

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

“Diseño teórico de una planta potabilizadora convencional de agua para la comuna Santo Domingo de Guzmán que promueva el consumo de agua de calidad”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Químico

Presentado por:

Iris Viviana Álvarez Peñafiel
Geovanna Margarita Gómez Medina

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a Iris de 24 años, gracias por no suicidarte. A mi mami Clara por su esfuerzo y determinación. A mi esposo Jaime por siempre creer en mí y darme ánimos y a mi tía Mari, que con sus detalles y apoyo sin darme cuenta me dio las fuerzas para seguir.

Iris.

Dedico este trabajo a mis padres: Rocío y Geovanny; mis tíos: Olinda y Luis por creer en mí. Su amor incondicional, apoyo y ánimos brindados durante mi etapa universitaria fueron cruciales para llegar donde estoy.

Geovanna.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser mi refugio, a María y a Eduardo quienes, con su motivación y confianza en mí, hicieron que este arduo camino universitario sea más llevadero. A mis sobrinos y a mi hermano, los niños de mi vida. A mis maestros porque no solo compartieron sus conocimientos, también me dejaron mensajes de fortaleza y determinación.

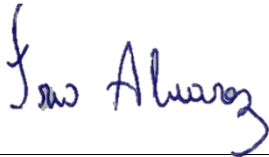
Iris

Todo se lo debo a Dios, el autor de la vida. Sin su amor y misericordia no sería nadie. Agradezco a mis hermanos, tíos y amigos por brindarme palabras de aliento cuando quería rendirme. A mis maestros que con paciencia supieron despejar mis dudas y calmaron mi sed de conocimiento. A mis compañeros de la carrera por ser mi apoyo y convertirse en mi segunda familia. A la Ing. Jenny Venegas por dar soporte y ser nuestra guía en el trabajo realizado.

Geovanna.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponden conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Iris Álvarez, Geovanna Gómez* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOl realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Iris Álvarez Peñafiel



Geovanna Gómez
Medina

EVALUADORES

Nadia Flores

PROFESOR DE LA MATERIA



Jenny Venegas

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Muchas poblaciones del Ecuador no cuentan con acceso a agua potable, la comuna de Santo Domingo es una de estas. Según datos censados, más del 36% de la población enferma por utilizar agua sin ningún tipo de tratamiento para diversos fines. Por tal motivo, se propone modelar un sistema de tratamiento convencional de agua potable con el objetivo de promover el desarrollo de proyectos que satisfagan las necesidades de la comuna de acuerdo con la norma INEN 1108:2020.

Para el desarrollo del proyecto se tomaron muestras de agua del pozo de la comuna, las cuales fueron caracterizadas con parámetros fisicoquímicos y parámetros microbiológicos, empleando métodos estandarizados y haciendo uso de laboratorios privados. Se obtuvieron varios parámetros fuera de los límites permisibles según la Norma INEN 1108:2020., como: dureza total, hierro, nitritos, *Escherichia Coli*, coliformes fecales y coliformes totales. Por consiguiente, se planteó un sistema que consta de: una bomba sumergible que lleva el agua hacia una torre de aireación luego pasa a un filtro lento de arena que posee una capa de grava y un medio filtrante de arena verde (Greendsand) y posteriormente pasa a un sistema de cloración.

En base a la caracterización y con el sistema propuesto, se consigue una remoción del de hasta 98 % por oxidación de hierro y manganeso; un 60 % de contaminantes microbiológicos luego de pasar por el filtro de arena, para finalmente desinfectarlo con cloro líquido y lograr la ausencia de patógenos. Además, se exponen costos de inversión para ser implementada y se proponen períodos de mantenimientos para los equipos. De ser implementado el modelo propuesto se brindaría agua de calidad para los habitantes de la comuna.

Palabras Clave: Caracterización, parámetros fisicoquímicos, diseño convencional, parámetros microbiológicos.

ABSTRACT

Many towns in Ecuador do not have access to potable water, and the population of Santo Domingo is one of them. According to census data, more than 36% of the population is ill due to the use of untreated water for various purposes. For this reason, it is proposed to model a conventional drinking water treatment system with the objective of promoting the development of projects that meet the needs of the commune in accordance with INEN 1108:2020.

*For the development of the project, water samples were taken from the commune's well and characterized with physicochemical and microbiological parameters, using standardized methods and private laboratories. Several parameters were found to be outside the permissible limits according to INEN Standard 1108:2020, such as total hardness, iron, nitrites, *Escherichia coli*, fecal coliforms, and total coliforms. Therefore, a system was designed consisting of a submersible pump that carries water to an aeration tower and then passes through a slow sand filter with a layer of gravel and a green sand filter medium (Greendsand) and then passes through a chlorination system.*

Based on the characterization and with the proposed system, a removal of up to 98% is achieved by oxidation of iron and manganese; 60% of microbiological contaminants after passing through the sand filter, to finally disinfect it with liquid chlorine and achieve the absence of pathogens. In addition, investment costs to be implemented and maintenance periods for the equipment are proposed. If the proposed model is implemented, it would provide quality water for the inhabitants of the commune.

Key words: Characterization, physicochemical parameters, conventional design, microbiological parameters.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
ÍNDICE GENERAL	8
ABREVIATURAS.....	11
SIMBOLOGÍA.....	12
ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE TABLAS.....	15
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	16
CAPÍTULO 1.....	18
1. Introducción	18
1.1 Descripción del problema	19
1.2 Justificación del problema	19
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo General.....	21
1.3.2 Objetivos Específicos.....	21
1.4 Marco teórico.....	21
1.4.1 Derecho al agua potable.....	21
1.4.2 Aguas subterráneas.....	21
1.4.3 Potabilización de agua.....	22
1.4.4 Planta potabilizadora de agua.....	23
1.4.4.1 Planta potabilizadora convencional de agua	23
1.4.4.1.1 Coagulación	24
1.4.4.1.2 Floculación	24
1.4.4.1.3 Sedimentación de sólidos.....	24

1.4.4.1.4	Desinfección	24
1.4.4.1.5	Filtros de arena	25
1.4.4.1.6	Torre de aireación	25
1.4.5	Criterios de diseño	26
1.4.5.1	Población	26
1.4.5.1.1	Clima	27
1.4.5.2	Turbidez	27
1.4.5.3	Hierro y manganeso	28
1.4.5.4	Carga biológica	29
CAPÍTULO 2		30
2.	Metodología	30
2.1	Diseño teórico	30
2.1.1	Recolección de información	30
2.1.2	Toma de muestra	32
2.2	Evaluación de parámetros	33
2.2.1	Parámetros fisicoquímicos	33
2.2.2	Parámetros microbiológicos	39
2.3	Diseño de planta por modelo convencional	40
2.3.1	Caudal de diseño	40
2.3.2	Torre de Aireación	43
2.3.3	Tuberías	46
2.3.4	Bomba de succión y descarga	46
2.3.5	Filtro de Arena	48
2.4	Análisis económico	51
2.4.1	Capcost	51
2.4.2	Costo de equipos económicos	52

2.4.3	Mantenimiento	52
CAPÍTULO 3.....		53
3.	Resultados y análisis	53
3.1	Análisis fisicoquímico de la muestra de agua.....	53
3.2	Análisis microbiológico de la muestra de agua.....	59
3.3	Equipos del diseño de la planta potabilizadora	60
3.4	Esquema completo referencial del tren de tratamiento.	63
3.5	Costos	64
3.6	Mantenimiento.....	68
CAPÍTULO 4.....		69
4.	Conclusiones y recomendaciones	69
	Conclusiones.....	69
	Recomendaciones.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....		71
APÉNDICES.....		75

ABREVIATURAS

CEPCI	CE Plant Cost Index
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
LMP	Límite máximo permitido
NMP	Número Más Probable
PRI	Período de Recuperación de Inversión
TIR	Tasa Interna de Retorno
TMAR	Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento
UFC	Unidad Formadora de Colonias
UNT	Unidad Nefelométrica de Turbiedad
VAN	Valor Actual Neto

SIMBOLOGÍA

gpm	Galones por minuto
Mg	Manganeso
mL	Mililitro
pH	Potencial de hidrógeno
ppm	Partes por millón
ppt	Partes por trillón
Cl ⁻	Ion cloruro
Cl ₂	Cloro molecular
CaCO ₃	Carbonato de calcio
Fe	Hierro
Mn	Manganeso
SiO ₂	Dióxido de silicio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Filtro de arena	25
Figura 1.2. Diagrama de procesos de planta convencional	28
Figura 2.1. Terreno, pozo y tanque de la comuna	31
Figura 2.2. Distribución de tuberías en la comuna	32
Figura 2.3. Recolección de muestra para análisis fisicoquímico	33
Figura 2.4. Recolección de muestra para análisis microbiológico	33
Figura 2.5. Equipo HANNA serie HI83325	34
Figura 2.6. Medición de dureza total	34
Figura 2.7. Medición de cloro total.....	35
Figura 2.8. Medición de hierro	36
Figura 2.9. Medición de manganeso	36
Figura 2.10. Medición de pH.....	37
Figura 2.11. Medición de sílice en forma de SiO ₂	37
Figura 2.12 Medición de turbidez	38
Figura 2.13 Medición de salinidad	38
Figura 2.14 Curva de eficiencia de la bomba	47
Figura 3.1. Gráfico de valores de dureza total.....	54
Figura 3.2. Gráfico de valores de turbidez.....	54
Figura 3.3. Gráfico de sólidos totales disueltos	55
Figura 3.4. Gráfico de hierro presente en agua	55
Figura 3.5. Gráfico de valores de manganeso.....	56
Figura 3.6. Gráfico de valores de cobre	56
Figura 3.7. Gráfico de valores de cloro total.....	57
Figura 3.8. Gráfico de valores de cloruros.....	57
Figura 3.9. Gráfico de valores de sulfatos	58
Figura 3.10. Gráfico de valores de nitratos.....	58
Figura 3.11. Gráficos de valores de nitritos	59
Figura 3.12 Torre de aireación vista 3D	61
Figura 3.13 Filtro de arena con flujo descendente.....	62
Figura 3.14 Bomba dosificadora de cloro	63
Figura 3.15 Tanque de contacto en etapa de cloración.....	63

Figura 3.16 Diseño propuesto del sistema potabilizador de agua para la comuna.... 63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Parámetros importantes de la Norma INEN 1108	22
Tabla 1.2. Distribución de población en el cantón	26
Tabla 2.1 Descripción de métodos usados en análisis fisicoquímicos	39
Tabla 2.2. Descripción de método usados en análisis microbiológico	39
Tabla 2.3. Descripción de medios filtrantes	50
Tabla 2.4 Cálculo de la dosificación de cloro.....	51
Tabla 3.1 Resultados de análisis fisicoquímicos	53
Tabla 3.2 Resultados del análisis microbiológico	59
Tabla 3.3. Características de la torre de aireación	60
Tabla 3.4 Características del filtro de arena	61
Tabla 3.5 Características de la etapa de desinfección (cloración).....	62
Tabla 3.6 Tablas con resultados de CAPEX (CAPITAL EXPENDITURE).....	64
Tabla 3.7 Tablas con costos para el capital de trabajo.....	65
Tabla 3.8 Costos reales de materiales	67
Tabla 3.9 Costos reales varios	67
Tabla 3.10 Datos para inversión.....	67
Tabla 3.11 Costos de mantenimiento	68

ÍNDICE DE ECUACIONES

$PD = PA1 + rt$	27
$PF = PA(1 + r)t$	40
$Q_{medio} = f * PF * D86400$	41
$Q_{maxDia} = KMD * Q_{medio}$	41
$Q_{maxHora} = KMH * Q_{medio}$	42
$Q_{Abastecimiento} = 2 * Q_{medio}$	42
$Q_{Captacion} = 1.20 * Q_{medio}$	42
$Q_{Bombeo} = 1.05 * Q_{maxDia} * (24hN^{\circ}horas \text{ bombeo por dia})$	42
$Q_{potable} = 1.10 * Q_{maxDia}$	43
$A_{totalbandejas} = Q_{potable}Carga \text{ hidráulica}$	44
$A_{bandeja} = A_{totalbandejas}numero \text{ de bandejas}$	44
$Longitud = A_{bandeja}$	44
$N^{\circ} \text{ de orificios}Orificio + N^{\circ} \text{ de orificios} + 1 * \text{espaciamiento} = Longitud$	45
$N^{\circ}totalAgu = 48 * 47 = 2256 \text{ orificios}$	45
$A_{Orificios} = \pi * D24$	46
$V_{salida} = Q_{potable}A_{Orificios} * N^{\circ}totalOrificios$	46
$Ph = \rho * Q_{potable} * g * h$	47
$VolumenVertedero = Q_{potable} * \text{tretención}$	48
$A_{Orificios} = \pi * D24$	50
$Q_{orificios} = A_{orificios} * Vagua$	50

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El agua no solo se usa para beber, está presente en la vida cotidiana a través de diversas acciones entre ellas la higiene y cocina. Cuando las pequeñas poblaciones no tienen acceso a este recurso hídrico de calidad, la salud de los consumidores decae vulnerándose un derecho humano primordial.

La organización mundial de la Salud (OMS) aporta guías para la calidad del agua de consumo en las que menciona que el agua potable debe de ser apta y accesible, ya que esta puede prolongar la vida y otorgar condiciones de salud favorables (WHO.org, 2018). Además, indica que cada nación maneja su propio sistema de gestión de agua, el cual depende de las condiciones del recurso hídrico.

Por tal motivo el Ecuador tiene su Normativa INEN 1108 vigente mediante la cual vela, regula y controla que el agua de consumo humano sea potable. A pesar de tener una norma que rige, no toda la población del Ecuador tiene acceso a este recurso de manera segura sobre todo la población rural. (FFLA.org, 2021)

En el presente trabajado de investigación proporciona un diseño teórico convencional de una planta potabilizadora de agua para una comuna perteneciente al cantón Simón Bolívar, provincia del Guayas; además se considera un análisis económico que ayude a promover su implementación.

En el capítulo uno se detalla el por qué se debe plantear una solución a la problemática identificada, así como el marco teórico. En el capítulo dos se aborda la metodología desde la toma de muestra de agua, caracterización fisicoquímica, microbiológica y diseños preliminares, en el capítulo tres se define el tren de tratamiento de acorde a las características del agua determinadas. Finalmente, en el capítulo cuatro se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto de investigación.

1.1 Descripción del problema

La población ubicada en la comuna Santo Domingo de Guzmán (cantón Simón Bolívar, provincia del Guayas) no tiene acceso a agua potable, debido a que durante años no se ha gestionado la inversión necesaria que garantice los derechos de los ciudadanos a este servicio vital. Los habitantes de esta comuna desconocen sobre los altos índices de muerte en Ecuador causados por enfermedades renales con una tasa del 6.5% y 50% para enfermedades infecciosas. Esto se deriva de beber agua sin ningún tratamiento primario. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2019).

El agua que llega a los hogares se extrae de un pozo y se almacena en un tanque elevado, para luego ser distribuido por medio de cañerías hasta cada casa. La fuente de agua es subterránea (agua de pozo) y al estar cerca de un suelo considerado agrícola, se ve expuesta a sales (cloruro sódico), minerales, metales (cobre, hierro, arsénico, manganeso, sílice, calcio, magnesio) y microorganismos patógenos, esto según la caracterización realizada en el cantón Pasaje provincia de El Oro. (Arbitro, 2015)

La población cuenta con un terreno amplio y un sistema de cloración que está a su disposición, pero no se usa. Durante años, no se han realizado mantenimientos programados o preventivos a la bomba o a las cañerías que distribuyen el agua a los hogares. Esto provoca que aumente la contaminación por la acumulación de sedimentos y material orgánico que obstruyen el paso del agua en las cañerías.

1.2 Justificación del problema

Desde el año 2004 se comenzó con la gestión necesaria para que todos los habitantes posean acceso al agua en sus propias casas. En la actualidad es una realidad. Sin embargo, el agua que llega a cada casa debe ser tratada para evitar enfermedades gastrointestinales. En este contexto se originó la idea de gestionar un diseño teórico de una planta potabilizadora de agua. Este recurso hídrico que ahora llega a cada hogar no tiene un tratamiento primario ni secundario antes de estar disponible para su uso.

Según un estudio realizado en el cantón existe una morbilidad del 24.2% por parasitosis, 4.9% por enfermedades diarreicas agudas, 3.7% por infecciones urinarias y 3.2% por dermatitis. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Simón Bolívar, 2014) Además, según la tesis doctoral “Factores relacionados con las enfermedades gastrointestinales por consumo de agua de pozo en la comunidad de dos mangas Santa Elena”, se menciona que el 52.74% de los habitantes presentó enfermedades diarreicas en los últimos 6 meses por consumo de agua de pozo sin ningún tratamiento (Reyes, 2016).

Situación similar se vive en la comuna Santo Domingo, debido a que no existe mantenimiento ni limpieza periódica del tanque elevado. Este no tiene una cubierta segura lo que provoca que ingresen animales, mueran y se descompongan provocando que la cantidad de patógenos microbianos se incremente y la población se enferme. El proyecto es de interés para al gobierno del cantón Simón Bolívar, ya que a raíz de la búsqueda de información dispusieron los medios y personal necesario para el levantamiento de información.

Con un diseño preliminar teórico de una planta potabilizadora de agua para la comuna de Santo Domingo de Guzmán, junto con los estudios de caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua que se bebe en este asentamiento se podrá gestionar la construcción de dicha planta. Se tendrá disponible el tamaño y costo de los equipos necesarios, junto con un presupuesto preliminar para la construcción.

Además, análisis fisicoquímicos y microbiológicos que respalden la necesidad de esta. O en el peor de los casos articular de inmediato acciones que permitan tener agua potable de calidad según la norma INEN 1108:2020 en cada hogar. Esto ayudará a que los proyectos relacionados con el agua potable y alcantarillado se den de forma óptima y con cimientos sólidos en la comunidad, para luego ser un precedente y se repliquen proyectos similares en otros recintos vecinos dentro del cantón.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Modelar una planta potabilizadora de agua que cumpla con las necesidades de la comuna Santo Domingo de acuerdo con la norma INEN 1108:2020.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Valorar la fuente de agua empleando métodos físicos químicos y microbiológicos para la determinación del tren de tratamiento del agua.
- Realizar una propuesta en la que se involucre equipos y recursos existentes en la comuna con la finalidad de que esta guarde la mejor relación calidad - precio.
- Esquematizar el diseño propuesto empleando el software AutoCAD 3D para la evaluación de la distribución de la planta.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Derecho al agua potable

El acceso al agua potable es un derecho humano concedido por la Asamblea General de las Naciones Unidas el 28 de julio del 2010 según la resolución 64/292. En este documento el artículo 1 menciona: “Es un derecho humano esencial el derecho al agua potable y el saneamiento para el disfrute de la vida”. (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2010).

En Ecuador el 31 de julio del 2014 se aprobó la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, donde se hace mención en el artículo 4 literal e y f: “Es un derecho humano el acceso al agua” y “El estado garantiza el acceso equitativo al agua”. (Asamblea Nacional del Ecuador , 2014)

1.4.2 Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son aquellos volúmenes de agua que se encuentran en los acuíferos. El agua de pozo es aquella que se obtiene de un acuífero mediante la introducción de un tubo o cañería de forma vertical, realizando un agujero o

túnel en la tierra hasta encontrar la reserva de agua. (Global Water Partnership South América, 2011)

1.4.2.1 Normativa sobre agua de consumo humano

En Ecuador la norma INEN 1108:2020 rige la calidad de agua para consumo humano. Se define el agua potable como aquella que luego de pasar por algún tratamiento posee las características químicas, físicas y microbiológicas que garantizan que este cualificada para el consumo humano. Se detallan los parámetros máximos permitidos:

Tabla 1.1 Parámetros importantes de la Norma INEN 1108

Parámetro	Valor máximo
Dureza total	500 mg/L
Cloro libre residual	1.5 mg/L
Turbiedad	5 NTU
Nitratos	50 mg/L
Nitritos	3 mg/L
Fluoruros	1.5 mg/L
Cobre	2 mg/L

Fuente: (INEN, 2020)

Los parámetros microbiológicos indican que no deben existir *cryptosporidium ni giardia lamblia*, además de no observarse colonias de coliformes fecales en filtración por membrana. (INEN, 2020)

1.4.3 Potabilización de agua

Una planta potabilizadora de agua es una instalación que mediante operaciones unitarias permite eliminar o reducir drásticamente agentes microbiológicos (microorganismos o patógenos) y fisicoquímicos (durezas, metales, sales, etc.). (Acuatécnica S.A.S, 2018)

1.4.3.1 Agentes microbiológicos

El agua de pozo contiene naturalmente microorganismos que pueden provenir de vertidos humanos, vertidos industriales o de arrastre del suelo

a los alrededores. Entre los tipos de microorganismos usuales están los virus, bacterias y protozoarios. Si estos microorganismos se encuentran en grandes proporciones pueden causar enfermedades como: fiebre tifoidea (*Salmonella*), disentería (*Shigella*), infección pulmonar (*Legionella*), hepatitis A (virus por contaminación fecal), infecciones intestinales graves (*Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum*), (Castillo, 2021)

1.4.3.2 Agentes fisicoquímicos

Son efectos que se encuentran en los alrededores que influyen en el estado del agua. Algunos de los parámetros fisicoquímicos que se deben analizar y considerar para determinar si el agua es apta para consumo humano son: pH, conductividad, acidez, alcalinidad, dureza, hierro, manganeso, nitrógeno, fosforo, turbidez y sólidos suspendidos entre los más importantes. (Sierra, 2011)

1.4.4 Planta potabilizadora de agua

Una planta potabilizadora contiene generalmente: punto de captación de agua, desarenador, bomba de baja, cámara de mezcla, decantador, filtro, desinfección, bomba de alta y punto de control final. (Diseprosa, Diseños y proyectos residuales, 2021).

Existen diversos tipos de plantas potabilizadoras de agua dependiendo del tratamiento que use como: plantas de ciclo completo, plantas de filtración en múltiples etapas, plantas de filtración directa, planta de filtración en línea, planta compacta, planta convencional, entre otros. (Acuatécnica S.A.S, 2016)

1.4.4.1 Planta potabilizadora convencional de agua

Una planta potabilizadora convencional o por gravedad consiste en coagulación, floculación, sedimentación de sólidos o lodos, filtración y desinfección; esto para eliminar olor, turbidez, color, durezas y microorganismos. (Acuatécnica S.A.S, 2018)

Algunas de las ventajas de las plantas potabilizadoras de agua convencionales es que son simples y rentables por su bajo costo, permiten obtener agua clarificada y desinfectada luego del proceso de filtración, se pueden implementar sobre un tanque de almacenamiento.

A pesar de que se requiere productos químicos para la coagulación y floculación, la dosificación y mantenimiento son procesos sencillos. (SPENA GROUP, 2016)

1.4.4.1.1 Coagulación

Consiste en agrupar las partículas insolubles que presenta el agua para facilitar su sedimentación mediante el uso de productos químicos, el más usado es el policloruro de aluminio. Si el agua presenta metales pesados será necesario el uso de agentes quelantes para desestabilizar la carga de los metales existentes. (Mazile & Spuhler, 2009)

1.4.4.1.2 Floculación

Consiste en la agitación o mezcla de las partículas suspendidas sin romperlas para promover la formación de coloides, el floculante más usado es la sílice. Se forma un lodo rico en sales y minerales que puede usarse como fertilizante agrícola. (Mazile & Spuhler, 2009)

1.4.4.1.3 Sedimentación de sólidos

La sedimentación consiste en el depósito de material sólido en el fondo de una superficie, para plantas potabilizadoras con poblaciones entre 2500 y 6000 habitantes y caudales de alimentación pequeños se puede usar un sedimentador laminar. (Hernández & Corredor, 2017)

1.4.4.1.4 Desinfección

Consiste en la aplicación de sustancias que eliminen la carga microbiológica como bacterias y virus, el más usado es el hipoclorito

de sodio. Para esta etapa también se pueden usar filtros rápidos que atrapen las impurezas y desinfecten el agua. (Xavier, 2010)

1.4.4.1.5 Filtros de arena

Los filtros de arena son una alternativa económica para disminuir la dureza y organismos patógenos presentes en aguas subterráneas. Los filtros lentos de arena son una analogía del fenómeno ocurrido en la profundidad de la corteza terrestre, donde el agua se permeabiliza entre las capas de tierra. Entre sus ventajas esta su bajo precio de implementación y mantenimiento; además de su estilo natural.

Los filtros de arena están compuestos por grava, una capa de arena, un canal que promueve el flujo de agua y mallas filtrantes para mejorar el proceso de clarificación y hacer fácil el mantenimiento. Los filtros de arena están presentes en las plantas potabilizadoras convencionales de agua como pretratamiento y a continuación el proceso de desinfección. (Murtha, Libanio, & Heller, 2016)

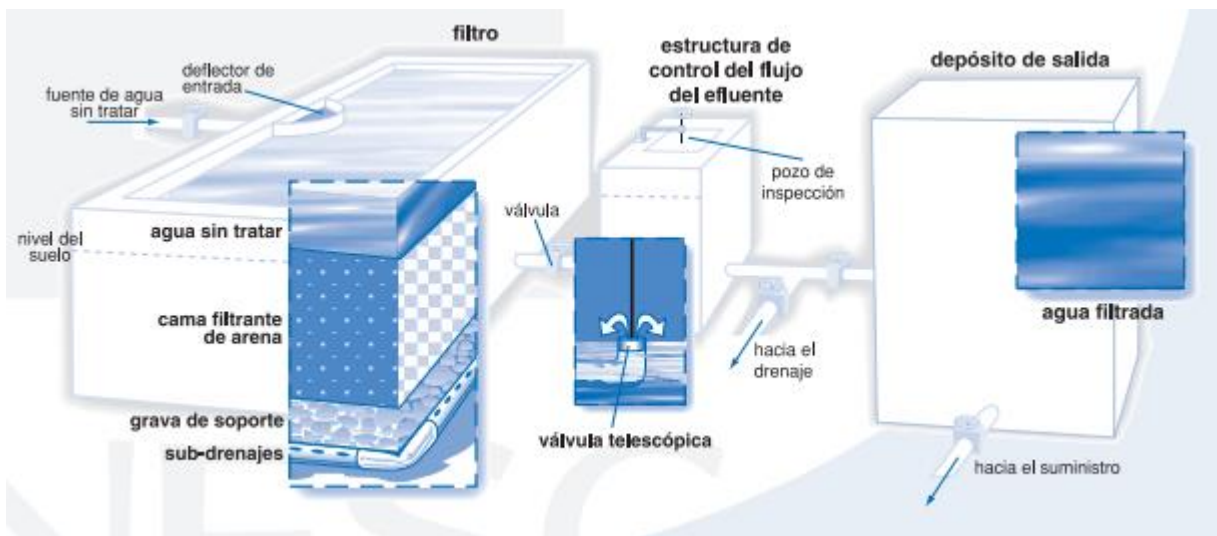


Figura 1.1. Filtro de arena

Fuente: NESCS, 1995

1.4.4.1.6 Torre de aireación

Una torre de aireación es un equipo que permite adsorber minerales especialmente el hierro y manganeso presentes en el agua. En estos

equipos el agua cruda proveniente de acuíferos o pozos se pone en contacto con las corrientes de aire, esto permite aumentar la concentración de oxígeno, eliminar el metano (CH₄), olores existentes por la presencia de sulfuro de hidrógeno y otros compuestos orgánicos volátiles (COV).

Estos equipos presentan bandejas en donde se ponen compuestos que sirven como medios filtrantes. El coque es usado con frecuencia en bandejas con agujeros que permiten crear superficies de contacto entre 0.5 y 2 m² usando un volumen de agua de 100m³, con espesores entre 0.05 y 0.15 m.

El agua pasa entre las partículas del medio filtrante ubicado en las bandejas ganando oxígeno. Las partículas insolubles de hierro y manganeso se quedan impregnadas en el compuesto adsorbente (coque) produciendo su oxidación. (Med, 2015)

1.4.5 Criterios de diseño

1.4.5.1 Población

La población del cantón Simón Bolívar según el último censo realizado en el año 2010 por INEC es de 25 483 habitantes, existiendo 13 270 hombres y 12 213 mujeres. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2019)

Tabla 1.2. Distribución de población en el cantón

Zona	Zona Urbana		Zona Rural	
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
Cantidad	3 636	3 559	9 818	8 469
Total	7 195		18 288	

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Simón Bolívar

La comuna Santo Domingo de Guzmán ubicada en la zona rural del cantón cuenta con 3 000 habitantes, esto considerando una tasa de crecimiento poblacional del 2.48 estimado por GADM. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Simón Bolívar, 2014)

Para el diseño teórico se debe considerar la población a la que se abastecerá de agua potable cuando opere la planta. Es necesario prever el crecimiento poblacional que implica el aumento de casas que usarán el servicio junto con aspectos de incidencia como tuberías, equipos de bombeo, sumistros, caudales, etc. (Universidad De Piura)

$$P_D = P_A(1 + r)^t \quad (1)$$

P_D = Población de diseño

P_A = Población actual

r = Índice de crecimiento poblacional anual

t = Período de diseño (años)

1.4.5.1.1 Clima

La temperatura del ambiente y condiciones climáticas como índice de humedad, velocidad del viento, presión atmosférica, entre otros influyen en el funcionamiento de equipos.

Tabla 1.3 Información climática de la comuna

Parámetro	Características
Clima	Tropical fresco
Temperatura promedio	23 °C
Superficie	Plana
Altura	45 msnm
Humedad	60 %
Precipitación promedio anual	500 mm

Fuente: (EcuRed, 2019)

1.4.5.2 Turbidez

La turbidez que presenta el agua es un parámetro importante para la construcción de una planta potabilizadora de agua. El rango máximo establecido es de 5 NTU para agua de consumo humano. (INEN, 2020)

El rango de turbidez que presenta el agua ayuda a definir los equipos necesarios para la potabilización del agua:

Tabla 1.4 Procesos usados según turbiedad del agua

Turbidez (rango en NTU)	Procesos utilizados
≤ 10	Mezcla y filtros rápidos
$10 \leq \text{Turbidez} \leq 250$	Floculador hidráulico, decantador de alta tasa, mezcla y filtros rápidos.
Turbidez ≥ 250	Presedimentador, floculador hidráulico, decantador de alta tasa, mezcla y filtros rápidos

Fuente: (Plantas de tratamiento de agua potable convencional. Filtro gravitacional, 2020)

1.4.5.3 Hierro y manganeso

El hierro y manganeso son metales que se encuentran en el agua y causan problemas estéticos y de sabor metálico al agua. Estos compuestos deben ser eliminados porque causan problemas de corrosión en tuberías, provocan lavado de ropa ineficiente y un mal aspecto al agua.

La forma más eficiente de eliminarlos es usando el método de oxidación usando dióxido de cloro (ClO_2), permanganato de potasio (KMnO_4), o incluso ozono (O_3). (Orellana, 2019)

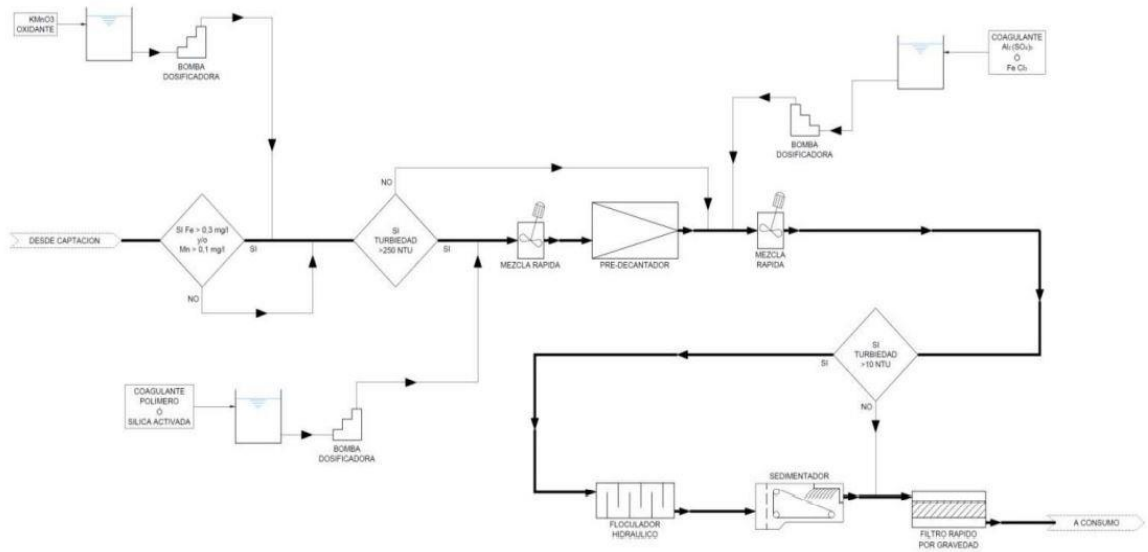


Figura 1.2. Diagrama de procesos de planta convencional

Fuente: (Orellana, 2019)

1.4.5.4 Carga biológica

La presencia de microorganismos patógenos en fuentes de aguas incide en gran manera en la etapa de desinfección, ya que lo que se quiere obtener es agua potable para consumo humano.

Una de las formas más usuales de desinfectar el agua es usando hipoclorito de sodio o calcio, filtros rápidos, cloraminas, lámparas de luz UV, ozono, dióxido de cloro (ClO₂), carbón activado, entre otros compuestos que permiten eliminar microorganismos que perjudican la salud.

Dependiendo del tipo de compuesto usado para desinfección variará el tiempo de contacto o dosificación junto con los equipos requeridos como bombas, mezcladores, etc. (Plantas de tratamiento de agua potable convencional. Filtro gravitacional, 2020)

Tabla 1.5 Calidad bacteriológica respecto a la presencia de coliformes

CLASIFICACIÓN	NMP/100 ml de BACTERIAS COLIFORMES
a. Exige solo tratamiento de desinfección.	0 – 50
b. Exige métodos convencionales de tratamiento.	50 – 5 000
c. Contaminación intensa que obliga a tratamientos más activos.	5 000 – 50 000
d. Contaminación muy intensa que hace inaceptable el agua a menos que se recurra a tratamientos especiales. Estas fuentes se utilizarán solo en casos extremos.	Más de 50 000

Fuente: (INEN, 2014)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se detallan las diferentes alternativas que solucionan el problema que abarca nuestro trabajo de investigación. Teniendo presente que la población de la comuna Santo Domingo de Guzmán, cantón Simón Bolívar no tiene acceso de agua potable en sus hogares.

Se discutieron varias ideas para solución como: dotación de sistemas caseros de purificación de agua para cada hogar a 10 años plazos, instalación de filtros orgánicos granulares y un diseño de planta potabilizadora de agua.

En base a los criterios de rentabilidad y efectividad a corto y largo plazo se optó por el diseño de una planta potabilizadora de agua. Esta opción tiene un gran impacto y un nivel medio de dificultad. El diseño de la planta convencional potabilizadora de agua incluyó el modelo teórico de la planta, dimensionamiento usando el software AutoCAD 2D y un análisis económico preliminar para conocer el monto de inversión al implementarla.

2.1 Diseño teórico

2.1.1 Recolección de información

Como primer paso para la ejecución del diseño teórico de la planta potabilizadora de agua se dio lugar a la recolección de información existente acerca del pozo, tuberías y bombas con que se cuenta en el sector. La información fue proporcionada por la jefatura de agua del cantón.

Tabla 2.1. Información sobre pozo y bomba de comuna

ESTRUCTURAS DE DISEÑO	CARACTERÍSTICAS
Bomba Sumergible	Profundidad del pozo: 30 m Operación máx.: 90 gpm Operación min: 35 gpm

	Potencia: 5HP
Tanque elevado	El tanque elevado distribuye agua sin tratar a toda la comuna, capacidad: 95 m ³ Área de terreno: 150 m ²
Sistema de tuberías	Existen dos diámetros de tuberías, uno de 90 mm y otro de 75 mm, con un recorrido de 5308 m.

Fuente: Jefe del departamento de agua del Cantón

En la figura 2.1 se observa la imagen del terreno donde se ubica el pozo con 30m de profundidad, el tanque elevado donde se almacena el agua antes de su distribución y el cuarto de equipos eléctricos. El espacio está delimitado por una valla metálica.



Figura 2.1. Terreno, pozo y tanque de la comuna

En la figura 2.2 se muestra en color verde la red principal de agua con un diámetro de 90mm y en color rojo el tramo de tubería que posee un diámetro de 75mm. Las líneas en color celeste muestran la tubería secundaria que va desde la principal a cada hogar.

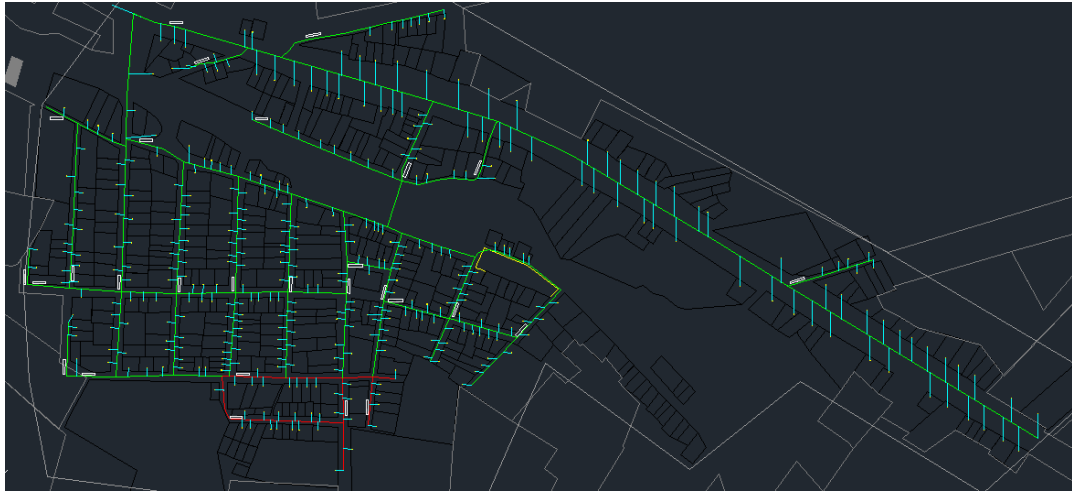


Figura 2.2. Distribución de tuberías en la comuna

Fuente: Villagómez, 2022

2.1.2 Toma de muestra

Se realizó la recolección de 4 muestras de agua provenientes del pozo, de las cuales se hacen muestras madres para su posterior evaluación. Estas se tomaron con una diferencia entre muestreo de 1 semana. Los analitos se sometieron a ensayos para conocer sus características fisicoquímicas y microbiológicas.

Las muestras para los parámetros fisicoquímicos se tomaron siguiendo la metodología sugerida por las normas NTE INEN-ISO 5667-1, NTE INEN-ISO 5667-3 e ISO 5667-5. Estas dan indicaciones sobre la preparación de envases, instrumentos necesarios y la forma correcta para el transporte y preservación hasta realizar las pruebas. Las muestras permanecieron a bajas temperaturas para preservar su contenido hasta la realización de los análisis. (Ojeda, 2015)



Figura 2.3. Recolección de muestra para análisis fisicoquímico

Las muestras para los análisis microbiológicos se tomaron siguiendo las recomendaciones mencionadas en la norma NTE INEN-ISO 19458. Preservando la inocuidad, frescura y calidad de la muestra hasta realizar los análisis.



Figura 2.4. Recolección de muestra para análisis microbiológico

2.2 Evaluación de parámetros

2.2.1 Parámetros fisicoquímicos

Se empleó un fotómetro Marca HANNA serie HI83325 (HANNA Instr.,2022), para la evaluación de los parámetros fisicoquímicos: pH, alcalinidad, hierro,

manganeso, sílice, dureza total, cloruros, cloro libre, cloro total. Este equipo permitió medir diferentes parámetros usando diferentes reactivos y accesorios según el análisis a realizar.



Figura 2.5. Equipo HANNA serie HI83325

Dureza total – Rango alto

La dureza total de rango alto se realizó usando el equipo HANNA serie HI83325 seleccionando el método “Dureza total HR” en el menú. Se usó una muestra de 0.5 mL que se colocó en el vial. Se agregó 0.5 mL del reactivo indicador de dureza HI 93735IND-0. Se llenó el frasco con un cuentagotas hasta completar 10 mL del reactivo “Dureza rango alto A HI 93735A-HR”. Se añadió dos gotas del reactivo solución tampón “Dureza B HI 93735B-0” y se agitó. Se procedió a encerrar y se agregó el reactivo de fijación “HI 93735C-0”. Al presionar el botón “Read” se mostró la dureza que poseía la muestra en mg/L de carbonato de calcio (CaCO_3)



Figura 2.6. Medición de dureza total

Cloruros

Se determinó usando el método “Cloruro” en el equipo HANNA. Se llenó un frasco (N.º 1) con 10 mL de agua desionizada (hasta la marca). Luego se llenó un frasco (N.º 2) con 10 mL de la muestra (hasta la marca), se agregó 0.5 mL de reactivo Cloruro A HI 93753A-0” en ambos frascos. Se agitaron, el frasco Nº1 se usó para encerrar y el frasco Nº2 para realizar la medición. Se observaron los resultados de la cantidad de cloro presente en la muestra de agua en mg/L de cloruro (Cl^-)

Cloro total

El cloro total se determinó seleccionando el método “Cloro Total” en el equipo HANNA serie HI83325. Se llenó un frasco con 10 mL de muestra no reaccionada, se colocó la tapa y se procedió a encerrar. Se añadió 1 paquete de reactivo “Cloro total HI 93711-0”, se agitó y se realizó la medición. Se observó la cantidad de cloro total en mg/L de cloro (Cl_2).



Figura 2.7. Medición de cloro total

Hierro

Se usó el método “Hierro HR” en el menú del equipo HANNA serie HI83325. Se llenó la cubeta con 10 mL de la muestra de agua no reaccionada. Luego se encerró y se agregó el reactivo de hierro rango alto “HI 93721-0”. Se procedió a realizar la medición de la muestra, mostrando la cantidad de hierro presente en mg/L de hierro (Fe).



Figura 2.8. Medición de hierro

Manganeso

Se usó el método “Manganeso” del equipo HANNA serie HI83325. Se llenó la cubeta con 10 mL de la muestra de agua no reaccionada y se procedió a encerrar. Luego se agregó el reactivo de manganeso rango alto A “HI 93709A-0”, se agitó y luego se agregó el reactivo manganeso rango alto B “HI93709B-0”. Se realizó la medición mostrando la cantidad de manganeso presente en mg/L de manganeso (Mn).

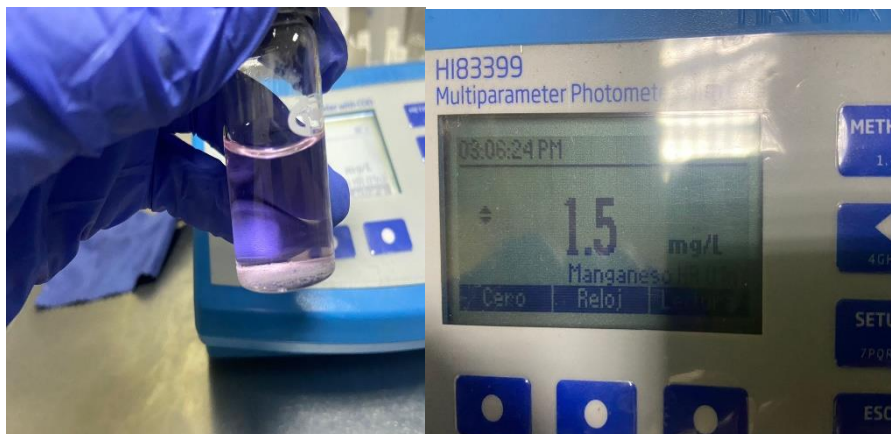


Figura 2.9. Medición de manganeso

Potencial de Hidrógeno

Se seleccionó el método pH del menú del equipo HANNA serie HI83325. Se usó 10 mL de la muestra de agua no reaccionada en un vial se encerró para luego

agregar 5 gotas del reactivo indicador “HI 93710-0”. Luego de realizar la medición el equipo mostró el resultado de pH de la muestra.



Figura 2.100. Medición de pH

Sílice

Se usó el método “Sílice HR” en el equipo HANNA serie HI83325. Además, una muestra de 10 mL no reaccionada, se encero y luego se añadió un paquete de reactivo sílice de rango alto A “HI 96770A-0”, se agitó, se añadió un paquete de reactivo sílice de rango alto B “HI 96770B-0” y se agitó vigorosamente. Se esperó 10 minutos y se agregó el reactivo sílice de rango alto C “HI 96770C-0”, se realizó la medición y se mostró el resultado de la concentración presente en mg/L de sílice en forma de SiO_2 .

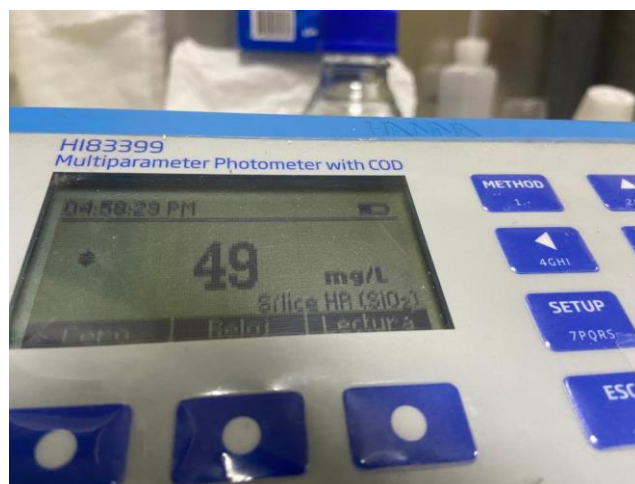


Figura 2.111. Medición de sílice en forma de SiO_2

Para los parámetros de salinidad y turbidez se utilizaron equipos de mediciones portátiles a continuación descritos:

Turbidez

Se hizo la medición de la turbidez calibrando el equipo SPER SCIENTIFIC 860040 Turbidity Meter. Se usó una muestra de 10 mL en un vial (frasco para muestra), se agitó la botella para que se mezcle de forma completa. Se colocó el vial en la cámara de muestra y se presionó el botón PRUEBA/CAL que mostró la turbidez de la muestra en NTU.



Figura 22.12 Medición de turbidez

Salinidad

Se necesitó 50 mL de muestra en un vaso precipitado que fue esterilizado anteriormente. Se enjuagó 2 veces con el agua de la muestra para eliminar residuos. Luego se usó el medidor portátil de salinidad introduciéndolo en la muestra, se esperó hasta que la medición se estabilice y se procedió a medir en ppt de salinidad.



Figura 2.13 Medición de salinidad

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos realizados en un laboratorio privado se usó el método que se detalla a continuación:

Tabla 2.1 Descripción de métodos usados en análisis fisicoquímicos

Parámetro	Método
Demanda química de oxígeno	PE/AL/05 Standard Methods Ed.23.2017 5220D
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	PE/AL/28 Standard Methods Ed.23.2017 5210B HACH, Methods 8166
Nitritos	PE-AL-41 Standard Methods Ed.23.2017 2540 D
Nitratos	PE-AL-40 Standard Methods Ed.23.2017 5540 C
Sulfatos	PE/AL/25 Standard Methods Ed. 23.2017 4500 E SO4
Cobre	PE/AL/17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994

Fuente: Laboratorio Labcestta

2.2.2 Parámetros microbiológicos

Con respecto a los parámetros microbiológicos: *Escherichia Coli*, *Coliformes totales* y *Coliformes fecales*, al no ser ensayos pertenecientes al área fisicoquímica, se hace uso de un laboratorio privado acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SEA). (Anexo 1)

Para la realización de los análisis en el laboratorio, se proporcionó una muestra de 25 ml en un envase estéril (envase para pruebas de orina). La muestra fue tomada unos días antes en un punto cercano a la ubicación del pozo y conservada a bajas temperaturas. Los resultados fueron proporcionados luego de 8 días laborables.

Tabla 2.2. Descripción de método usados en análisis microbiológico

Parámetro	Método
Escherichia Coli	PEE-GQM-MB-76
Coliformes Totales	PEE-GQM-MB-76
Coliformes Fecales	PEE-GQM-MB-76

Fuente: Laboratorio Químico del Grupo Marcos

2.3 Diseño de planta por modelo convencional

El diagrama mostrado en la figura 1.2 permite la selección del tren de tratamiento basándose en los parámetros de turbidez, hierro y manganeso, se siguió esta selección como diseño preliminar. El cual sugiere que para una turbiedad menor a 10 NTU el proceso a elegir se basa en la mezcla y filtros rápidos, pero al tener una turbiedad en la muestra 1 de 0.00 NTU y en la muestra 2 con 0.04 NTU, los cuales están muy por debajo de límite máximo permisible que indica la norma INEN:1108. El diseño de la planta de tratamiento convencional se enfocó en disminuir la carga bacteriológica, hierro y manganeso que son los parámetros que están afectando a la calidad de agua y a la salud de los habitantes.

El sistema convencional elegido en base a los parámetros que afectan negativamente a la calidad fisicoquímica como microbiológica del agua, consta de 3 equipos principales:

- a. Torre de aireación
- b. Filtro lento convencional (de arena descendente)
- c. Tanque de cloración

Como primer parámetro se calculó el caudal de diseño, el cual es la base del dimensionamiento de los equipos.

2.3.1 Caudal de diseño

2.3.1.1 Población futura

Para calcular la población de diseño se utiliza el método geométrico descrito en la sección 1.1.5.1 y considerando un crecimiento anual del 2.48% y un periodo de tiempo de 20 años donde:

$$P_F = P_A(1 + r)^t \quad (2)$$
$$P_F = 3000(1 + 0.0248)^{20} = 4897 \text{ habitantes}$$

2.3.1.2 Dotaciones

Para conocer los caudales de diseño se debe establecer las dotaciones de aguas que cumplen con las necesidades de la comunidad. Según la tabla N.º 1 del apéndice B.

Empleando las recomendaciones de dotación y considerando datos proporcionados por el representante del departamento del Agua (Gilson Acosta), acerca de los hábitos de consumo de agua de la comuna de 144 litros de agua por habitante y para un clima cálido se elige para el caudal de diseño una dotación media futura de 170 litros de agua diarios por habitante.

2.3.1.3 Consumos de agua

Se calcula lo consumo de agua considerando la variación del flujo de agua con respecto al tiempo.

Caudal medio por día

$$Q_{medio} = \frac{f \cdot P_F \cdot D}{86400} \quad (3)$$

Donde:

$$f = \text{Factor fuga} = 1.20$$

$$P_F = \text{poblacion futura} = 4897 \text{ habitantes}$$

$$D = \text{dotacion media futura} = 170 \text{ L/dia}$$

$$Q_{medio} = \frac{1.20 \cdot 4897 \cdot 170}{86400} = 11.56 \text{ L/s}$$

Caudal máximo por día

$$Q_{maxDia} = KMD \cdot Q_{medio} \quad (4)$$

Donde:

$$KMD = \text{coeficiente de variacion de consumo diario} = 1.3$$

$$Q_{maxDia} = 1.3 * 11.56 \frac{L}{S} = 15.03 L/S$$

Caudal máximo horario

$$Q_{maxHora} = KMH * Q_{medio} \quad (5)$$

Donde:

$$KMH = \text{coeficiente de variacion de consumo Hora} = 2$$

$$Q_{maxHora} = 2,5 * 11.56 \frac{L}{S} = 28.9 L/s$$

2.3.1.4 Caudal de abastecimiento.

Para calcular el flujo de abastecimiento se debe tomar en cuenta que el este debe ser 2 veces mínimo que el Q_{medio} , por lo que se tiene:

$$Q_{Abastecimiento} = 2 * Q_{medio} \quad (6)$$

$$Q_{Abastecimiento} = 23.12 L/s$$

2.3.1.5 Caudal de captación de agua

Este caudal debe contemplar mínimo 1.20 veces el caudal mínimo diario

$$Q_{Captacion} = 1.20 * Q_{medio} \quad (7)$$

$$Q_{Captacion} = 13.87 L/s$$

2.3.1.6 Caudal de bombeo

Este caudal se calcula en basa en el $Q_{maxDiario}$ y las horas de trabajo o bombeo, es el caudal min que debe cumplir para satisfacer la demanda de agua.

$$Q_{Bombeo} = 1.05 * Q_{maxDia} * \left(\frac{24h}{N^{\circ} \text{horas bombeo por dia}} \right) \quad (8)$$

Donde:

Q_{Bombeo} = caudal de agua a conducción a bombeo

1.05 = coeficiente de bombeo

$$Q_{Bombeo} = 1.05 * 15.03 \frac{L}{s} * \left(\frac{24h}{24h} \right) = 15.78 L/s$$

2.3.1.7 Caudal de diseño

Una vez los diferentes flujos de agua con respecto al tiempo y tasa de crecimiento y Considerando el código de practica ecuatoriano CPE INEN 5, la capacidad de la planta potabilizadora debe ser 1.10 veces el $Q_{maxDiario}$

$$Q_{potable} = 1.10 * Q_{maxDia} \quad (9)$$

Donde:

$Q_{potable}$ = caudal de agua a potabilizar

1.10 = coeficiente de tratamiento

$$Q_{potable} = 1.10 * 15.03 \frac{L}{s} = 16.53 \frac{L}{s}$$

2.3.2 Torre de Aireación

Se considero normas de RAS 2000 (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico) y las norma CPE INEN 5 parte 9.

Características principales:

Para diseñar la torre de aireación se tiene en cuenta ciertas recomendaciones tomadas de la norma CPE INEN 5 parte 9.

- El material: Acero inoxidable
- Caudal de diseño = $16.53 \frac{L}{s} = 1428.19 m^3/dia$

- Carga hidráulica = $< 100 \frac{m^3}{m^2(dia)}$
- Número de bandejas = 5
- Altura de la torre= 2 m
- Espaciado entre bandejas= 0,45 m

2.3.2.1 Área total de bandejas

$$A_{totalbandejas} = \frac{Q_{potable}}{Carga\ hidráulica} \quad (10)$$

$$A_{totalbandejas} = \frac{1428.19m^3/dia}{100 \frac{m^3}{m^2(dia)}} = 14.28m^2$$

2.3.2.2 Área de cada bandeja

Teniendo el área total de bandejas y considerando un numero de bandejas = 5 según la CPE INEN 5, que estipula un rango de bandejas entre 3- 5, se tiene:

$$A_{bandeja} = \frac{A_{totalbandejas}}{numero\ de\ bandejas} \quad (11)$$

$$A_{bandeja} = \frac{14.28m^2}{5} = 2.86 m^2$$

Como las bandejas serán cuadradas la longitud de cado lado será:

$$Longitud = \sqrt{A_{bandeja}} \quad (12)$$

$$Longitud = \sqrt{2.86 m^2} = 1.69 m \approx 1.70m$$

Confirmando que las dimensiones para el diseño no superen la carga hidráulica

$$Longitud = \sqrt{A_{bandeja}}$$

$$\sqrt{A_{bandeja}} = 1.70 \text{ m}$$

$$A_{bandeja} = 2.89 \text{ m}^2$$

$$A_{totalbandejas} = 2.89 \text{ m}^2 * 5 = 14.45 \text{ m}^2$$

$$Carga \text{ hidr\u00e1ulica} = \frac{Q_{potable}}{A_{totalbandejas}} = \frac{1428.19 \frac{\text{m}^3}{\text{d\u00eda}}}{14.45 \text{ m}^2} = 98.83 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d\u00eda}} < 100 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d\u00eda}}$$

2.3.2.3 Dise\u00f1o de orificios

Para los espacios entre orificios se considera orificios de 0.005 m y una separaci\u00f3n entre cada orificio de 0.025m

2.3.2.4 N\u00famero de orificios

$$N^{\circ} \text{ de orificios}(\text{Orificio}) + (N^{\circ} \text{ de orificios} + 1) * \text{espaciamiento} = \text{Longitud} \quad (13)$$

$$N^{\circ} \text{ de orificios}(0.005\text{m}) + (N^{\circ} \text{ de orificios} + 1) * 0.03\text{m} = 1.70\text{m}$$

$$N^{\circ} \text{ de orificios} = \frac{1.67\text{m}}{0.035 \text{ m}} = 47.71 \approx 48$$

2.3.2.5 Orificios en las columnas

$$N^{\circ} \text{ orificios de columnas} = \frac{1.69 - 0,03}{0.005 + 0.03} = 47,42 \approx 47$$

2.3.2.6 Orificios totales por bandeja

$$N^{\circ} \text{ totalAgu} = 48 * 47 = 2256 \text{ orificios} \quad (14)$$

2.3.2.7 Velocidad de salida del agua

Para calcular la velocidad con la que sale el agua por los orificios se debe primero calcular el área de los orificios:

$$A_{\text{orificios}} = \pi * \frac{D^2}{4} \quad (15)$$
$$A_{\text{orificios}} = \pi * \frac{(0.005)^2}{4} = 1.96 \times 10^{-5} m^2$$

2.3.2.8 Velocidad de flujo

$$V_{\text{salida}} = \frac{Q_{\text{potable}}}{A_{\text{orificios}} * N^{\circ} \text{totalOrificios}} \quad (16)$$
$$V_{\text{salida}} = \frac{\frac{0.01653 m^3}{s}}{1.96 \times 10^{-5} m^2 * 2256 \text{ orificios}} = 0.3738 \frac{m}{s}$$

2.3.3 Tuberías

Las tuberías para transportar el flujo de agua estas se pueden seleccionar de acorde al caudal de agua a tratar para este diseño se tiene un flujo de 16.53 L/s, por lo que se tiene una tubería de 5 pulgadas de diámetro. (Torres, 2018) con respecto al material de la tubería y accesorios se eligió PVC, indicado para agua potable y resistente a la corrosión.

2.3.4 Bomba de succión y descarga

Para seleccionar la bomba de succión y descarga hacia la torre de aireación se tomó en cuenta el sistema de referencia el cual es el nivel superficial del agua, así como las pérdidas totales de un 20% por accesorios para finalmente conocer la potencia hidráulica.

Datos empleados en el cálculo de la potencia hidráulica

$$Z_1 = 0m, \text{ esta altura desde la superficie del agua}$$

$Z_2 = 2.5 \text{ m}$, altura a que debe descargar la bomba

$P_1 = P_2 = 0$, representan la presión atmosférica

$\rho = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, densidad del agua

De donde:

$$P_h = \rho * Q_{potable} * g * h \quad (17)$$

$$P_h = 997 (0.01653)(9.8)(32.5) = 5249,01 \text{ W} = 5.24 \text{ KW} = \mathbf{6,85 \text{ HP}}$$

Considerando el 70% de eficiencia del motor se obtuvo:

$$\frac{6,85 \text{ HP}}{0.7} = \mathbf{9,78 \text{ HP}}$$

Por lo que para el caudal de diseño se requiere de una bomba de $\approx 10 \text{ HP}$

En base a estos criterios y haciendo uso de la curva de eficiencia de la bomba se eligió el modelo 6SR225G/100 con 7.5 kW y 10 de caballos de fuerza.

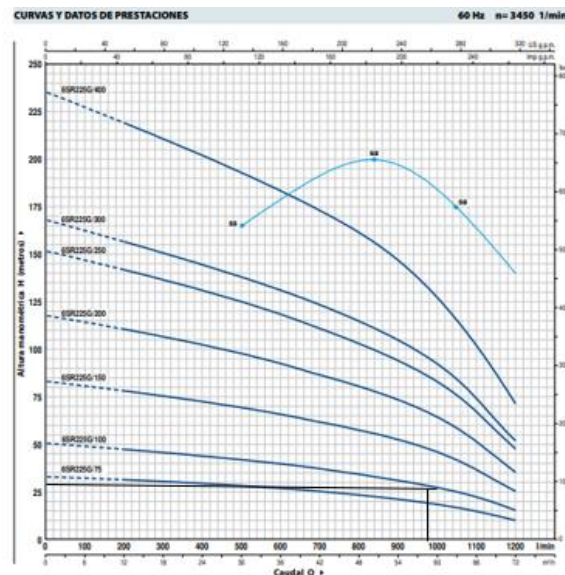


Figura 2.14 Curva de eficiencia de la bomba

Fuente: (Pedrollo S.p.A., 2013)

2.3.5 Filtro de Arena

2.3.4.1 Volumen del cajón recolector

Tiempo de retención en el vertedero = $t_{retención} = 3 \text{ min} = 180 \text{ s}$

Para caudales < 30 L/s ángulo 90°

$$\text{Volumen}_{\text{vertedero}} = Q_{\text{potable}} * t_{\text{retención}} \quad (18)$$

$$\text{Volumen}_{\text{vertedero}} = \frac{0.01653 \text{ m}^3}{\text{s}} * 180 \text{ s} = 2.97 \text{ m}^3$$

$$\text{Profundidad}_{\text{vertedero}} = h = \frac{\text{Volumen}_{\text{vertedero}}}{b * a}$$

Donde se asume los siguientes valores para ancho y longitud

$$a = \text{ancho} = 1.00 \text{ m}$$

$$b = \text{longitud} = 2.00 \text{ m}$$

$$h = \frac{2.97 \text{ m}^3}{2.00 \text{ m} * 1.00 \text{ m}} = 1.48 \text{ m}$$

Vertedero triangular

$$h_{\text{vertedero}} = \left(\frac{0.01653 \text{ m}^3}{1.40} \right)^{\frac{2}{5}} = 0.1694 \text{ m}$$

2.3.4.2 Área superficial

Para calcular el área superficial se consideró la velocidad de filtración, según (OPS.org, 2005) que para valores de coliformes fecales > 500 UFC/100 mL es de:

$$V_{filtración} = 0.6 \frac{m}{h}$$

Unidades por implementar: $N = 2$

$$Q_{potable} = 16.53 \frac{L}{s} = 59.51 \frac{m^3}{h}$$

$$Área_{superficial} = \frac{Q_{potable}}{V_{filtración}} = \frac{59.51 \frac{m^3}{h}}{0.6 \frac{m}{h}} = 99,18 m^2$$

Coefficiente mínimo de costo

$$K = \frac{2 * N}{N + 1} = 1.33$$

Para calcular el ancho y el largo de la unidad se

$$Ancho = \sqrt{\frac{Área_{superficial}}{K}} = 8.64 m$$

$$Largo = \sqrt{Área_{superficial} * K} = 11.48$$

Características de diseño a considerar según recomendaciones

- La velocidad de la tubería principal de recolección, así como la de los laterales son las mismas.
- Separación entre recolectores laterales: 1 m
- Diámetro de los orificios de los laterales: 6 mm
- Velocidad de drenaje ≤ 30 m/s
- Profundidad del filtro: 2 m
- Agua sobrenadante: 0.80 m

Cálculo del caudal que pasa por los orificios

Área de los orificios

$$A_{Orificios} = \pi * \frac{D^2}{4} \quad (19)$$

$$A_{Orificios} = \pi * \frac{(0.006m)^2}{4} = 0.000028m^2$$

Caudal – flujo de agua que sale por el recolector

$$Q_{orificios} = A_{orificios} * V_{agua} \quad (20)$$

$$Q_{orificios} = 0.000028m^2 * 0.2 \frac{m}{s} = 0.0000056 m^3/s$$

Medios filtrantes

El filtro lento de flujo descendente está compuesto por: una capa de grava, la cual actúa como cama y por arena greensand la cual realizara la acción filtrante principal. Se siguió recomendaciones de la norma CPE INEN 5 parte 9, con respecto a la altura que deben ocupar los medios filtrantes.

Tabla 2.3. Descripción de medios filtrantes

Medio filtrante	Características	Altura
Grava #3	Sirve como soporte para la arena de filtración, tamaño de grava: 25.4 mm – 2.36 m, densidad 2750 kg/m ³	0.20 m
Grava #2	Sirve como soporte para la arena de filtración, tamaño de grava: 9.5 mm – 1.8 mm, 1650 kg/m ³	0.15 m
Arena Greensand	Arena de filtración que coayuda a crear la capa biofilm – densidad 1362 kg/m ³	0.25 m

Dosificadora de cloro y tanque de contacto

En esta etapa de tratamiento terciario se consideró un sistema de desinfección por cloración con el cual se va a eliminar el residual bacteriológico que quedo del proceso de filtración lenta.

Para asegurar la inocuidad del agua y el cumplimiento de la norma INEN 1108, con un residual de cloro de hasta 1.5 ppm. Se aplico la ecuación del caudal relacionado con concentración y se obtuvo que para el caudal de diseño se requiere dosificar 0.89 litros por hora de cloro liquido al 10%.

Tabla 2.4 Cálculo de la dosificación de cloro

	UNIDADES	
	m3/día	GPM
TASA DE FLUJO	1428.19	262.00574
PPM RESIDUAL	1.5	
CONCENTRACION DE CLORO	10	%
	GPD	L/h
DOSIFICADORA CLORO	5.66	0.89

Una vez determinada la cantidad de cloro a dosificar se eligió la bomba dosificadora. Las bombas dosificadoras trabajan con su eficiencia al 50%, por lo que, al momento de seleccionar la bomba, se escogió una con un caudal 2 veces más grande que el requerido. El tanque de contacto es una cisterna de 20 m³.

Ancho: 3.5 m

Longitud: 3.80 m

Profundidad: 1.5 m

2.4 Análisis económico

2.4.1 Capcost

Haciendo uso del software Capcost se obtuvo un monto referencial del costo de los equipos usados en el diseño de la planta. Para la obtención de un valor aproximado aterrizado a los valores actuales se usó un CEPCI de 816 proporcionado por (Maxwell, 2022)

Se eligieron los equipos con las características detalladas a continuación:

Tabla 2.5 Descripción de equipos usados en capcost

Equipo	Características	Dimensiones
Torre de aireación	Type: Stainless Steel valve tray	Height: 2m Diameter: 1m
Filtro de arena	Type: Gravity	Area square: 90 m ²
Tanque de cloración	Type: Vessel horizontal	Length/height: 5m Diameter: 4m
Bomba	Type: Positive Displacement Power: 7.46 kW	

Fuente: Capcost

2.4.2 Costo de equipos económicos

Para la obtención de valores menores de inversión respecto al costo de los equipos necesarios para la implementación del diseño de la planta potabilizadora de agua, se consideraron cotizaciones realizadas en almacenes de equipos industriales y portales web. El precio de los reactivos necesarios para los equipos se cotizó según el consumo anual proyectado.

Cabe recalcar que los valores reales consideran materiales de construcción viables y económicos junto con el valor de implementos secundarios como tuberías, acoples y demás accesorios.

2.4.3 Mantenimiento

Los equipos propuestos para el diseño de la planta potabilizadora deben tener mantenimientos preventivos y programados que implica inversión para su preservación.

Al tener equipos con partes móviles y que tienen contacto con agua es necesario considerar el uso de desengrasantes y anticorrosivos. Esto permitirá mantener los equipos en óptimas condiciones y prolongar su vida útil.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Análisis fisicoquímico de la muestra de agua

En la estimación de los equipos necesarios para el desarrollo del diseño de la planta potabilizadora, fue necesario conocer las características fisicoquímicas que presenta el agua. Para que los resultados obtenidos en los análisis realizados en muestras de agua del pozo de la comuna Santo Domingo se muestren de forma clara, se colocaron los valores máximos estipulados por normas nacionales (INEN 1108), acuerdos ministeriales como la AM 097A y valores dictaminados por la OMS según el caso.

De esta forma se obtuvieron los siguientes resultados en los análisis de parámetros fisicoquímicos:

Tabla 3.1 Resultados de análisis fisicoquímicos

PARÁMETRO	RESULTADO Muestra 1	RESULTADO Muestra 2	LMP- NORMA INEN 1108:2020	AM 097 A	OMS
Dureza total (CaCO ₃)	630 ppm	808 ppm	-----	-----	180 ppm
Turbidez	0.00 NTU	0.01 NTU	5 NTU	-----	-----
Sólidos totales disueltos	401 ppm	414 ppm	-----	-----	600 ppm
pH	7	7	8	-----	-----
Salinidad	0,33 PPT	0,35 PPT			-----
Hierro	0.01 ppm	3,30 ppm	-----	1.00 ppm	-----
Manganeso	1.5 ppm	1,5 ppm	-----	-----	4.0 ppm
Sílice	49 ppm	49 ppm	-----	-----	-----
Cobre	-----	0.05	2,0 ppm	-----	-----
Cloro total	0.01 ppm	0.00 ppm	-----	-----	5 ppm
Cloruros	0.01 ppm	0.00 ppm	-----	-----	300 ppm
Sulfatos	-----	51 ppm	-----	500 ppm	-----
Nitratos	-----	0.91 ppm	50 ppm	-----	-----
Nitritos	-----	124 ppm	3,0 ppm	-----	-----
Demanda bioquímica de oxígeno	-----	78	-----	< 4 ppm	-----
Demanda Química de Oxígeno	-----	165	-----	<2 ppm	-----

Los gráficos mostrados a continuación presentan los valores comparativos entre los resultados obtenidos al analizar dos muestras de agua y el valor máximo permitido por la norma internacional (OMS) y normas locales (AM 097 A, norma INEN 1108) según corresponda.

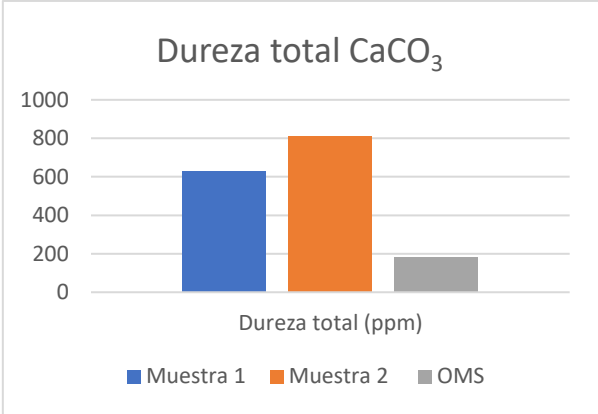


Figura 3.1. Gráfico de valores de dureza total

Los valores que se obtuvieron en el análisis de dureza total en ambas muestras superan el límite máximo permitido por la organización mundial de la salud, este valor fue considerado como uno de los parámetros a reducir con el sistema propuesto.

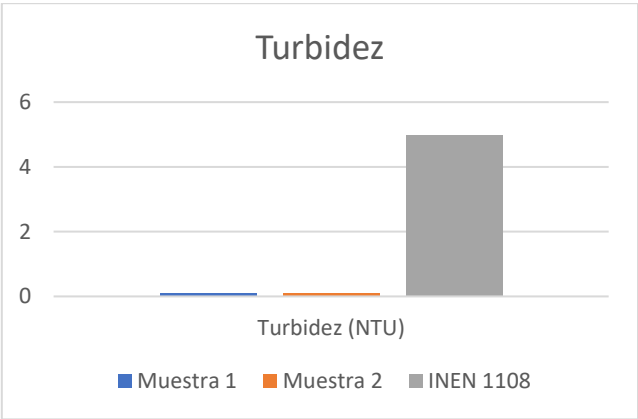


Figura 3.2. Gráfico de valores de turbidez

La norma INEN 1108:2020 contempla una turbidez máxima permisible de 5 NTU, con las caracterizaciones realizadas, los valores obtenidos no influyeron al momento de diseñar el sistema convencional potabilizador.

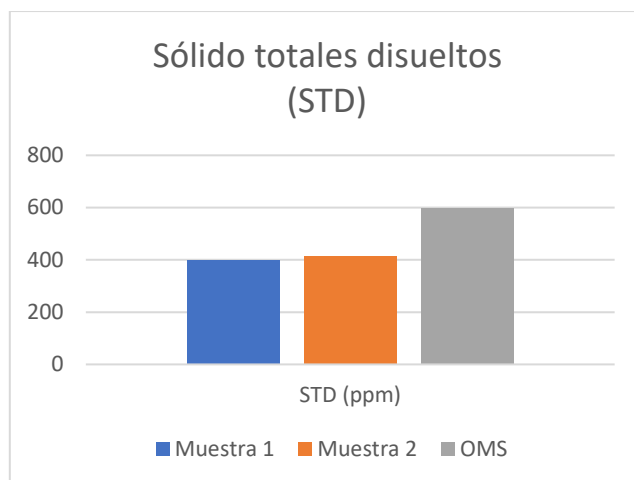


Figura 3.3. Gráfico de sólidos totales disueltos

Los sólidos totales disueltos son considerado contaminantes secundarios por lo que la OMS, indica una concentración de hasta 600 ppm en el agua potable. Las muestras analizadas no superaron el límite máximo permisible dispuesto por la norma internacional por lo que no se las considero relevantes para el diseño.

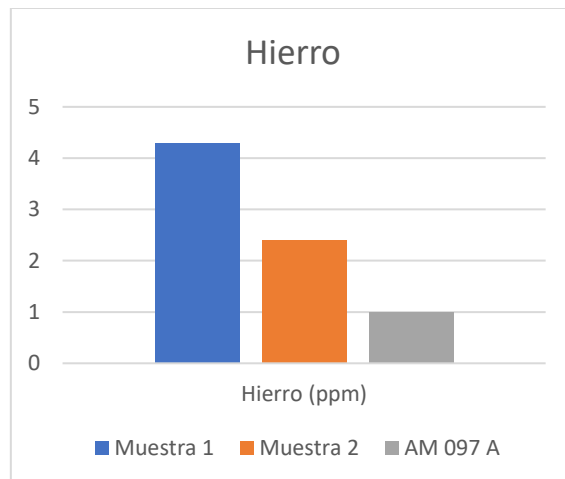


Figura 3.4. Gráfico de valores de hierro

Con respecto al metal hierro analizado en las muestras, se obtuvieron una concentración máxima de 3,38 ppm y una mínima 0,01 ppm, la norma INEN vigente no la contempla dentro de sus parámetros más sin embargo el acuerdo ministerial 097 A y la INEN 1108, segunda edición, indica que esta concentración no debe de superar 1 ppm, por lo que se lo consideró como otros de los parámetros que rigieron el diseño del tren de tratamiento.

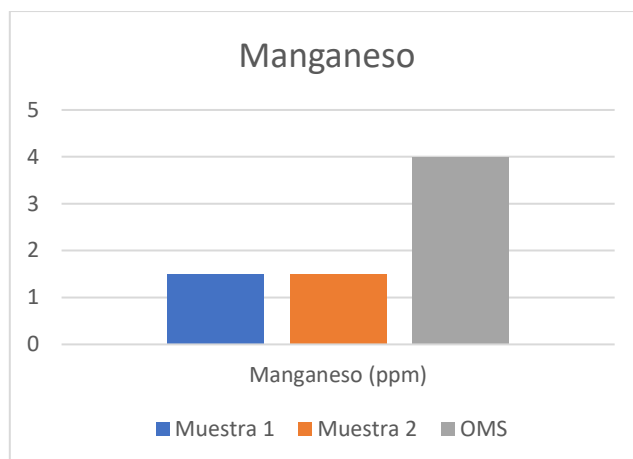


Figura 3.5. Gráfico de valores de manganeso

Al realizar la caracterización para el manganeso se encontraron concentraciones de 1,5 ppm en el agua de pozo de la comuna, valor que no superó la concentración máxima permisible establecida por la OMS. El manganeso es precursor de presencia de herrumbre por lo fue significativo en el tren de tratamiento.

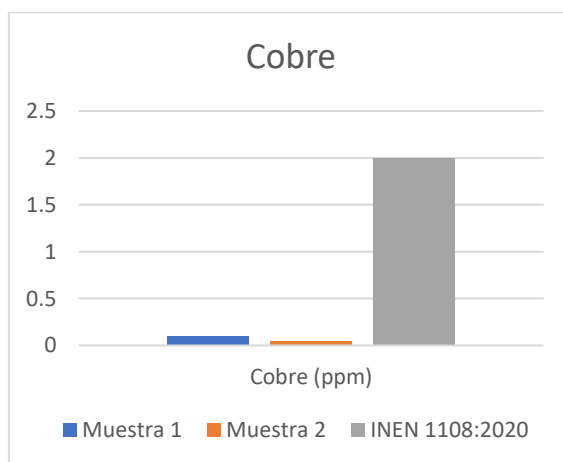


Figura 3.6. Gráfico de valores de cobre

El cobre fue uno de los parámetros para analizar, ya que al tratarse de un pozo ubicado en zona agricultora, su resultado no fue relevante al momento de establecer el sistema potabilizador, ya que la norma establece un LMP de hasta 2 ppm.

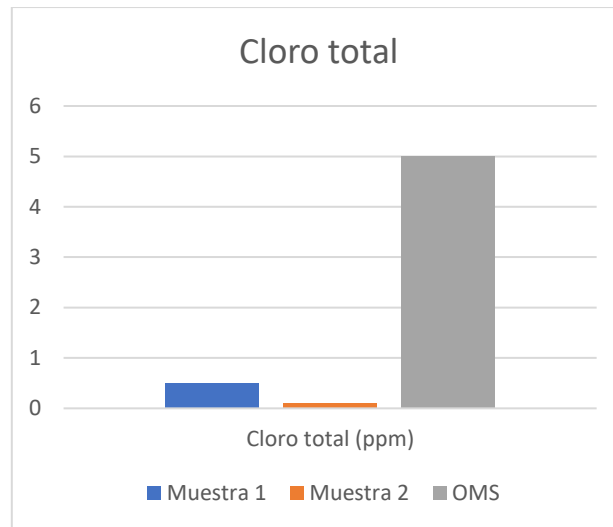


Figura 3.7. Gráfico de valores de cloro total

El cloro total muestra las concentraciones del cloro combinado y cloro residual en las muestras de agua. Para esta caracterización se obtuvieron valores cercanos a cero, por lo que no se los considero significativo como parámetro a reducir o eliminar.

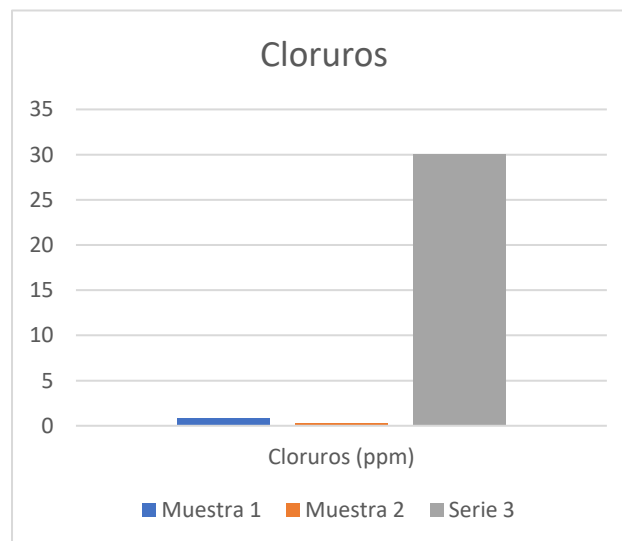


Figura 3.8. Gráfico de valores de cloruros

Según la caracterización realizada la presencia de cloruros en el agua no ocasiona ningún problema al momento de potabilizar el agua; ya que su concentración máxima de las 2 muestras analizadas fue de 0.01 ppm.

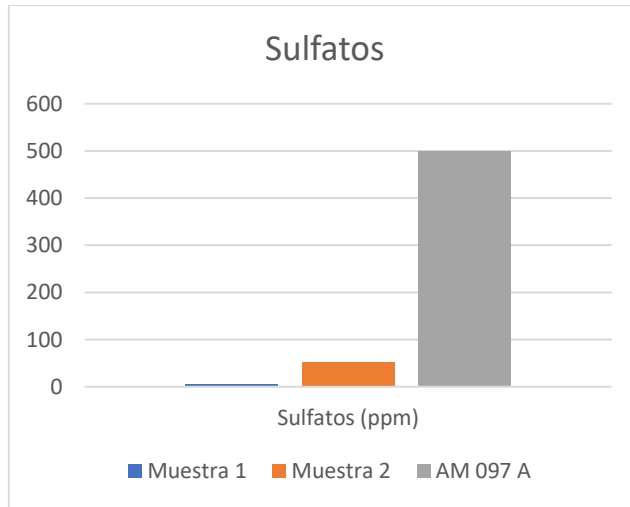


Figura 3.9. Gráfico de valores de sulfatos

La concentración de sulfatos encontrada en las muestras de agua fue de 51 ppm, este parámetro no está contemplado por las INEN 1108 vigente, pero si por el acuerdo ministerial, con un límite máximo permisible de hasta 500 ppm, valor el cual no representó significancia en el diseño.

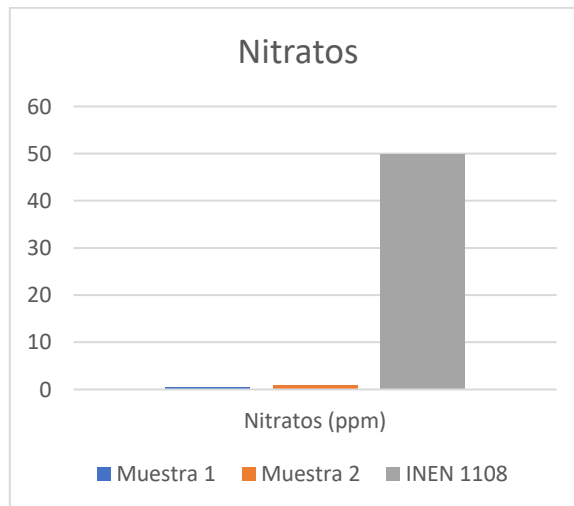


Figura 3.10. Gráfico de valores de nitratos

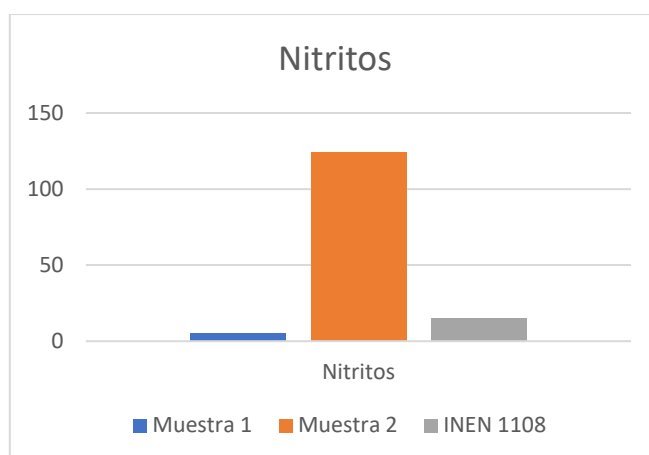


Figura 3.11. Gráficos de valores de nitritos

En las gráficas 3.10 y 3.11 se muestran las concentraciones de nitratos y nitritos, ambos fueron realizados en un laboratorio privado y acreditado. Con respecto a los nitratos, la concentración determinada no afecta a la calidad de agua; lo que no ocurre con los nitritos los cuales superan el límite máximo establecido por la INEN 11808 vigente, cuya concentración se tomó en cuenta para definir el tren de tratamiento.

3.2 Análisis microbiológico de la muestra de agua

Luego de realizar los análisis microbiológicos y compararlos con los valores de las normas INEN 1108:2020 y los valores establecidos por la Unión Europea, se tienen valores cercanos a los máximos establecidos en coliformes fecales y muy por encima para coliformes totales.

Tabla 3.2 Resultados de los análisis microbiológicos

PARÁMETRO	RESULTADO Muestra 1	LMP- NORMA INEN 1108:2020	Estándares de calidad Unión Europea UE
Escherichia Coli	180,0 NMP/100mL	-----	1 NMP/100mL
Coliformes Fecales	180,0 NMP/100mL	1,1 NMP/100 mL	200 NMP/100mL
Coliformes totales	7000,0 NMP/100mL	-----	2000 NMP/100mL

Fuente: Laboratorio Químico Grupo Marcos

La cantidad de coliformes totales que presentó la muestra de agua de pozo, se debe a la cercanía de la fuente de agua subterránea (pozo) con pozos sépticos ubicados en los alrededores. Los coliformes presentes en el agua serían la principal causa por la que

durante varios años la población que usa esta agua sufra de infecciones estomacales y problemas cutáneos.

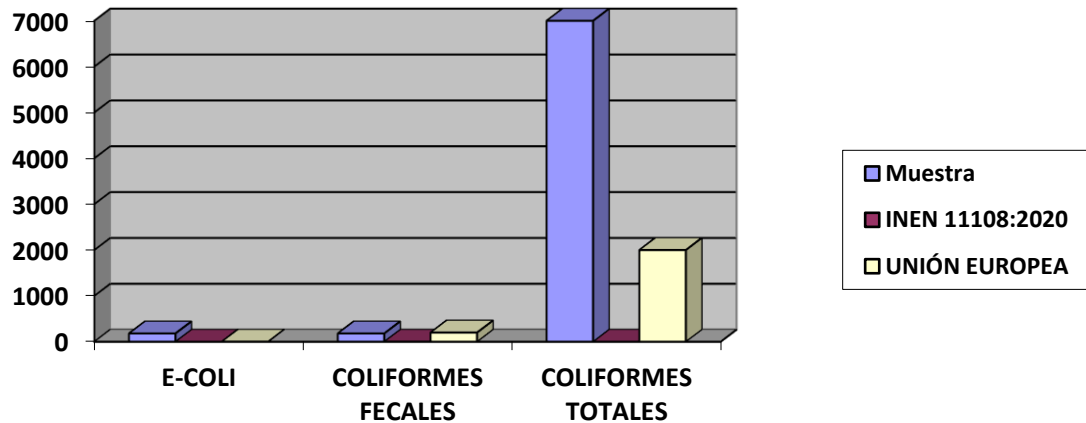


Figura 3.11 Gráfico de análisis microbiológicos

3.3 Equipos del diseño de la planta potabilizadora

Tomando en cuenta los parámetros que no respetan el LMP dispuesto por la normativa vigente, y considerando parámetros que afectan de manera indirecta la calidad de vida de los habitantes y que están contemplados por normas internacionales, se propuso y se diseñó como parte del tren de tratamiento los siguientes equipos:

Diseño: Torre de aireación

Se diseñó la torre de aireación para la reducción de hierro, manganeso, sulfuros, y disminución de DBO, considerando el caudal de diseño calculado en el ítem 2.3.1.7, se obtuvieron las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 3.3. Características de la torre de aireación

Caudal de diseño	16.53 L/s
Material	Acero inoxidable
Número de bandejas	5
Altura de la torre	2.5 m
Espaciado entre bandejas	0.45 m

Área de bandeja	2.86 m^2
Espacios entre orificios	0.025 m
Tamaño de los orificios	0.025 m
Numero de orificios por bandejas	2256 orificios
Velocidad de flujo	0.3738 m/s

TORRE DE AIREACIÓN (cm)

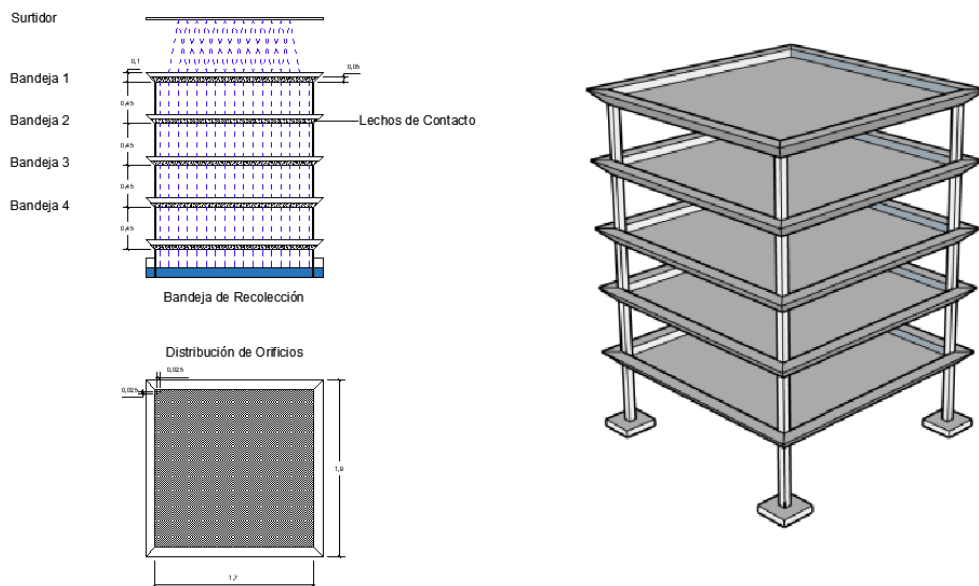


Figura 3.12 Torre de aireación vista 3D

Diseño: Filtro lento de arena flujo descendente

El filtro lento de arena es uno de los equipos principales del tren de tratamiento, el cual permite la reducción de la carga microbiológica, nitritos y cierta parte de sedimentos. Se consideró el caudal de diseño, donde a partir de este parámetro de diseño se obtuvo las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 3.4 Características del filtro de arena

Caudal de diseño	16.53 L/s
Material	<i>concreto</i>

Material filtrante	<i>arena verde</i>
Área superficial	99.18 m^2
Profundidad del filtro	2 m
Velocidad de filtración	0.6 m/h
Volumen del vertedero	2.97 m^3
Número de orificios de los colectores	2951 orificios
Velocidad de flujo de salida recolector	$0.0000056 \text{ m}^3/\text{s}$

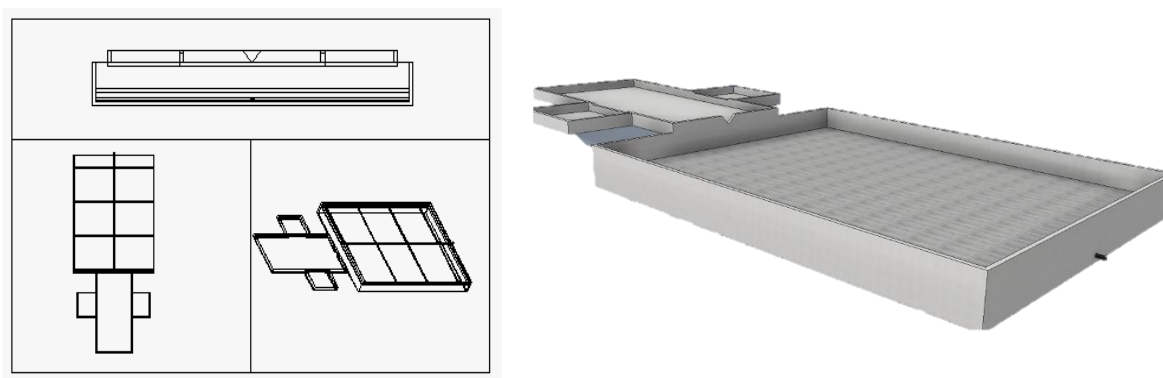


Figura 3.13 Filtro de arena con flujo descendente

Diseño: Bomba dosificadora y tanque de contacto

La etapa terciaria del diseño convencional se basó en una cloración, que permite eliminar cualquier microorganismo con la finalidad de que no se puedan reproducir, se eligió la bomba y tanque de contacto con las siguientes especificaciones:

Tabla 3.5 Características de la etapa de desinfección (cloración)

Caudal de cloro	0.89 L/h
Concentración de cloro	10%
Bomba dosificadora	1.89 L/h
Residual del cloro	1.5 ppm
Volumen del tanque de contacto	20 m^3



Figura 3.14 Bomba dosificadora de cloro

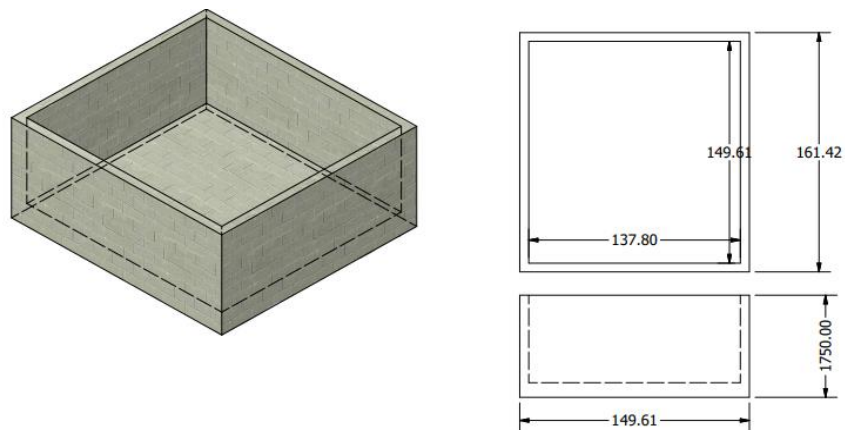


Figura 3.15 Tanque de contacto en etapa de cloración

3.4 Esquema completo referencial del tren de tratamiento.

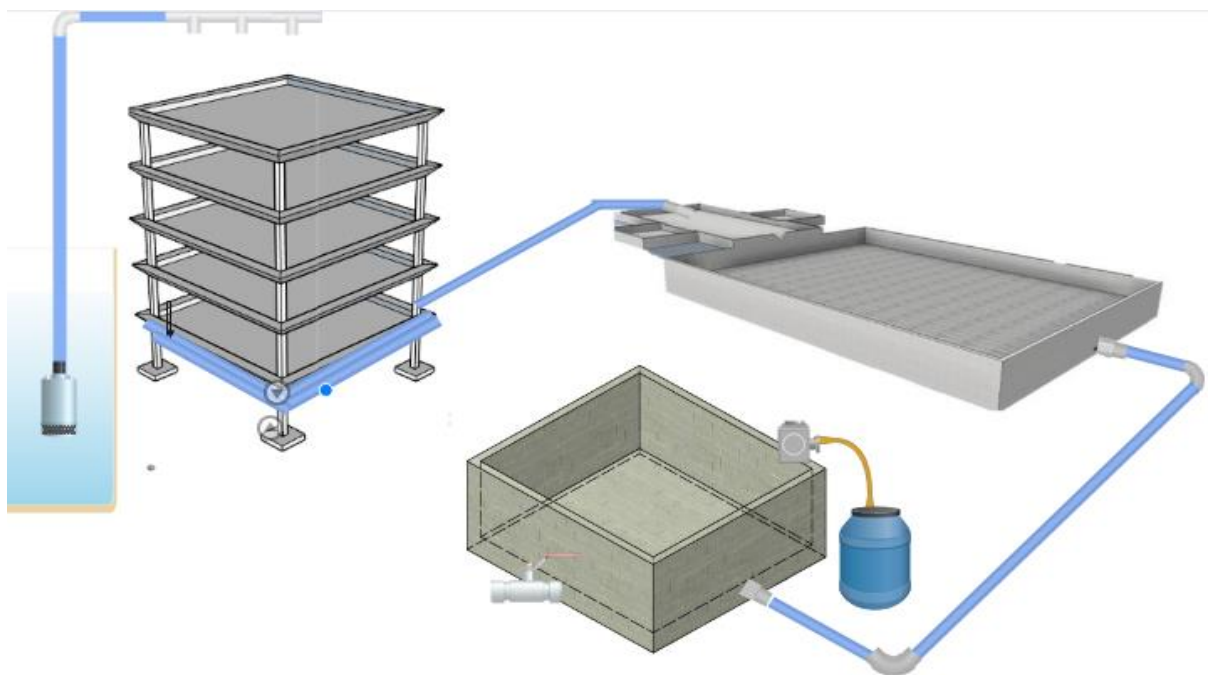


Figura 3.16 Diseño propuesto del sistema potabilizador de agua para la comuna

3.5 Costos

Para la estimación de los costos de los equipos y su funcionamiento se hizo una proyección usando la herramienta capcost. Las características de los equipos se especificaron en la tabla 2.5 para los cuales es necesario una inversión de \$1 045 200. Capcost considera los costos necesarios para la instalación, accesorios, mano de obras y gastos de contingencia teniendo un valor capital de inversión de \$ 6 156 228.

Tabla 3.6 Tablas con resultados de CAPEX (CAPITAL EXPENDITURE)

Capital Expenditure (CAPEX)		
Unit	ID	Bare Module Cost [USD]
Filter	Fr-101	\$383,000.00
Filter	Fr-102	\$383,000.00
Pump	P-101	\$33,700.00
Tower	T-101	\$36,500.00
Vessels	V-101	\$209,000.00
TOTAL		\$1,045,200.00

Source:
Capcost

Estimation of Capital Investment			
Direct cost			\$3,762,720.00
ONSC	Equipment	100.00%	\$1,045,200.00
	Equipment installation	47.00%	\$491,244.00
	Instrumentation and control	36.00%	\$376,272.00
	Piping	68.00%	\$710,736.00
	Electrical	11.00%	\$114,972.00
	Building, including services	18.00%	\$188,136.00
OFSC	Yard improvement	10.00%	\$104,520.00
	Service and utilities facilities	70.00%	\$731,640.00
Indirect cost			\$1,463,280.00
	Engineering and supervision	33.00%	\$344,916.00
	Construction expenses	41.00%	\$428,532.00
	Contractor fee	22.00%	\$229,944.00
	Contingency	44.00%	\$459,888.00
Fixed Capital Investment (FCI)			\$5,226,000.00
Working capital			\$930,228.00
Total Capital Investment (TCI)			\$6,156,228.00

Source: Smith (2016)

Se consideró la contratación de un operario y un técnico de mantenimiento, estos figuran como colaboradores que dosifican el cloro para la etapa de desinfección y ayudarán para la reparación de equipos y accesorios de existir averías. La descripción del pago de su salario se encuentra en el apéndice B. Se consideraron como materia prima los materiales que necesita el filtro de arena y la etapa de desinfección; además, se proyectó su consumo anual. Si se consideran los equipos, materia prima, costos de instalación, impuestos locales y salarios será necesario un capital de trabajo de \$ 160 056 316.

Tabla 3.7 Tablas con costos para el capital de trabajo

Utilities				
Name	Fluid	Rate	Rate Units	Anual Cost [USD]
Electricity	-	1085.35	KW	\$340,454.12
Cooling Water	Water	0.192293	MMGAL/H	\$202,138.40
Electricity	-	1156.9138	KW	\$369,228.54
TOTAL				\$911,821.06

Labor cost (MOD)		
Position	Total monthly cost	Anual Cost [USD]
Head of Maintenance	\$565.32	\$6,783.89
Operators	\$555.87	\$6,670.38
Total cost	\$1,121.19	\$13,454.27

Raw Material			
Material Name	Price [USD/kg]	Flowrate [kg/hr]	Anual Cost [USD]
Cloro	\$3.79	0.51	\$705.51
Grava #2	\$1.97	54552.96	\$39,226,305.89
Green Sand	\$9.40	33773.2416	\$115,875,991.93
Grava #3	\$0.31	24548.832	\$2,777,700.34
TOTAL			\$157,880,703.67

Direct Manufacturing Cost	
Consideration	Cost [USD]
Raw Material	\$157,880,703.67
Operation Staff	\$13,454.27
Utilities	\$911,821.06
Operation Supplies	\$47,034.00
Routine maintenance	\$307,811.40
Laboratory cost	\$2,690.85
TOTAL	\$159,163,515.26
Fixed Manufacturing Cost	
Consideration	Cost [USD]
Depreciation	\$522,600.00
Local Taxes	\$123,124.56
Ancillary Cost	\$197,661.63
TOTAL	\$843,386.19
General Cost	
Admistration	\$49,415.41
TOTAL	\$49,415.41

Production Cost		
Fixed cost		\$1,438,804.71
Routine maintenance	5% TCI	\$307,811.40
Direct labor (MOD)	Estimated	\$13,454.27
Laboratory costs	20% MOD	\$2,690.85
Plant Management	50% MOD	\$6,727.14
Capital Charges	15% TCI	\$923,434.20
Insurance	1% TCI	\$61,562.28
Local taxes	2% TCI	\$123,124.56
Variable cost		\$158,854,087.01
Raw material	Estimated	\$157,880,703.67
Utilities	Estimated	\$911,821.06
Royalties	1% TCI	\$61,562.28
TOTAL		\$160,292,891.71

Cost for Implementation	
Parameters	Values [USD]
Total variable cost	\$158,854,087.01
Total fixed cost	\$1,438,804.71
Depreciation per year	\$26,130.00
Sales	\$5,173.74
Administration cost	\$49,415.41
Taxes	\$123,124.56
Work Capital	\$160,056,316.85

Considerando estos valores se realizó un flujo de caja (Apéndice B) y se determinó que el valor de inversión inicial es el rubro que cubre el valor de los equipos. Es decir que si se realiza una inversión aproximada de \$ 1 500 000 y se considera su implementación y operación en 20 años, la inversión se recuperaría en 2 años (PRI) comercializando el producto obtenido, agua potable. El detalle del balance se encuentra en el apéndice B.

Estimación del menor costo

Se realizó una proyección de gastos considerando que el tanque del filtro de arena y la etapa de contacto en la cloración se realizaría con estanques de cemento. Estos cambios implicarían costos menores de inversión; además, se debe tener presente que usando capcost se usan equipos de referencia para la estimación de precios.

Tabla 3.8 Costos usando materiales económicos

Materiales	Cantidad (kg)	Costo por Kg	Total
Grava #2	54552.96	1.97	\$107,469.33
Grava #3	24548.832	0.31	\$7,610.14
Green sand	33773.2416	9.4	\$317,468.47
Cemento	2000	0.2	\$400.00
Arena	1500	0.019	\$28.50
Piedra	2500	0.03	\$75.00
Acero	500	1000	\$500,000.00
TOTAL			\$933,051.44

Además de la materia prima se considera otros gastos como los suministros necesarios para la etapa de cloración, mano de obra (se consideran 90 días de trabajo con 3 obreros \$15/por día).

Tabla 3.9 Costos reales varios

	Cantidad	Precio
Cloro	400 lt	\$870.00
Mano de obra	90 días	\$5,000.00
Bomba dosificadora Cl	1	\$1,500.00
Gastos varios		\$1,500.00
TOTAL		\$8,870.00

Considerando la fabricación de todos los equipos propuestos, sus accesorios y mano de obra se tiene un valor total de inversión de menos de millón de dólares con un tiempo de vida útil de 20 años. El detalle del balance realizado con los costos reales se encuentra en el apéndice B. Se necesitaría una inversión de **\$941 922**.

Tabla 3.100 Datos para inversión

INVERSIÓN	\$ 941 922
VAN	\$ 2,629,805.30
TIR	85%
PAYBACK (Años)	0.48

3.6 Mantenimiento

El diseño teórico de la torre de aireación posee bandejas de coque que dan paso a la oxidación de hierro y manganeso, estas podrían acumular restos en su superficie. Se deben limpiar periódicamente, lo recomendable sería luego de un mes continuo de uso y cambiar la bandeja de coque de forma semestral. El precio del coque bordea los \$0.32 por kilogramos, por lo que permite un mantenimiento y cambio periódico sin generar una gran inversión.

Para la etapa de filtración se deberán hacer cambios periódicos de las capas de grava y el medio filtrante para evitar la proliferación de microorganismos como mohos entre los espacios. Las modalidades de lavado de las capas de grava y arena se deberán realizar con aire y simultáneamente con agua. Al realizar el lavado se debe desprender la película que recubre los granos del lecho.

En la etapa de cloración es importante considerar el buen funcionamiento de la bomba dosificadora de cloro, por lo que será necesario un mantenimiento preventivo trimestral para identificar posibles averías. No deben existir cambios en la cantidad de cloro a dosificar, además, la velocidad de dosificación es importante para garantizar que todo el caudal de agua tenga la cantidad adecuada de cloro.

Tabla 3.111 Costos de mantenimiento

Mantenimiento	Frecuencia	Costo anual
Bandeja de coque	6 meses	\$80.00
Grava #2	8 meses	\$75,000.00
Grava #3	8 meses	\$19,440.00
Green sand	Anual	\$60,000.00
Bomba de cloración	Anual	\$1,000.00
	Total	\$155,520.00

De llegar a implementarse el diseño propuesto, luego de su implementación será necesario disponer aproximadamente \$155 520 para mantenimientos anuales.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En el presente trabajo investigativo se logró modelar una planta potabilizadora convencional de agua para la comuna Santo Domingo de Guzmán, cantón Simón Bolívar. Se consideraron las especificaciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos enunciados en la norma INEN 1108:2020 para la obtención de agua que cumpla con parámetros dentro de los límites máximos establecidos.
- Los análisis microbiológicos realizados a la muestra de agua de pozo que se consume en la comuna Santo Domingo mostraron presencia de colonias de E. Coli, Coliformes fecales y totales, cuyos valores son superiores a los establecidos por la norma los cuales hace referencia a 1 NMP/100mL, 1.1 NMP/100mL y 2000 NMP/100mL respectivamente, esto muestra la urgencia de un método más activo como la degradación biológica que combinado con la desinfección elimine los patógenos presentes.
- En base a las caracterizaciones realizadas y tomando como parámetros críticos los valores fuera del límite máximo permisible. Se definió el tren de tratamiento con el cual se pretende eliminar hasta un 98 % de hierro, manganeso y sulfuros empleando la torre de aireación; un 60 % de actividad microbiológica, nitritos y sedimentos empleando el filtro de flujo descendente y lograr la ausencia de patógenos y otros microorganismos con la dosificación de cloro.
- Se realizó la propuesta del diseño de una planta potabilizadora de agua que consta de torre de aireación, filtro lento de arena y tanque de desinfección. De ser implementada se usará el terreno que dispone la comunidad para la ubicación de los equipos, se usarán las tuberías de distribución a cada hogar, junto con la bomba sumergible y la bomba dosificadora de cloro ya existente.
- De ser implementado el diseño de la planta será necesario una inversión de \$1 500 000 aproximadamente, con un PRI de 2 años. Esta estimación

de costos de equipos, instalación, materias primas e insumos fue realizada usando capcost; sin embargo, si se consideran costos mínimos será necesario una inversión de \$941 922.

- Se esquematizó el diseño propuesto de la planta potabilizadora de agua usando el software AutoCAD 3D, en la imagen 3.16 se muestra la secuencia y distribución de los equipos propuestos. De ser implementada permitirá tener acceso a agua potable regida por los parámetros de la norma INEN 1108.

Recomendaciones

- Al realizar el análisis de parámetros fisicoquímicos usando el equipo HANNA, se recomienda que el equipo este calibrado para asegurar que el error en la medición sea mínimo.
- En base a el modelo planteado se recomienda realizar una planta piloto con el filtro lento de arena, con la finalidad de verificar la efectividad de los medios filtrantes a utilizar y realizar ajustes de proporciones.
- Para obtener un margen más amplio de datos que permita presentar una propuesta más realista, se recomienda hacer muestreos al agua de pozo durante la época seca y época de lluvia. Esto permitirá conocer detalladamente la variación de los parámetros del agua de pozo según la temporada del año y establecer un tren de tratamiento con mayor exactitud.
- Realizar los mantenimientos preventivos en la frecuencia sugerida en el presente trabajo para prolongar la vida útil de los equipos propuestos en el diseño.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuatécnica S.A.S. (2016, Junio 24). *Tipos de plantas de tratamiento de agua potable*. Retrieved from <https://acuatecnica.com/tipos-plantas-tratamiento-agua-potable/>
- Acuatécnica S.A.S. (2018, Enero 15). *Características de las plantas de tratamiento de agua potable convencionales*. Retrieved from <https://acuatecnica.com/caracteristicas-las-plantas-tratamiento-agua-potable-convencionales/>
- Arbitro, J. A. (2015, Diciembre 5). *Repositorio de la Universidad Técnica de Machala*. Retrieved from Caracterización del agua subterránea para uso de actividades productivas y humanas en el cantón Pasaje, 2014: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2692/1/CD409_TESIS.pdf
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2010, Agosto 3). *Resolución aprobada por la Asamblea General el 28 de julio de 2010*. Retrieved from El derecho humano al agua y saneamiento: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S
- Asamblea Nacional del Ecuador . (2014, Agosto 05). *Resolución aprobada por la Asamblea General el 28 de julio de 2010*. Retrieved from https://www.etapa.net.ec/Portals/0/TRANSPARENCIA/Literal-a2/LEY-ORGANICA-DE-RECURSOS-HIDRICOS_-USOS-Y-APROVECHAMIENTO-DEL-AGUA.pdf
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2014, Agosto 05). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos y Aprovechamiento del Agua*. Retrieved from https://www.etapa.net.ec/Portals/0/TRANSPARENCIA/Literal-a2/LEY-ORGANICA-DE-RECURSOS-HIDRICOS_-USOS-Y-APROVECHAMIENTO-DEL-AGUA.pdf
- Asociación Mexicana de Gerontología y Geriatria A.C. (2018). *Importancia del agua en la alimentación*. Retrieved from <https://www.amgg.com.mx/sobre-el-envejecimiento/tips-nutricion/importancia-del-agua-la-alimentacion/>
- Auge, G. M. . (2007). *Agua.org*. Retrieved from <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/05/Agua-fuente-de-vida.pdf>
- Castillo, N. (2021, Marzo 22). *Ciencia UNAM-DGDC*. Retrieved from Virus, bacterias y protozoarios permanecen naturalmente en el agua:

<https://ciencia.unam.mx/leer/1098/microorganismos-en-el-agua-debemos-preocuparnos->

Diseprosa, Diseños y proyectos residuales. (2021, Septiembre 01). Retrieved from Plantas de tratamiento de aguas: https://www.interempresas.net/feriavirtual/catalogos_y_documentos/87264/plantas_de_tratamiento_de_aguas.pdf

EcuRed. (2019, Julio 29). *Cantón Simón Bolívar (Ecuador)*. Retrieved from Descripción y clima: [https://www.ecured.cu/Cant%C3%B3n_Sim%C3%B3n_Bol%C3%ADvar_\(Ecuador\)](https://www.ecured.cu/Cant%C3%B3n_Sim%C3%B3n_Bol%C3%ADvar_(Ecuador))

Fundación Futuro Latinoamericano. (2021, Febrero). *Futuro del agua en Ecuador*. Retrieved from <https://www.ffla.net/es/futuro-del-agua-en-el-ecuador-perspectivas-presidenciales/>

Global Water Partnership South América. (2011). *Aguas subterráneas, acuíferos*. Retrieved from https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterranas.pdf

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Simón Bolívar. (2014). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Simón Bolívar*. Retrieved from http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/SIMON%20BOLIVAR%20%20PD%20Y%20OT_13-11-2014.pdf

Hernández, E., & Corredor, C. (2017). *Diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento para la potabilización de agua*. Retrieved from <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14556/1/DISE%C3%91O%20Y%20CONSTRUCCION%20DE%20UNA%20PLANTA%20MODELO%20DE%20TRATAMIENTO%20PARA%20LA%20POTABILIZACION%20DE%20AGUA.pdf>

INEN. (2020). *Agua para consumo humano*. Retrieved from Requisitos: <https://sut.trabajo.gob.ec/publico/Normativa%20T%C3%A9cnica%20INEN/NTE%20INEN%201108%20-%20AGUA%20POTABLE.%20REQUISITOS.pdf>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2019). *Salud*. Retrieved from https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Sitios/inec_salud/index.html

- Maxwell, C. (2022, Julio 11). *Towering Skills*. Retrieved from Cost Indices: <https://www.toweringskills.com/financial-analysis/cost-indices/#:~:text=Web%20access%20to%20the%20CEPCI%20is%20a%20pricey,indices%20being%203%20months%20behind%20the%20publication%20date>.
- Mazile, F., & Spuhler, D. (2009). *Gestión de agua y saneamiento sostenible*. Retrieved from Coagulación, floculación y separación: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MRWA%202009.%20Coagulation%20and%20flocculation.pdf
- Ojeda, L. (2015, Diciembre). *Hanna Instruments*. Retrieved from Técnicas de muestreo de aguas. Recolección, manejo y preservación de muestras.: http://cdn.hannachile.com/hannacdn/marketing/capacitacion/2015/12/Tecnicas_de_muestreo_de_aguas_en_terrenos.pdf
- Orellana, J. (2019). *Ingeniería Sanitaria*. Retrieved from Tratamiento de las aguas: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf
- Plantas de tratamiento de agua potable convencional. Filtro gravitacional*. (2020). Retrieved from [https://infota.siss.cl/concesiones/empresas/AguasdeAntofagasta/09%20Estudio%20Tarifario%20SISS/Anexos/Anexo%20SVI/TEXTOS/PTAP%20CONVENCIONAL%20\(TEXTO\).pdf](https://infota.siss.cl/concesiones/empresas/AguasdeAntofagasta/09%20Estudio%20Tarifario%20SISS/Anexos/Anexo%20SVI/TEXTOS/PTAP%20CONVENCIONAL%20(TEXTO).pdf)
- Reyes, J. (2016, Noviembre). *Repositorio de la Universidad Guayaquil*. Retrieved from Factores relacionados con enfermedades gastrointestinales por consumo de agua de pozo en comunidad "Dos Mangas" - Santa Elena: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/47394/1/CD%20071-%20ALEJANDRO%20REYES%20JUSTO%20ANATOLE.pdf>
- Sierra, C. (2011). *Repositorio Institucional de la Universidad de Medellín*. Retrieved from Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico: <http://hdl.handle.net/11407/2568>
- SPENA GROUP. (2016, Diciembre 11). *Planta de tratamiento de agua convencional (potabilizadoras)*. Retrieved from <https://spenagroup.com/planta-tratamiento-convencional-potabilizadoras/>
- Universidad De Piura. (n.d.). *Análisis de crecimiento poblacional y calculo de caudales de diseño*. Retrieved from Método geométrico: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_133_183_86_1214.pdf

Xavier, B. (2010, Diciembre 02). *Sustancias para el tratamiento de aguas para consumo humano*. Retrieved from <https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/45745-Sustancias-para-el-tratamiento-de-aguas-para-el-consumo-humano.html>

APÉNDICES

APÉNDICE A

A.1. Caracterización fisicoquímica del agua de pozo por el laboratorio “Labcestta”

INFORME DE RESULTADOS No: A-499-22

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	GEOVANNA GÓMEZ	ATENCIÓN A.	Geovanna Gómez
DIRECCIÓN:	Sauces 8	TELÉFONO:	0960873537
TIPO DE MUESTRA:	Agua (Natural)	PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Comuna Santo Domingo, Cantón Simón Bolívar, Provincia del Guayas
CÓDIGO CLIENTE:	SANTO DOMINGO GUZMÁN	FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA RESPONSABLE:	10/07/2022 20:00 Geovanna Gómez

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR:	CLIENTE	NÚMERO DE MUESTRAS:	01
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	NA	ANÁLISIS SOLICITADO:	Químico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	11/07/2022 16:00	FECHA DE ANÁLISIS:	11/07/2022 – 21/07/2022
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	21/07/2022	CÓDIGO LABORATORIO:	AL-A-499-22
RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	NA	COORDENADAS:	NA
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS	T máx.:25,0 °C. T mín.: 15,0 °C		

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	MÉTODO /NORMA	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	165	±11%	PE/AL/05 Standard Methods Ed.23.2017 5220D	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5Días)	mg/L	78	±14%	PE/AL/28 Standard Methods Ed.23.2017 5210B HACH, Method 8166	-
Nitritos	mg/L	124	±29%	PE-AL-41 Standard Methods Ed.23.2017 2540 D	-
Nitratos	mg/L	0,91	±6%	PE-AL-40 Standard Methods Ed.23.2017 5540 C	-

Sulfatos	mg/L	51	±14%	PE/AL/25 Standard Methods Ed.23.2017 4500 E SO4	-
Cobre	mg/L	<0,05	±13%	PE/AL/17 EPA 200.7 ICP-AES Rev.4.4 1994	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los ensayos marcados con (*) están fuera del alcance de acreditación del SAE.
- La columna: Valor límite permisible, está fuera del alcance de la acreditación del SAE; contemplan los límites máximos permisibles establecidos en la Tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, del Anexo 1 del AM 097-A, solicitados por el cliente.

COPIA

A.2. Caracterización microbiológica del agua de pozo por el laboratorio “Grupo Químico Marcos”



HEALTH & LIFE S.A. HELISA
Representante Legal: ZAMBRANO MOREIRA LUIS ALFREDO
Dirección: Alborada XIII Etapa MZ 22 V9, Tel. 043713730
Atención : Ing. Katherine Zambrano

Guayaquil, 2022-06-27

DATOS DE LA MUESTRA

Punto e Identificación de la Muestra: Agua de Pozo
Fecha/Hora Lugar de Toma de Muestra: 2022/06/21 / 10:00 / Comuna Santo Domingo
Fecha/Hora Recepción Muestras: 2022/06/23 / 11:58
Matriz de la muestra: Agua Natural

MICROBIOLOGÍA

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K-2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Escherichia Coli	180,0	NMP/100 ml	---	PEE-GQM-MB-76	2022/06/23 SP
Coliformes Totales	7 000,0	NMP/100 ml	---	PEE-GQM-MB-76	2022/06/23 SP
Coliformes Fecales	180,0	NMP/100 ml	---	PEE-GQM-MB-76	2022/06/23 SP

SIMBOLOGÍA:

---- No. Aplica
<LD Menor al Límite Detectable
N.E. No efectuado
S.M. Standard Methods
U K-2 Incertidumbre Nivel de Confianza 95,45%

E.P.A. Environmental Protection Agency
P.E.E. Procedimiento específico de ensayo de GQM
G.R. Grados de Restricción
L.M.P. Límite Máximo Permisible
V.L.P. Valor Límite Permisible

V.M.R. Valor Máximo Referencial
C.C. Criterios de Calidad
V.M. Valor Máximo
V.M.P. Valor Máximo Permisible

NOMENCLATURA:

- (1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- (2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM
- (3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
- (4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec

IMPORTANTE:

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD:

La información del lugar de toma, punto e identificación de la muestra es proporcionada por el cliente a GQM previo a su monitoreo o recepción.

Si la muestra es entregada por el cliente, sus resultados aplican a la muestra tal como se recibió.

HEALTH & LIFE S.A. HELISA
Representante Legal: ZAMBRANO MOREIRA LUIS ALFREDO
Dirección: Alborada XIII Etapa MZ 22 V9, Tel. 043713730
Atención : Ing. Katherine Zambrano

Guayaquil, 2022-06-27

DATOS DE TOMA / RECEPCIÓN DE MUESTRA

Punto e Identificación de la Muestra: Agua de Pozo
Fecha/Hora Lugar de Toma de Muestra: 2022/06/21 / 10:00 / Comuna Santo Domingo
Fecha/Hora Recepción Muestras: 2022/06/23 / 11:58
Matriz de la muestra: Agua Natural
Responsable de Toma de Muestra / Tipo de Muestra: CLIENTE / Cliente / Puntual
Duración de Actividad: ---
Coordenadas Geográficas: --
Norma Técnica Aplicada: No Aplica
Temperatura de Recepción de Muestra (Equipo): 22.4 C° / EI-190
Condiciones Ambientales del Monitoreo: CUANDO EL MUESTREO ES REALIZADO POR GQM, LOS DATOS SE REGISTRAN EN SU ACTA DE TOMA DE MUESTRAS QUE ESTA A DISPOSICIÓN DEL CLIENTE.
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Digitally signed by
LAURA MERCEDES YANQUI MOREIRA
Date: 2022-06-27 14:44:01-05:00

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

¡IMPORTANTE:

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.

INCERTIDUMBRE DE MUESTREO/TOMA DE MUESTRA:

En caso de ser requerida, se encuentra disponible como una desviación de repetibilidad(r)

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD:

La información del lugar de toma, punto e identificación de la muestra es proporcionada por el cliente a GQM previo a su monitoreo o recepción.

Si la muestra es entregada por el cliente, sus resultados aplican a la muestra tal como se recibió.

APENDICE B

B.1. Recomendaciones de Diseño

Tabla B.1. Dotaciones recomendadas según el clima y población

Población (Habitantes)	Clima	Dotación Media Futura
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frío	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Mas de 50000	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

Fuente: (INEN, 2014)

Tabla B.2. Valores de K para dosificación de cloro

ORGANISMO ÍNDICE	DESINFECTANTE		
	HOCl	OCl ⁻	NH ₂ Cl
Escherichia coli	0,24	15,6	66
Virus de poliomielitis	1,2	---	---
Virus coxsackie A2	6,3	---	---

Fuente: (INEN, 2014)

Tabla B.3. Sistemas recomendados de acuerdo con los parámetros fuera de norma

Turbidez	≤ 10 NTU	Mezcla y filtros rápidos	Coagulantes: FeCl₂/ Al₂SiO₅
Hierro	≥ 0,3 ppm	Oxidación previa a la coagulación	Hipoclorito de sodio/ozono, KMnO ₃
Manganeso	≥ 0,1 ppm	Oxidación previa a la coagulación	Hipoclorito de sodio/ozono, KMnO ₃
DBO	>50 ppm	Torre de Aireación	
Coliformes totales	7000,0 ppm	Desinfección	Hipoclorito de sodio/ ozono

B.2.ANALISIS ECONOMICO

# Operarios	1	\$428.74
-------------	---	----------

Description			Total monthly cost	Total annual cost
Head of Maintenance				
Unified basic salary (Ecuador)			\$428.33	\$5,139.96
Profits	Employer (11.15% IESS)		\$47.76	\$573.11
	Fourteenth bonus		\$35.69	\$428.33
	Thirteenth bonus		\$35.69	\$428.33
	Annual holiday		\$17.85	\$214.17
Total cost			\$565.32	\$6,783.89
Operators				
Unified basic salary (Ecuador)			\$418.74	\$5,024.88
Profits	Employer (11.15% IESS)		\$47.80	\$573.65
	Fourteenth bonus		\$35.73	\$428.74
	Thirteenth bonus		\$35.73	\$428.74
	Annual holiday		\$17.86	\$214.37
Total cost			\$555.87	\$6,670.38
TOTAL			\$1,121.19	\$13,454.27

