efecto lesivo a la formación biológica del lecho filtrante.

Tabla 12 Actividades de mantenimiento del F.L.D.

Fuente: Guía de procedimientos para la operación y mantenimiento de sistemas de filtración 2005.

ACTIVIDADES	ACCIONES CLAVES
Extraer el material flotante	Retirar el material flotante con una nasa.
Drenar el agua sobrenadante	<ul style="list-style-type: none"> • Cerrar la válvula de entrada. • Abrir la válvula de vaciado. • Limpiar las paredes del filtro con un cepillo largo. • Cerrar la válvula de vaciado cuando el agua llegue a 0.20 m por debajo de la superficie del lecho filtrante.
Mantener la producción de agua de la planta	Ajustar la velocidad de filtración en los otros filtros; la velocidad no debe exceder de 0.30 m/h.
Proteger el lecho filtrante	Raspar una pequeña área, cúbrala con tablas y coloque el equipo sobre ella.
Raspar la capa superior	Marcar áreas (3 x 3 m ²) raspando en franjas estrechas. Raspar de 1 a 3 cm de la parte superior de cada área.
Retirar el material raspado	Trasladar el material raspado a la plataforma de lavado.
Retirar el equipo	Retirar el equipo de la zona de trabajo.
Nivelar la superficie de arena	Utilizar una tabla o un rastrillo de dientes finos para nivelar la superficie.
Comprobar la profundidad del lecho de arena	Medir la altura desde el borde superior del muro hasta el lecho filtrante.
Dar tiempo para la maduración biológica	La maduración generalmente toma de 1 a 2 días en zonas tropicales (siempre y cuando la limpieza no dure más de 1 día).
Ajustar la velocidad de filtración	Aumentar lentamente la velocidad de filtración en la unidad raspada, simultáneamente reduzca la velocidad de filtración en los otros filtros sobrecargados, hasta alcanzar la velocidad de operación normal en todas las unidades.
Pasar el agua al sistema de suministro	Si al segundo día la calidad del agua efluente del filtro recién raspado es aceptable, abra la válvula de suministro.

a) Lavado de Arena Sucia

Cuando no se dispone de arena nueva en las cercanías de la batería de filtros, hay que efectuar el lavado y almacenamiento de la arena proveniente de los raspados, a fin de utilizarla en el rearenado. Se recomienda un estudio técnico y económico de la conveniencia del lavado de la arena.

Una planta debe incluir instalaciones especiales para ese fin, debiendo lavarse la arena lo más pronto posible para evitar la producción de malos olores y sabores debido a la descomposición de la materia orgánica adherida a los granos. El lavado puede hacerse en forma manual en plantas pequeñas o medianas de filtros lentos.

b) Lavado Manual

Hay varias maneras de efectuar el lavado manual, en general se agrega y agita el material a limpiar en un receptáculo (o unidad de lavado de arenas) que a su vez recibe agua de limpieza a fin de producir la remoción del material adherido a los granos y su posterior arrastre, mientras la arena limpia sedimenta y se deposita en el fondo del mismo.

El agua para el lavado está instalada en el tanque para el lavado de arena y el recipiente de sedimentación es el tanque de lavado de arena, donde se utiliza una herramienta para agitar la arena sucia, herramientas como espátula, pala plana, un mango de madera o un rastrillo. La arena depositada y limpia se acumula para la re-arenación.

Tabla 13 Problemas frecuentes y soluciones

Fuente: Guía de procedimientos para la operación y mantenimiento de sistemas de filtración 2005.

PROBLEMA	SOLUCIÓN
No llega suficiente agua a la planta de tratamiento	Revise el estado de los componentes del sistema que están antes de la planta: bocatoma, desarenador, conducción, incluyendo válvulas de purga y ventosas. Realice los ajustes respectivos.
Llega mucha agua a los filtros gruesos y a los filtros lentos.	Controle que el filtro grueso dinámico solo trate el agua necesaria para los filtros gruesos ascendentes
Durante la noche entra el agua con mucho lodo a la planta y alcanza a llegar a los filtros gruesos ascendentes (esto se puede observar por el aspecto del agua en la superficie de los filtros gruesos ascendentes)	Realice lavado adicional al filtro grueso dinámico y a los filtros gruesos ascendentes, tal como se indica para el lavado semanal. Este lavado no reemplaza al lavado semanal normal.
Abundancia de algas flotantes en los filtros gruesos ascendentes y en los filtros lentos, las cuales no permiten una adecuada filtración y dan mal aspecto a los filtros.	Retire diariamente con la nasa las algas flotantes. Si esto no es suficiente, puede ser necesario cubrir los filtros.
El agua que sale de los filtros presenta turbiedad mayor a 5 unidades nefelométricas (UNT).	Mida la turbidez que sale de los filtros gruesos ascendentes y si es mayor a 20 siga lo indicado para el problema No. 8. Si la turbiedad es menor de 20 revise el caudal de entrada, tanto en los filtros gruesos ascendentes como en los filtros lentos y realice los ajustes necesarios. Si la turbiedad a la salida no disminuye avise a la Entidad Supervisora.
El agua que entra al filtro lento presenta una turbiedad entre 20 y 50 UNT.	Disminuya la entrada de agua a los filtros gruesos hasta que el caudal esté a la mitad de lo normal. Si la turbiedad se mantiene por lo menos una hora, por debajo de 20 UNT, ponga a funcionar los filtros gruesos con el caudal normal.
El agua que entra al filtro lento presenta una turbiedad mayor que 50 UNT.	Cierre la entrada de agua los filtros gruesos ascendentes hasta alcanzar la cuarta parte del caudal de operación. Continúe hasta que la turbiedad del efluente sea inferior a 50 UNT.
No sale suficiente agua del filtro después del raspado de la arena.	Vacíe parte del agua del filtro hasta un nivel por debajo de la arena y llénelo de nuevo por la cámara de salida con agua limpia del otro filtro lento.
Mal olor de la arena almacenada.	Lave adecuadamente la arena y realice la prueba de la botella para asegurarse que quedó bien lavada.
No hay regla de aforo o está fuera del lugar donde fue ubicada inicialmente.	Instálela con la ayuda de un técnico.
Regla de aforo con números borrados.	Avise a la Entidad Supervisora para que se haga y se instale nuevamente la regla, con la asesoría de un técnico.
Fugas en la válvulas por: <ul style="list-style-type: none"> • Daño en el empaque • Daño en el soporte • Rotura por: <ol style="list-style-type: none"> i. Oxidación ii. Exceso de pintura 	En cualquiera de estos casos repare lo antes posible el daño y cambie la válvula si es necesario. Las válvulas se deben lubricar y pintar periódicamente para evitar daños en el soporte, problemas en el cierre y oxidación.

5.5.2 Filtro de Arena. FA

Como consecuencia de su funcionamiento, el filtro de arena se va ensuciando de forma progresiva, por lo que debe limpiarse. Esta operación debe realizarse cuando la presión que indica el manómetro P1 es 0.5 kg/cm^2 superior a la inicial.

Los pasos a seguir para proceder a la limpieza del filtro de arena son los siguientes:

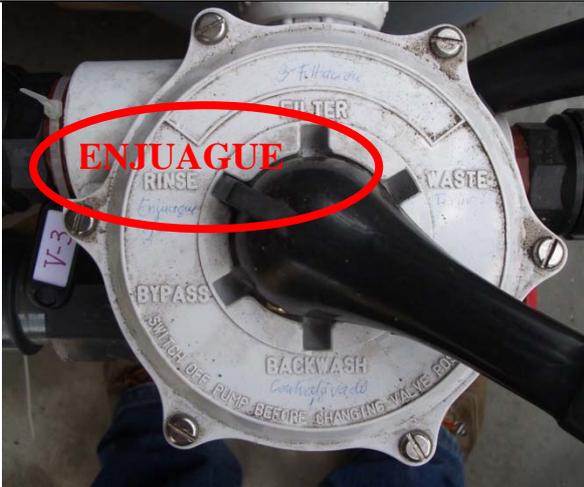
5.5.2.1 Mantenimiento del Filtro de Arena

El agua que se va a utilizar para la limpieza del filtro de arena será la que procede del suministro de agua de la red de conducción del sistema (aporte).

- Se coloca la válvula VF en la posición “LAVADO”.
- Las válvulas V1 y V3 se abren
- Nos aseguramos que la válvula V2 esté cerrada
- Se procede a la limpieza del FA que por la carga piezométrica en el sitio de implantación de aproximadamente 2 bares, es suficiente para ejecutarla.
- El agua pasa por la V1 y entra al filtro de arena por la válvula selectora en posición de “LAVADO”. Se mantiene en esta posición durante cinco minutos, hasta que se observe por el visor del filtro que el agua del interior del filtro está limpia.

Seguidamente, se cierra la válvula V1 y se gira la válvula selectora VF a la posición de “ENJUAGUE”, se abre nuevamente la válvula V1 y se mantiene en funcionamiento durante 2-3 minutos, hasta que el agua que pasa por el visor está limpia. Cuando esto sucede, se gira la válvula selectora VF hasta la posición de “FILTRACIÓN”, volviendo a la fase de producción y abriendo de nuevo la válvula V2 para seguir su trasegado normal a través del sistema

Tabla 14 Funcionamiento y limpieza de Filtro de Arena FA
Fuente: Adaptado de: Manual de funcionamiento de Mozambique (2007)

IMAGEN	POSICIÓN	DESCRIPCIÓN
	<p>Filtración</p>	<p>Producción de filtrado</p>
	<p>Lavado:</p>	<p>Limpieza de filtro de arena FA Se mantiene en esta posición durante cinco minutos, hasta que se observe por el visor del filtro que el agua del interior del filtro está limpia</p>
	<p>Enjuague</p>	<p>Enjuague del filtro: Se mantiene en funcionamiento durante 2-3 minutos, hasta que el agua que pasa por el visor está limpia</p>

5.5.3 Depósito de Agua

Es una estructura que sirve, por un lado, para almacenar el agua y abastecer a la población, y por otro, para mantener una presión adecuada en las redes y dar un buen servicio.

El reservorio de almacenamiento consta de dos partes: La primera, el depósito de almacenamiento; y la segunda, la caja de válvulas donde se encuentran las válvulas de control de entrada, salida del agua, de limpia y rebose.

5.5.3.1 Operación y puesta en marcha

Para poner en operación, abrir la válvula de entrada al reservorio V4 y la salida hacia la potabilizadora propiamente dicha. Cerrar la válvula de desagüe o limpia V5. La operación se realiza luego de la limpieza y desinfección de la parte interna del depósito de almacenamiento.

5.5.3.2 Mantenimiento

a) Limpieza

Limpieza exterior. - para realizar la limpieza exterior se procede con las siguientes actividades:

- Abrir el candado y levantar la tapa de la caseta de válvulas.
- Limpiar las piedras y malezas de la zona que rodea al reservorio.
- Limpiar las paredes y el techo exterior del reservorio.
- Limpiar el canal de limpia o desagüe.
- Proteger la tubería de desagüe para evitar la entrada de animales pequeños.
- Así mismo, limpiar el dado de protección de la tubería de desagüe y el emboquillado del canal de limpia

Limpieza interior

- Cerrar la válvula de entrada V4 y la de salida V6, luego abrir la válvula de desagüe o limpia para desaguar. (V5)
- Levantar la tapa de inspección para comprobar si está vacío el reservorio.
- Cerrar la válvula de limpieza o desagüe y abrir la válvula de ingreso de agua al reservorio.
- Aprovechando el agua que ingresa, con una escobilla limpiar las paredes y el fondo del reservorio.

- Con un balde echar agua a las paredes interiores hasta que esté eliminada toda la suciedad.

b) Desinfección

La desinfección se realiza después de la construcción y/o reparación de la parte interna del depósito de almacenamiento.

Primera parte

- Echar cuatro (4) cucharas grandes con hipoclorito de calcio al 30-35% a un recipiente de 20 litros de capacidad y disolverlo bien.
- Con la solución y un trapo frotar accesorios, paredes y piso.
- Cerrar la válvula de desagüe V5 y limpiar y llenar el reservorio.
- Cuando esté en la mitad de su capacidad el reservorio, añadir cal viva en una cantidad de aproximadamente 2 Kg para estabilizar el pH del agua de ingreso.

Segunda parte

- Para preparar una solución de hipoclorito de calcio al 30-35% de acuerdo al volumen del reservorio, con una concentración de 50 ppm. Para este caso se utilizará la información de la memoria técnica o cálculo, donde se indica la cantidad de hipoclorito en número de cucharas y la cantidad de agua para preparar la solución y disolverlo bien.
- Cuando esté en la mitad de su capacidad el reservorio, echar poco a poco la solución de hipoclorito de calcio, procurando que se disuelva bien.
- Una vez lleno, abrir la válvula V6 para abastecer de agua a la potabilizadora y seguidamente a la red.
- Cerrar y asegurar las tapas metálicas del buzón de inspección y la caja de válvulas.

Tabla 15 Actividades para el mantenimiento de tanques de almacenamiento

Fuente: Adaptado de “Procedimientos para la operación y mantenimiento de captaciones y reservorios de almacenamiento”, 2004

Frecuencia	Actividades	Herramientas
Mensual	- Maniobrar las válvulas de entrada, salida y rebose para mantenerlas operativas.	
Trimestral	- Limpiar piedras y malezas de la zona cercana al reservorio. - Limpiar el dado de protección de la tubería de limpia y desagüe y, el emboquillado del canal de limpia. - Limpiar el canal de escurrimiento.	- Pico, lampa, machete. - Balde graduado en litros, reloj y libreta de campo.
Semestral	- Limpiar y desinfectar el reservorio. - Lubricar y aceitar las válvulas de control. - Revisar el estado general del reservorio y su protección, si es necesario resanarlo. - Verificar el estado de la tapa sanitaria y de la tubería de ventilación. - Proteger con pintura anticorrosiva las válvulas de control. - Pintar las escaleras del reservorio.	- Escobilla, escoba, brocha, lija. - Hipoclorito, pintura, cemento, arena.
Anual	- Mantener con pintura anticorrosiva todos los elementos metálicos. - Pintar las paredes externas y el techo del reservorio.	- Brocha, lija, pintura

5.6 Tratamiento

Una vez que al agua de alimento ha pasado por el ciclo de pretratamiento pasa a la etapa de tratamiento en las unidades diseñadas en base a la tecnología de membranas que básicamente está compuesto por un Microfiltro (MF) y un módulo de Ultrafiltración (UF), que dará luego paso a la unidad de potabilización. En este también se detalla el proceso de limpieza de las membranas; labores que inicialmente se realizan una vez por semana. A continuación se resume las actividades y control de funcionamiento, lavado y enjuague.

El agua, después de ser filtrada pasa a la segunda etapa de filtración, atravesando la válvula (V6), pasa a un filtro con tamaño de poro de 5mm, que tiene por objeto retener algún elemento extraño que se haya podido quedar en el tanque de almacenamiento durante las labores de mantenimiento. Pasa por la válvula V7 a alimentar al microfiltro (MF). El manómetro de presión (P1), mide la presión de entrada a la unidad de filtración (MF). La pérdida de carga del microfiltro, se obtiene por la diferencia de presión existente entre los manómetros (P1) y (P2).

El caudal de agua de entrada al módulo de ultrafiltración, se regula a través de la válvula (V8) y se mide con el caudalímetro (C1). El caudalímetro (C1) nos indica el caudal de agua alimento que entra en las membranas. El agua entra primeramente a la membrana (UF) la corriente que sale por la parte inferior de la membrana (UF) denominada “corriente de concentrado”. El manómetro de presión (P4) mide la presión de trabajo a la salida de la segunda membrana (UF)

5.6.1 Gestión de permeado producido (agua pura)

La membrana de UF, produce la corriente de permeado (agua pura), que sale de la membrana por el centro del módulo

El agua procedente de la membrana se conduce por la parte superior del módulo y se dirige al caudalímetro (C3) donde se mide el caudal de agua pura producida en L/h producido por la instalación de forma continua. Seguidamente el agua producida es dirigida mediante la válvula (V11) a los depósitos D2 para la cloración.

La válvula (V18), permite el llenado con agua limpia de los depósitos de limpieza (TQ y TE).

La posición de las válvulas que realizan la regulación del proceso durante la fase de producción de agua pura se muestra en la tabla 1 en la etapa de **PRODUCCIÓN**.

5.6.2 Funcionamiento de la Instalación. Etapa de lavado de las membranas

Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema y obtener un elevado rendimiento de la instalación, es necesario eliminar las partículas que quedan retenidas en las membranas como consecuencia del proceso de ultrafiltración llevado a cabo en ellas.

De acuerdo con las especificaciones del fabricante, la limpieza de las membranas se realizará una vez cada a la semana con una disolución de cloro siguiendo la secuencia que se indica a continuación.

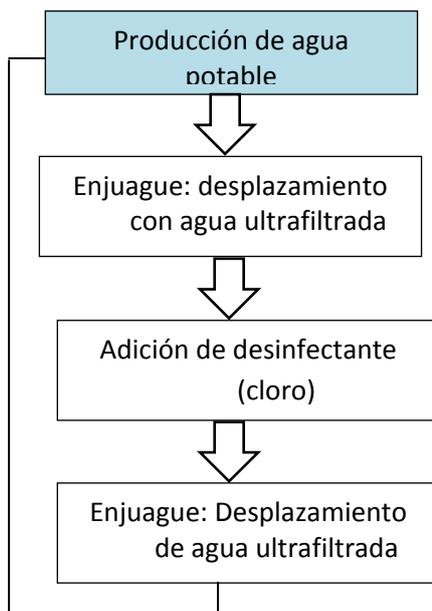


Figura 4 Diagrama de bloques de limpieza de membranas

No obstante, dicha frecuencia puede verse modificada en función del régimen de funcionamiento de la instalación. En cualquier caso, se procederá a realizar la limpieza de la instalación cuando el caudal de permeado se vea reducido en un 15 % respecto del caudal de permeado inicial.

Así, por ejemplo:

Caudal inicial de permeado= 800 L/h

Caudal de permeado reducido en un 15 %= $800 * 15/100 = 120$ L/h

Luego:

Caudal inicial de permeado –Caudal reducido en un 15 %= $800 - 120 = 680$ L/h

Cuando el caudal sea inferior a 680 L/h se procederá a la limpieza de las membranas.

Secuencia de limpieza

Para llevar a cabo la limpieza de las membranas se procederá de la siguiente forma:

- Se situará la tubería que sale de V18 en el interior del tanque de limpieza TE, verificando que la válvula V19, V11, están cerradas.
- Se abrirá la válvula V20 y se cerrará la válvula V21.
- Se abrirá la válvula V22 y V23 y se dejará pasar el agua durante 5 minutos con el fin de enjuagar el fondo del tanque, mantener la V24 cerrada.

- Una vez limpio, se cerrará la válvula V19 y V20 y se procederá al llenado del tanque TE.
- Una vez lleno el depósito TE, se sacará la tubería de este y se introducirá en el depósito TQ. A continuación, se procederá al enjuague del tanque TQ y para ello se abrirá la válvula V23 y la válvula V22 dejando pasar el agua durante 5 minutos. Una vez limpio, se cerrará la válvula V22 y V23 esperando hasta el llenado completo del tanque.
- Una vez llenos ambos tanques, se parará la bomba B1 y se procederá a preparar la disolución de limpieza del tanque TQ. La disolución de limpieza será una disolución desinfectante de cloro en una concentración de 500 ppm.

Las instrucciones para preparar la disolución de limpieza son las siguientes:

Para calcular la cantidad de cloro a añadir al agua para conseguir 90 g/L ppm de cloro residual se debe realizar la siguiente operación:

$$V \cdot C = V' \cdot C'$$

V = volumen de agua en el depósito de limpieza TQ en litros (L)

C = concentración de cloro residual deseada en el tanque de limpieza TQ (mg/L) (en este caso 90 g/L)

V' = volumen de cloro a añadir (L) → lo que se desea calcular

C' = concentración de cloro en la disolución desinfectante comercial (mg/L)

Si se tiene una disolución desinfectante comercial con 1.5 ppm de hipoclorito sódico, para conseguir 100 mg/L de cloro residual en 2000 L de agua:

$$2000 \text{ (L)} \cdot 1.5 \text{ (ppm)} = V' \cdot 90000 \text{ (ppm)}$$

$$V' = (2000 \text{ L} \cdot 1.5 \text{ ppm}) / 90000 \text{ ppm} = 0.033 \text{ L}$$

V' = 0.033 Litros = 33 mL de lejía a añadir al depósito.

Por tanto, se medirá con ayuda de una probeta la cantidad de cloro y se añadirá al tanque de limpieza química TQ.

Así mismo, se procederá a la limpieza del microfiltro MF.

Para ello se deben seguir los siguientes pasos:

- Vaciar el microfiltro a través de la válvula V9

- Desenroscar la tapa y retirar la carcasa exterior
- Sacar el cuerpo central
- Extraer la malla o tela filtrante
- Sustituirla por una malla limpia
- Colocar la malla filtrante
- Colocar el cuerpo central
- Enroscar la tapa y encajar la carcasa exterior
- Limpiar la tela filtrante retirada con agua y jabón, frotando suavemente con las yemas de los dedos y dejar secar al aire. USAR GUANTES

A continuación, se procederá a describir la secuencia de limpieza.

Se cerrarán las válvulas V19, V11, VS, VV, VV'. Se situará la tubería que sale de V18 de nuevo en el interior del tanque de limpieza TE y se abrirá la válvula V19. Se situará la tubería que sale de V18 en el interior del tanque de limpieza TE. A continuación, se encenderá la bomba B1.

Enjuague

El agua entra en la unidad de tratamiento por la Válvula (V23), seguidamente se incorpora al sistema de bombeo (B1), La válvula de seguridad (VS), timbrada a $4,5 \text{ kg/cm}^2$, garantiza el correcto funcionamiento de las membranas.

Por medio de la válvula (V7'), el agua alimenta el microfiltro (MF). El manómetro de presión (P2), mide la presión de entrada a la unidad de filtración (MF), la pérdida de carga del microfiltro, se obtiene por la diferencia existente entre la presión de los manómetros (P2) y (P3).

El caudalímetro (C1), nos indica el caudal de agua alimento que entra en las membranas, como en la etapa de producción, el agua entra a la membrana (UF). Por la parte superior de la membrana, sale la corriente de concentrado de la instalación. La presión de trabajo del sistema durante la etapa de limpieza, debe ser de $0,5 \text{ Kg/cm}^2$ medidos en P4, y el caudal de aproximadamente 1000L/h que se regula mediante la válvula (V10), el manómetro de presión (P4) mide la presión de trabajo a la salida de la segunda membrana.

La corriente de concentrado después de atravesar la válvula de regulación (V10), llega al caudalímetro (C2) y sale por la válvula (V24) y se reincorpora al tanque en circuito cerrado y al sistema de aspiración de la bomba mediante la válvula situada a la salida de TE.

Las membrana, producen las correspondientes corriente de permeado, que sale de la membrana por el centro del módulo

Esta etapa, dura aproximadamente unos 15 minutos, tras los cuales se pasa a la etapa de limpieza química.

Limpieza química

A continuación del enjuague se realiza la limpieza química que consiste básicamente en lo siguiente:

-Parar la bomba B1.

-Cerrar la Válvula V21.

-Cambiar la tubería que sale de V18 y que está dentro de TE, al tanque TQ.

-Abrir la válvula V23.

-Encender la bomba B1.

Encender el cronómetro para medir el tiempo de limpieza, que debe ser de 60 minutos.

Comprobar que durante el proceso de limpieza la presión en el manómetro P4 es de 0,5-1 kg/cm².

Finalizado el tiempo de limpieza, se para la bomba B1 y se procede al enjuague del sistema, de nuevo. Para ello, se sitúa la tubería que sale de V20 en el tanque TE y la tubería que sale de V8 en el tanque TE.

- Se cierra la válvula V23
- Se comprueba que el tanque TE tiene suficiente agua.
- Se abre la válvula V21.
- Se enciende la bomba B1
- Se espera unos 15 minutos para que el enjuague sea completo.

Una vez finalizado el enjuague, se para la bomba se abre V19 y se vacía el tanque TE. A continuación se cierra V20, se abre V21 y se vacía el tanque TQ.

Una vez limpio, se procede de nuevo a la producción de agua.

Para ello, se debe:

- Abrir V7, VV, VS y VV'
- Cerrar V18 y V12
- Encender la bomba B y regular la presión con la válvula V10 hasta que la presión en P4 sea de 3-4 kg/cm².

La posición de las válvulas que realizan la regulación del proceso se muestra en la tabla 1 en el apartado **LIMPIEZA**

5.6.3 Gestión del concentrado producido

De acuerdo con la figura 3, el concentrado, atraviesa la válvula de regulación (V10), y su caudal se cuantifica mediante el caudalímetro (C2). La corriente de concentrado se bifurca en dos mediante la válvula (VS) y (V24):

-La corriente de concentrado que pasa a través de la válvula VS, se dirige al caudalímetro (C1) y sale de la instalación a la balsa. Este caudal se fijará en aproximadamente unos 50L/h.

-La corriente de concentrado restante sale por la válvula (V10) y se reincorpora al sistema de aspiración de la bomba, mediante recirculación. Este funcionamiento permite reutilizar el agua y reducir el consumo de la instalación.

La válvula (V18), se abre cuando se necesita recircular la disolución química durante la limpieza de las membranas. La válvula V18 desemboca en dos tuberías que van insertadas en los depósitos de limpieza (TE y TQ) de forma que en función de la etapa de limpieza que se esté, se precisará recircular a un tanque o a otro.

5.7 Red de Distribución

Es la actuación permanente en las tuberías, válvulas y conexiones domiciliarias existentes. El control deberá ser efectuado en los siguientes aspectos:

- Estado general de las redes.
- Estado general de las válvulas.
- Volúmenes distribuidos.
- Presiones máximas y mínimas.
- Cloro residual.
- Obstrucciones y sedimentaciones.
- Continuidad del servicio.
- Cobertura del servicio.

5.7.1 Herramientas y Materiales

Las herramientas y materiales necesarios para la operación y mantenimiento de la red de distribución generalmente son los siguientes:

Herramientas y utensilios

- Llaves de dado para válvulas de red
- Llaves de boca
- Escofina
- Plano de replanteo
- Guantes

Materiales

- Tuberías
- Accesorios
- Pegamento
- Hipoclorito (para desinfección)

5.7.2 Operación

Para poner en operación la red de distribución se deberá abrir la válvula V19 de salida de la potabilizadora a la red.

5.7.3 Mantenimiento

Es necesario informar a la población que mientras se realicen los procesos de limpieza y desinfección de la red de distribución no se dispondrá del servicio. Para tal fin se procederá a cerrar las válvulas de paso de las conexiones domiciliarias como medida de precaución.

De preferencia, se deberá realizar las tareas de limpieza en horarios que no causen incomodidad al usuario.

5.7.4 Tuberías

Para la desinfección de la tubería y de las cámaras rompe-presión de la red de distribución, se recomienda aprovechar el volumen de la solución de hipoclorito que se utiliza cuando se desinfecta el reservorio y luego se continuará con los siguientes pasos:

- El dosaje de cloro aplicado para la desinfección será de 50 ppm.
- El tiempo mínimo de contacto del cloro con la tubería será de 24 horas, procediéndose a efectuar la prueba de cloro residual debiendo obtener por lo menos 5 ppm. de cloro.
- En el periodo de clorinación, todas las válvulas, grifos y otros accesorios, serán operados repetidas veces para asegurar que todas sus partes entren en contacto con la solución del cloro.

- Después de la prueba, el agua con cloro será totalmente eliminada de la tubería e inyectándose con agua de consumo hasta alcanzar 0,2 ppm. de cloro.

Se podrá utilizar cualquiera de los productos enumerados a continuación, en orden de preferencia:

- Cloro liquido
- Compuestos de cloro disuelto con agua

Para la desinfección con cloro liquido se aplicara una solución de este, por medio de un aparato clorinador de solución, o cloro directamente de un cilindro con aparatos adecuados, para controlar la cantidad inyectada y asegurar la difusión efectiva del cloro en toda la línea.

En la desinfección de la tubería por compuesto de cloro disuelto, se podrá usar compuestos de cloro tal como, hipoclorito de calcio o similares y cuyo contenido de cloro utilizable, sea conocido.

Para la adicción de estos productos se usaran una proporción de 5% de agua, determinándose las cantidades a utilizar mediante la siguiente fórmula:

$$g = \frac{C \cdot L}{\%Clo \cdot 10}$$

Donde:

g = gramos de hipoclorito

C = p.p.m o mgs. por litros deseados

L = litros deseados

5.7.5 Reparación de fugas

Cuando se presente fugas en cualquier parte de la línea de agua, serán de inmediato reparadas por el encargado del sistema debiendo necesariamente, realizar de nuevo la prueba hidráulica del circuito y la desinfección de la misma, hasta que se consiga resultado satisfactorio y sea aprobada por la supervisión.

5.7.6 Frecuencia de mantenimiento

En la siguiente tabla se indica la frecuencia de las actividades de mantenimiento a efectuarse en las redes de distribución.

Tabla 16. Frecuencia de mantenimiento de red de distribución

Fuente: Adaptado de “Procedimientos para la operación y mantenimiento de las redes de distribución” 2005.

Frecuencia	Actividades
Semanal	- Girar las válvulas de aire y purga en la red. - Observar y examinar que no existen fugas en las tuberías de la red. En caso de detectarlas, repararlas inmediatamente.
Mensual	Abrir y cerrar las válvulas, verificando el funcionamiento
Trimestral	- Limpiar la zona aledaña de piedras y malezas de las cámaras rompe-presión y de la caja de válvulas de purga. - Limpiar el canal de escurrimiento de las cámaras rompe-presión.
Semestral	- Limpieza y desinfección. - Lubricar las válvulas de control. - Verificar las cámaras rompe-presión, las cajas de las válvulas de purga, de aire y de control - Pintar con anticorrosivo las válvulas de control, de aire y de purga.
Anual	- Pintar los elementos metálicos (tapas, válvulas de control, etc.). - Pintar las paredes exteriores y techo de las cajas de válvulas de aire, de purga y de las cámaras rompe-presión.

Disposiciones finales

- La desinfección se llevará a cabo una vez terminado de construir el sistema de agua potable. Sin embargo, cuando las condiciones lo determinan se hará una nueva desinfección.
- Al ampliar o reparar la red se desinfectará el tramo respectivo.
- Con el uso del comparador de cloro artesanal, verificar que el cloro residual en el agua no sea menor de 0,5 mg/L
- Descubrir fugas en las tuberías y repararlas.
- Reemplazar o cambiar válvulas y accesorios malogrados.

6. REFERENCIAS

Agüero, P. R., (2002) *Guía para el desarrollo del taller “Operación y Mantenimiento de los sistemas de saneamiento básico*, DIGESA,

Arnal, J., García, B.& Martínez M (2007) *Instalación de la unidad potabilizadora de Naquera-Mozambique*. Universidad Politécnica de Valencia

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador, MIDUVI,(2000) “*Operación y Mantenimiento de Sistemas por Gravedad*”

Organización Panamericana de la Salud OPS, (2005) *Guía de procedimientos para la operación y mantenimiento de desarenadores y sedimentadores*”. Lima

Organización Panamericana de la Salud OPS, (2005) “*Procedimientos para la operación y mantenimiento de captaciones y reservorios de almacenamiento*”. Lima

Organización Panamericana de la Salud OPS, (2005) “*Guías para la operación y mantenimiento de sistemas de filtración de múltiples etapas*”. Lima

Organización Panamericana de la Salud OPS, (2005) “*Procedimientos para la operación y mantenimiento de las redes de distribución*”. Lima 2005.