

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

## **INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

**“DISEÑO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA  
PARA UNA CAMARONERA EN CHURUTE, PROVINCIA  
DEL GUAYAS – ECUADOR”**

Previo a la obtención del Título de

**INGENIERO QUÍMICO**

**INGENIERO CIVIL**

Autores

**AMANDA JACQUELINE ONOFRE ÁLAVA**

**SEBASTIÁN ANDRÉS DE LOS RÍOS FONDEVILA**

**MARRO FILIPO CASELLA MOREIRA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO 2017**

## RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño de una planta potabilizadora de agua que satisfaga las necesidades particulares de una camaronera ubicada en el sector de Churute, cantón Naranjal, provincia del Guayas. Siguiendo los procedimientos metodológicos que requieren las normas aplicables a este tema, se detallan las técnicas de toma de muestras de agua de la fuente que se abastecen. Se muestran los análisis físico-químicos y microbiológicos realizados para conocer la calidad del agua. Luego de haber caracterizado el agua, se analizan alternativas de tratamiento de agua para luego determinar técnicamente cada uno de los componentes del proceso de potabilización del agua (bomba de impulsión, filtros, ablandador, bomba dosificadora de cloro), que se ajusta a la situación social y económica de la empresa. Consecuentemente se detallan los cálculos de obra civil necesaria para lograr que el diseño de la planta sea funcional, integral, económico, seguro y de mínimo impacto ambiental, rigiéndose a normas nacionales y extranjeras. Se adjunta, además, esquemas de conexiones de los instrumentos para potabilizar el agua, un manual para el mantenimiento de la instalación, el análisis de costos de cada elemento y los planos estructurales para la ejecución de la obra.

**Palabras clave:** potabilización del agua, agua subterránea, ensayos físico-químicos, microbiológicos, calidad y caracterización del agua, filtros, diseño sismo resistente, tanque rectangular.

## ABSTRACT

The present work describes the design of a water treatment plant that meets the needs of a shrimp farmer located in the sector of Churute, canton Naranjal, Guayas province. Following the methodological procedures that require the norms applicable to this subject, the techniques of water sampling from the source that supplies the people. The physical-chemical and microbiological analyzes performed to determine the water quality are shown. After having characterized the water, alternatives of water treatment are analyzed and then technically determine each of the components of the water purification process (pump, filters, softener, chlorine dosing pump), which is adjusted to the situation social and economic development of the company. Consequently, the calculations of the civil works necessary to ensure that the design of the plant is functional, integral, economic, safe and of minimum environmental impact, are subject to national and foreign standards. Also included are connection diagrams of water purification instruments, a manual for the maintenance of the installation, cost analysis of each element and structural plans for the execution of the work.

**Key words:** water purification, groundwater, physical-chemical, microbiological tests, water quality and characterization, filters, seismic resistant design, rectangular tank.

## DEDICATORIA

A mis hermanas: Allison y Andrea por estar siempre a mi lado y recordarme las razones de todo el esfuerzo realizado hasta ahora y todo el que aún está por venir.

A mis padres por su apoyo incondicional, en todos los aspectos de mi vida.

Amanda Onofre

A mis padres por ser mis maestros de vida, por su apoyo, por la guía y su inmenso cariño día a día, sin ellos esto no sería posible.

Sebastián De Los Ríos

A mis padres por su fe y confianza, y sobre todo por su inmenso cariño. A mis maestros por su infinita paciencia por nunca dejar que me diera por vencido.

Filipo Casella

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Jehová, Dios todopoderoso, que en todo momento nos dio su guía y mantuvo de pie para superar todas las dificultades que se presentaron en el camino.

Gracias a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, a la Facultad de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Civil y en particular a nuestra tutora Alby Aguilar, Msc. por habernos dado la guía oportuna, de trabajar en una tesis multidisciplinaria que nos permitió conectar las habilidades y conocimientos de dos ramas de la ingeniería.

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Amanda Jacqueline Onofre Álava

Sebastián Andrés De los Ríos Fondevila

Marro Filipo Casella Moreira

Y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

---

Sebastián Andrés De Los Ríos Fondevila

---

Amanda Jacqueline Onofre Álava

---

Marro Filipo Casella Moreira

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Nadia Flores, Msc.  
PRESIDENTE FCNM

---

Miguel Ángel Chávez, PhD.  
PRESIDENTE FICT

---

Francisco Torres, PhD.  
VOCAL FCNM

---

Alby Aguilar, Msc.  
DIRECTOR DE TESIS

## ACRÓNIMOS

INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
pH	Potencial de Hidrógeno
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
STD	Sólidos Totales Disueltos
ppm	Partes por millón
CAP	Carbón Activado en Polvo
CAG	Carbón Activado Granular
OMS	Organización Mundial de la Salud
HP	Caballos de fuerza (Horse Power)
Gpm	Galones por minuto
Hz	Hertz
CTD	Carga Dinámica Total
UV	Rayos Ultra Violeta
DN	Diámetro Nominal

## TABLA DE CONTENIDO

1. CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Localización geográfica.....	6
1.3. Planteamiento del problema .....	8
1.4. Justificación .....	8
1.5. Hipótesis .....	9
1.6. Objetivos.....	10
1.6.1. Objetivo general .....	10
1.6.2. Objetivos específicos.....	10
2. CAPÍTULO 2 .....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. Tipos de camaroneras .....	11
2.2. Proceso de producción de camaroneras.....	11
2.3. Calidad del agua disponible .....	12
2.3.1. Características físicas .....	13
2.3.2. Características químicas .....	14
2.3.3. Características Microbiológicas .....	17
2.3.4. Otros contaminantes .....	17
2.4. Potabilización del agua .....	17
2.4.1. Filtración.....	20
2.4.1.1 Tipos de filtración en grava y arena.....	21
2.4.2 Tratamientos para la potabilización del agua.....	24
2.5. Reglamentos y Normativas de Agua Potable .....	26
2.6. Fundamentos para la Obra Civil.....	28
2.6.1. Diseño sísmico del tanque reservorio.....	29
2.6.2. Diseño sísmico de la caseta de equipos.....	31
2.6.3. Normativas a utilizarse .....	33
3. CAPÍTULO 3 .....	34
3. METODOLOGÍA .....	34
3.1. Toma de Muestras .....	35
3.2. Análisis Físico-Químicos y Microbiológicos del Agua.....	37
3.3. Caracterización del agua .....	37
3.4. Condiciones de la Planta Camaronera.....	38

3.4.1.	Demanda de agua potable para consumo humano .....	39
3.4.2.	Demanda de agua para lavado de camarones .....	40
3.5.	Selección de procesos de tratamiento de agua.....	40
3.6.	Cálculo de variables de proceso .....	45
3.6.1.	Extracción de Agua del Pozo.....	45
3.6.2.	Filtro de arena y grava.....	46
3.6.3.	Ablandador .....	49
3.6.4.	Filtración en Carbón Activado.....	52
3.6.5.	Cloración .....	54
3.7.	Selección de equipos .....	56
3.7.1.	Bomba Sumergible 2HP .....	56
3.7.2.	Filtro de grava de 3 pies cúbicos .....	58
3.7.3.	Ablandador de agua. ....	59
3.7.4.	Filtro de carbón activado .....	60
3.7.5.	Bomba dosificadora de agua .....	61
3.7.6.	Tanque elevado.....	63
3.7.7.	Proveedores .....	63
3.8.	Diseño de obra civil.....	64
3.9.	Costo de construcción y mantenimiento.....	67
3.10.	Mantenimiento de la planta.....	68
3.11.	Limitaciones del diseño .....	69
4.	CAPÍTULO 4 .....	70
4.	RESULTADOS.....	70
4.1.	Resultados de las encuestas al personal de la camaronera.....	70
4.2.	Resultado de la calidad del agua sin tratar.....	70
4.3.	Resultados del sistema de tratamiento de agua potable .....	72
4.4.	Diagrama de flujo de procesos de planta de tratamientos de aguas propuesta. ....	73
4.5.	Resultados Obra Civil. ....	74
4.6.	Sistema de Calidad para tratamiento de agua. ....	83
5.	CAPÍTULO 5 .....	86
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	86
6.	CAPÍTULO 6 .....	91
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
6.1.	Conclusiones .....	91

6.2. Recomendaciones ..... 93

7. REFERENCIAS..... 96

8. ANEXOS ..... 98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1. Situación actual de la planta .....	2
Figura 1.1.2. Tanque elevado con manguera haciendo sifón .....	3
Figura 1.1.3. Salida de tubería proveniente del pozo .....	4
Figura 1.1.4. Conexión de mangueras inapropiadas .....	5
Figura 1.2.1 Ubicación en mapa de la Reserva Ecológica Churute .....	7
Figura 2.2.1. Diagrama de Proceso del Camarón .....	12
Figura 2.3.2.1. Escala de pH.....	16
Figura 2.4.1. Planta de tratamiento convencional .....	19
Figura 2.4.1.1.1. Filtro vertical a presión, de acero, multicapas.....	26
Figura 3.1. Metodología de trabajo del presente estudio.....	36
Figura 3.1.1. Envases estériles para toma de muestras.....	39
Figura 3.1.2. Toma de muestras de agua .....	39
Figura 3.5.1. Diagrama del proceso seleccionado para tratamiento del agua ....	43
Figura 3.5.3. Antracita.....	44
Figura 3.5.4. Arena sílica .....	44
Figura 3.5.5. Grava .....	45
Figura 3.4.6. Resina catiónica.....	45
Figura 3.4.7. Carbón activado de concha de coco .....	46
Figura 3.7.5.1. Medición de cloro residual.....	57
Figura 3.7.1. Bomba sumergible seleccionada para el diseño de la planta .....	59
Figura 3.7.2. Filtro de lecho de grava Acuacoral 3 ft <sup>3</sup> .....	60
Figura 3.7.3. Ablandador de agua Watts W100.....	61
Figura 3.7.4. Filtro de carbón activado Watts NC14-W100F .....	63
Figura 3.7.5.1. Bomba de precisión, dosificadora de químicos SHENCHEM .....	64
Figura 3.7.6.1. Tanque elevado de polietileno y accesorios incluidos .....	65
Figura 3.8.1. Esquema para pre-dimensionamiento.....	66
Figura 3.8.2. Esquema para pre-dimensionamiento, vista lateral.....	67
Figura 3.8.3. Modelo dinámico supuesto.....	68
Figura 3.8.4. Modelo dinámico matemático.....	68
Figura 3.8.5. Fuerzas sísmicas de diseño .....	69
Figura 4.4.1. Diagrama de Procesos de la Planta Potabilizadora de Agua.....	75
Figura 4.5.1. Implantación General .....	77

Figura 4.5.2. Modelado en 3D de la planta potabilizadora .....	78
Figura 4.5.3. Fachada Frontal .....	79
Figura 4.5.4. Se detalla la vista en planta .....	79
Figura 4.5.5. Se describe la planta típica de las zapatas .....	80
Figura 4.5.6. Se describe el corte 2 – 2 cimentación tipo .....	80
Figura 4.5.7. Descripción de la cadena de amarre .....	81
Figura 4.5.8. Descripción de la cadena de amarre .....	81
Figura 4.5.9. Se describe la dimensión de la columna .....	82
Figura 4.5.10. Se describen las dimensiones de la losa.....	83
Figura 4.5.11. Se describe las dimensiones de los muros y cimentación .....	84
Figura 4.5.12. Se describen los aceros de refuerzo de la cubierta .....	84
Figura 4.6.1. Organigrama de personas del sistema de gestión de calidad .....	85
Figura 5.1. Diagrama de barras .....	88
Figura 5.2. Diagrama de barras .....	89
Figura 5.3. Diagrama de barras .....	90
Figura 5.4. Diagrama de barras .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.3.1.1. Características físicas representativas .....	13
Tabla 2.3.2.1. Características químicas representativas .....	14
Tabla 2.3.2.2. Clasificación del agua según la dureza .....	16
Tabla 2.3.2.3. Conductividad en distintos tipos de aguas.....	17
Tabla 2.4.1.1.1. Tipos de material para filtros .....	25
Tabla 2.4.1.1.2. Tipos de material para filtros .....	25
Tabla 2.4.2.1. Tratamientos para la potabilización del agua.....	27
Tabla 2.5.1. Límites Máximos Permisibles. Tratamiento Convencional.....	28
Tabla 2.5.2. Límites Máximos Permisibles. Requieran Desinfección.....	29
Tabla 2.5.3. Comparación de estándares de calidad del agua .....	30
Tabla 2.6.2.1. Clasificación de Tanques .....	32
Tabla 2.6.2.1. Clasificación de los sistemas estructurales .....	33
Tabla 2.6.3.1. Clasificación de los sistemas estructurales .....	35
Tabla 3.3.1. Toma de muestra de agua de pozo de camaronera .....	40
Tabla 3.4.1.1. Consumo total de agua .....	41
Tabla 3.7.2.1. Distribución de capas en el lecho filtrante .....	50
Tabla 3.7.2.2. Dimensiones de filtro de arena y grava .....	50
Tabla 3.7.3.1. Dimensiones del Ablandador.....	53
Tabla 3.7.3.2. Dimensiones del tanque de sal.....	53
Tabla 3.7.4.1. Dimensiones de filtro de carbón activado .....	56
Tabla 3.7.5.1. Cloro residual en el agua cruda.....	57
Tabla. 3.7.1. Capacidad y altura de bombeo.....	60
Tabla 3.9.1. Inversión para construcción de la planta diseñada .....	70
Tabla 4.2.1 Resultados de análisis físico-químicos .....	72
Tabla 4.2.2. Resultados de análisis microbiológicos .....	73
Tabla 4.3.1. Resultados de diseño de sistema de tratamiento de agua potable .	74
Tabla 4.3.2. Resultados de variables calculadas de cada equipo .....	74
Tabla 4.4.1. Características del agua tratada.....	76
Tabla 4.6.1. Directorio de documentos de sistema .....	86
Tabla 4.6.2. Códigos de documentos.....	87
Tabla 5.1. Comparaciones de dureza .....	88

Tabla 5.2. Comparaciones de conductividad .....	89
Tabla 5.3. Comparaciones de pH.....	89
Tabla 5.4. Comparaciones de nitratos .....	90

# CAPÍTULO 1

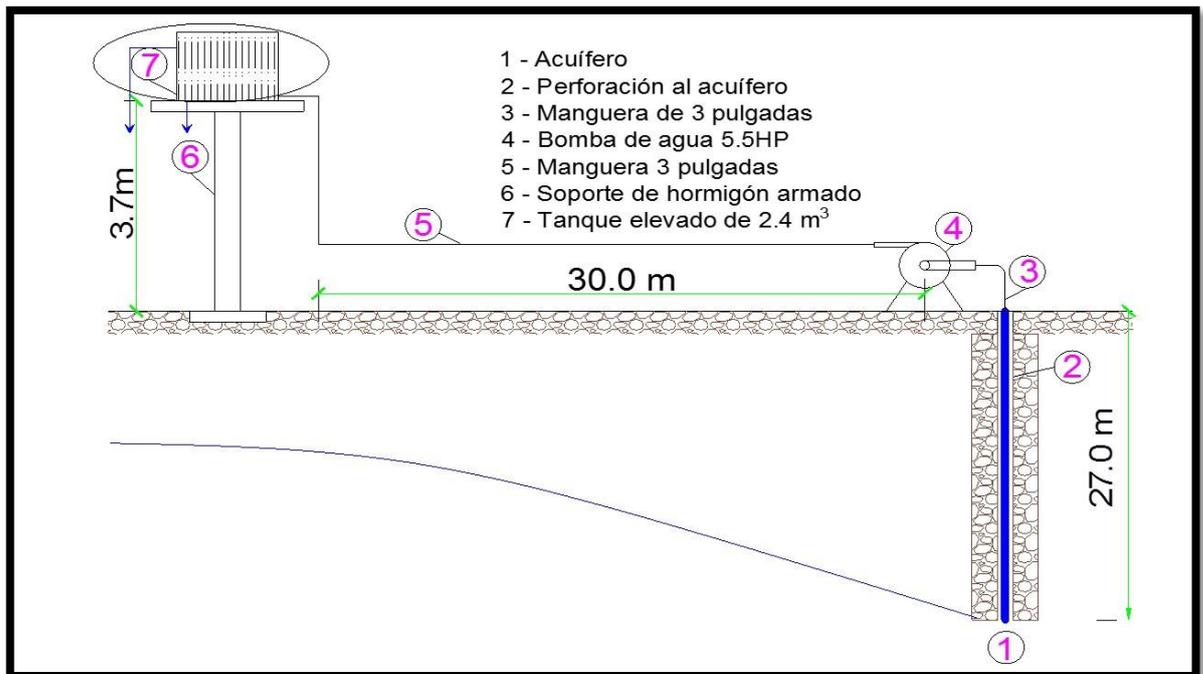
## 1. INTRODUCCIÓN

La selección del tema para el desarrollo del proyecto de la materia integradora, fue escogido atendiendo las necesidades que posee el Ecuador para su desarrollo, encontrando un campo de aplicación en la industria camaronera. La industria camaronera es el segundo producto no petrolero de mayor exportación en Ecuador (PROECUADOR, 2016). Se encuentran desde camaroneras pequeñas, independientes, familiares y grandes corporaciones que muchas veces sobreponen la rentabilidad sobre el bienestar de sus colaboradores. En la costa ecuatoriana las camaroneras se ubican al pie del mar y otras en medio de manglares. Las empresas que están ubicadas en manglares ofrecen a sus trabajadores agua de pozo, y por lo general no le realizan ningún tipo de tratamiento previo al consumo de los trabajadores.

Conociendo la importancia de la industria camaronera y el régimen sanitario en el que muchas operan, se decidió hacer un vínculo con alguna comunidad que permitiera el libre acceso a sus instalaciones, realizar encuestas a los trabajadores, medir el régimen de consumo de agua, tomar muestras del agua que consumen, inventariar los equipos disponibles y su estado. En trayecto de búsqueda de dicha comunidad, se logró el consentimiento de ingreso por una camaronera ubicada en Churute.

### 1.1. Antecedentes

La camaronera en Churute está ubicada en una zona rural en medio de un manglar. Su fuente de agua proviene de un pozo de 27 metros de profundidad y 4 pulgadas de diámetro, el cual provee de agua a las 20 personas que viven y trabajan en la misma camaronera. No cuentan con acceso a la red pública de agua potable y se abastecen del pozo antes mencionado, sin ningún tratamiento previo al consumo. En la figura 1.1.1 se detalla la condición actual de abastecimiento de agua.



**Figura 1.1.1. Situación actual de la planta**

*Fuente: F. Casella, S. De Los Ríos, A. Onofre*

El agua la extraen con una bomba de 5.5HP de potencia, y carece de algún dispositivo que le facilite el trabajo automáticamente. Esto les genera desabastecimientos de agua temporales. La instalación de bombeo del agua, defectuosamente realizada, desde el pozo hacia el tanque elevado (ver Figura 1.1.2), tiene como resultado que el agua del tanque elevado se regrese por la tubería hacia el pozo, dando la impresión de que el pozo se está rebosando (Figura 1.1.3). El agua se conduce desde el pozo al tanque elevado por mangueras de polietileno de 3 pulgadas con conexiones improvisadas, tal como se observa en la Figura 1.1.4.



**Figura 1.1.2. Tanque elevado con manguera haciendo sifón**



**Figura 1.1.3. Salida de tubería proveniente del pozo**



**Figura 1.1.4. Conexión de mangueras inapropiadas**

El consumo de esta agua es un riesgo latente, debido a que la fuente (pozo) puede ser contaminada, en cualquier momento, por pesticidas provenientes de los cultivos cercanos o por desechos humanos provenientes de los pozos sépticos no impermeabilizados que se encuentran en la camaronera. (OMS, 2006)

Para el lavado de los camarones usan agua de las mismas piscinas, lo que genera un ahorro de tiempo y dinero para la camaronera, teniendo como consecuencia la disminución considerable de la calidad de los camarones.

## **1.2. Localización geográfica**

La camaronera escogida para el proyecto integrador está ubicada en el recinto de Churute – cantón Naranjal – provincia del Guayas a 40 kilómetros de la ciudad de Guayaquil. Churute no solo es conocido por alojar varias camaroneras y por brindar excelentes ejemplares de cangrejos y camarones, sino también por los “Manglares Churute” que forman parte de la reserva ecológica del mismo nombre, que está registrada en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador.

Los manglares de Churute deben su nombre a la presencia de una pequeña cordillera, llamada Churute, compuesta por siete cerros. Cuenta con 35.000 hectáreas de mangles, y su clima es de 28 °C media anual (en época lluviosa) (MAE, 2015). La reserva ecológica fue creada el 26 de julio de 1979 con una superficie de 494 Km<sup>2</sup>. Estos manglares están considerados como un sitio de importancia Ramsar [Un compromiso fundamental de las Partes Contratantes de Ramsar consiste en identificar humedales adecuados e incluirlos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional, también conocida como la Lista de Ramsar] (MAE, 2015).

En la figura 1.2.1 se muestra la ubicación geográfica de la camaronera escogida para el presente proyecto, misma que se localiza en el sector de la reserva ecológica de Churute.

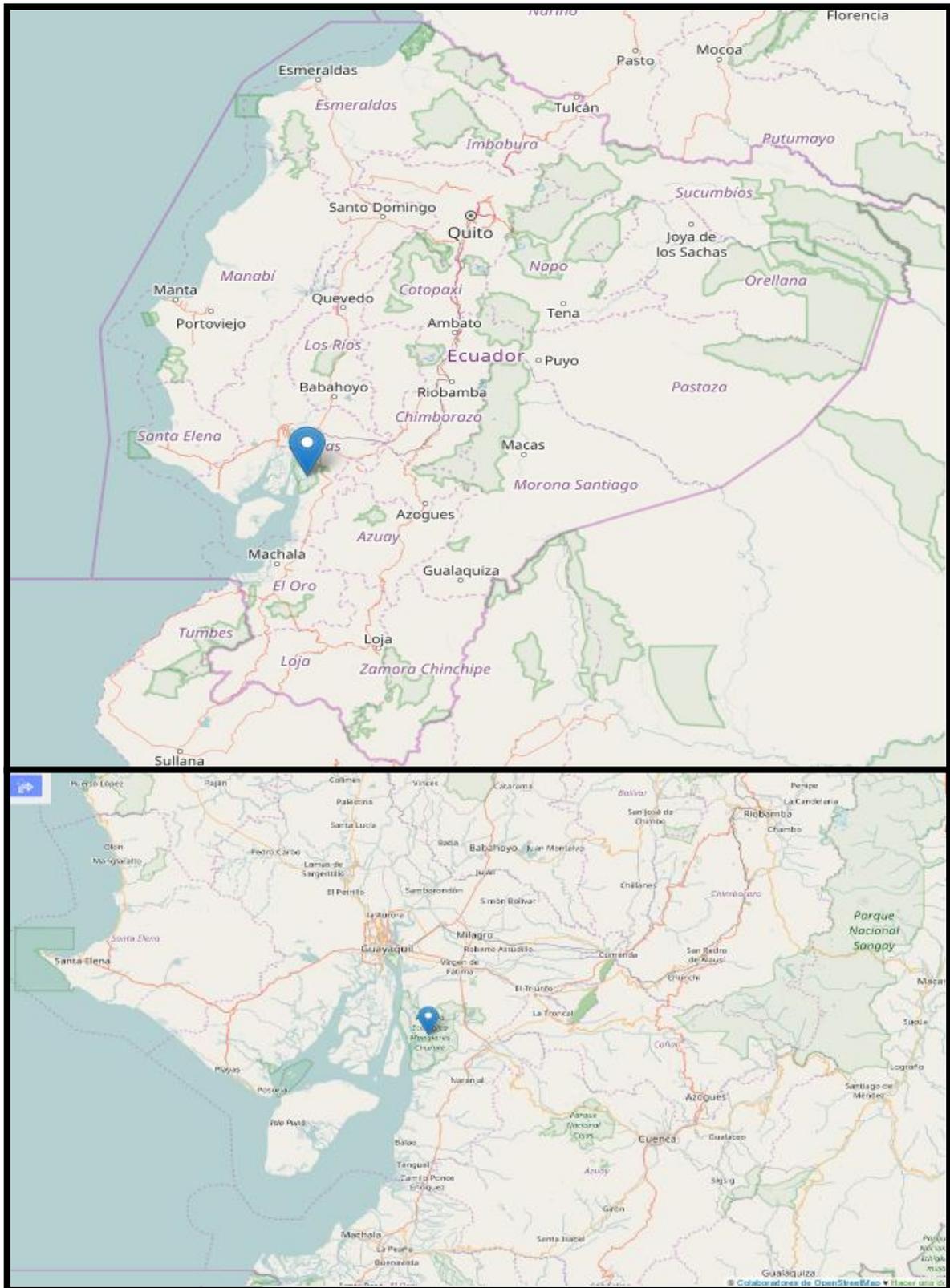


Figura 1.2.1 Ubicación en mapa de la Reserva Ecológica Churute

Fuente: [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)

### **1.3. Planteamiento del problema**

En base a la información obtenida mediante la información de campo, se ordenó y tabuló la información, teniendo una síntesis dividida en los siguientes aspectos:

#### **Humano**

El consumo de agua sin tratar es peligroso para la salud. Asearse con agua cuya calidad es desconocida genera intranquilidad en quienes laboran en la empresa.

#### **Técnico**

Las instalaciones para la captación de agua son rústicas, inadecuadas, ineficientes y poco seguras. La ubicación de los pozos sépticos, cercanos al pozo, son un foco de infección para el agua del pozo.

#### **Industrial.**

Lavar el producto con agua contaminada es perjudicial para la calidad del producto.

#### **Económico.**

El consumo de los recursos humano y capital disminuye el rendimiento de la empresa.

#### **Ambiental**

La instalación de bombeo que posee la empresa tiene como consecuencia el desperdicio del recurso agua, ya que esta se regresa del tanque elevado a la superficie del pozo.

### **1.4. Justificación**

El presente estudio se centra en dar a los trabajadores agua de calidad, que puedan beber con libertad y sin preocuparse por contraer alguna enfermedad. La salubridad de un pueblo depende, entre otros factores, de la cantidad y calidad de agua suficiente para sus necesidades y constituye el auténtico cimiento del urbanismo moderno. Refiriéndose al agua, los profesores José Paz Maroto y José Paz Casañé, en su libro *Abastecimientos de Agua*, 1962, al igual que Peter H. Diamandis y Steven Kotler, en su libro *Abundancia*, 2012.

En abril de 1993 tuvo lugar la mayor epidemia transmitida por un abastecimiento de aguas en toda la historia de los Estados Unidos. Esto fue en Milwaukee, provocada por el parásito apicomplejo *Cryptosporidium*, que afectó a más de 400 000 habitantes, y causó 69 muertos (Water Quality and Health, 2014). Al igual que esta epidemia, causada por consumir agua contaminada, se han presentado otras similares alrededor del mundo. Haciendo notar la importancia y el beneficio que un tratamiento efectivo de agua brinda a toda la población.

Es pertinente que en este momento se proponga un diseño para un sistema de potabilización de agua, ya que todavía no ha existido algún problema de salud masivo en los trabajadores. El agua no tratada y el saneamiento deficiente están relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, otras diarreas, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis. Los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población a riesgos prevenibles para su salud (OMS, 2006).

El agua subterránea que abastece al pozo corre el riesgo de contaminación por pesticidas, por ser una camaronera situada en una zona agrícola y además de contaminación por bacterias u hongos. Adicional a esto, la camaronera incurre en un gasto al comprar 15 bidones de agua por semana a \$2.40 cada uno, lo que suma \$36 por semana, \$1728 por año y \$8640 en 5 años. La puesta en marcha de una planta les generaría un ahorro, ya que podrán beber el agua directamente, una vez tratada.

El diseño que se plantea en el presente proyecto es único y específico a las necesidades y la realidad del sector, y cuenta con un procedimiento de control de calidad del agua, para el mantenimiento del sistema de potabilización.

### **1.5. Hipótesis**

El agua proveniente del pozo no es apta para el consumo directo y requiere de un proceso de potabilización para el consumo humano y proceso de lavado de camarones.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Diseñar una planta potabilizadora de agua, que satisfaga las necesidades de una camaronera, para lavado de camarones y consumo humano.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Realizar el análisis físico-químico y microbiológico del agua de pozo que se va a tratar.
- Determinar procesos de potabilización para agua analizada.
- Diseñar y seleccionar los elementos que forman parte del proceso de potabilización del agua del pozo y que puedan tratar posibles contaminantes propios del sector y su actividad productiva.
- Diseñar sistema de calidad para el control y mantenimiento de la planta potabilizadora de agua.
- Diseñar la obra civil segura, de calidad y económica.
- Calcular el presupuesto de inversión para la construcción funcional de la planta potabilizadora.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

El presente estudio es de nivel descriptivo, porque busca especificar propiedades y características de las variables analizadas, con un enfoque cuantitativo ya que, se usó la recolección de datos para poner a prueba la hipótesis basándose en la medición y levantamiento de datos, lo que facilitó establecer patrones de comportamiento para probar teorías.

El marco teórico expone acerca de la teoría y conceptos a tener en cuenta para el entendimiento del problema, desarrollo y obtención de resultados. El proyecto realizado tiene un especial enfoque en dos componentes, la ingeniería química y la ingeniería civil, como lo es: calidad del agua, procesos de tratamiento y diseño sino resistente de la obra civil.

### 2.1. Tipos de camaroneras

Existen dos tipos de camaroneras según su ubicación geográfica: Camaroneras de playa y Camaroneras de manglar (Bravo, 2014).

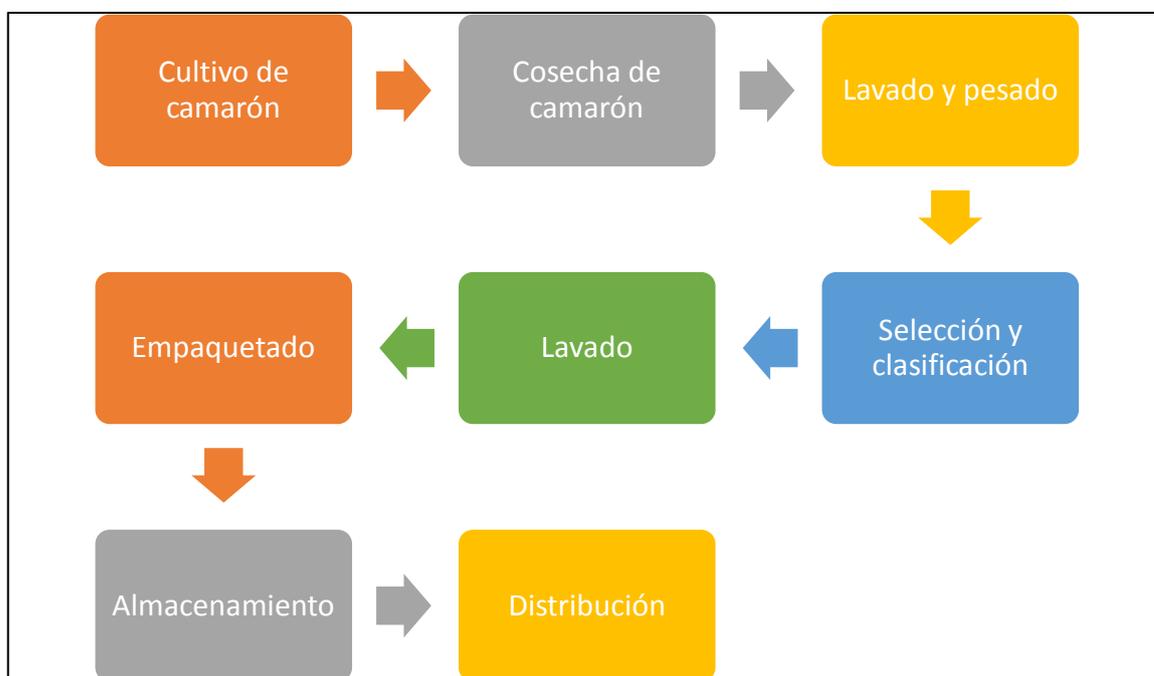
La construcción de una camaronera de manglar consiste primero en la tala de manglar y la apertura de piscinas por medio de un sistema de bombeo, cuya agua proviene del río o estero. Se ubican en lugares alejados de una red de transporte público y de poblados y debido a ello cuentan con residencias para sus trabajadores quienes se abastecen de agua de pozo para su consumo diario (Bravo, 2014).

### 2.2. Proceso de producción de camaroneras

La cría de camarones en ambientes naturales o semi-naturales tiene tres fases principales:

- Maduración y reproducción
- Desove y cría desde huevo a post-larva
- Engorde desde post-larva a tamaño comercial

El proceso de cultivo ocurre en los estanques o piscinas camaroneras: Primero con larvas que se convierten en grandes camarones, luego de esto cuando el camarón se ha desarrollado, tiene el tamaño y peso deseado, es cuando inicia la cosecha. En el siguiente diagrama mostramos los pasos de la cosecha del camarón.



**Figura 2.2.1. Diagrama de Proceso del Camarón**

*Fuente: Alberto Olivares – CENDEPESCA*

El proceso requiere agua para la limpieza e higiene de: equipos, utensilios, trabajadores y producto terminado. El departamento de calidad supervisa la inocuidad de los procesos productivos.

### **2.3. Calidad del agua disponible**

La calidad del agua corresponde al origen de su fuente. En el presente trabajo se expone exclusivamente acerca del tratamiento de agua de pozo conocida además como agua subterránea o acuíferos.

Los acuíferos, muchos no lo consideran que estos están expuestos a contaminación y a cambios drásticos según el clima. Por lo que en el transcurso del tiempo la calidad del agua no se mantiene constante, por influencia de agentes

próximos. Un causante de la variación de la calidad son los ríos cercanos, estos traen contaminantes de otros puntos lejanos que por medio de la capa freática son transpasados a los acuíferos. Otro medio de influencia es el suelo, por filtración de pesticidas, lixiviados de aguas residuales, desechos animales o humanos por vertido de aguas residuales. Este tipo de contaminaciones ocurren de forma gradual, y de ahí la importancia de efectuar mediciones de la calidad del agua de forma periódica para identificar problemas en caso de que ocurran. (Vargas, 2002).

### 2.3.1. Características físicas

Las propiedades físicas son las que más impresionan al consumidor. Las características representativas para el presente estudio son: Turbidez, color, sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos (ver figura 2.3.1.1).

**Tabla 2.3.1.1. Características físicas representativas**

Parámetros	Descripción
Turbidez	El término se aplica en aguas que contienen materia suspendida que interfiere con el paso de la luz. La turbidez puede estar causada por una amplia gama de materiales suspendidos, que van desde los coloides hasta dispersiones gruesas y desde sustancias de origen inorgánico hasta aquellas de naturaleza predominantemente orgánica. Para medir la turbidez se utiliza un método instrumental y dos métodos visuales. El método instrumental usa la nefelometría para medir la intensidad de la luz dispersada por las partículas de turbidez. Es apropiada para la evaluación de aguas claras, ya que su rango es de 0 - 40 NTU (unidades nefelométricas de turbidez); se usa como estándar una suspensión de formazina.
Color	El color en las aguas proviene de extractos vegetales de considerable variedad, tales como taninos, ácido húmico y humatos. El color natural en el agua se origina en partículas coloidales cargadas. Las aguas superficiales pueden aparecer coloreadas debido a materia suspendida. El color ocasionado por la materia suspendida se llama color aparente, y se diferencia del color originado por extractos vegetales u orgánicos de naturaleza coloidal, que se llama color verdadero. El color producido por 1 mg/l de cloroplatinato de potasio se toma como la unidad estándar de color.
Sólidos Suspendidos	Es la cantidad en peso de compuestos suspendidos en el agua (compuestos no solubles en agua) para cada unidad de volumen. Se lo representa en mg/l o ppm.

Parámetros	Descripción
Sólidos Disueltos	Es la cantidad en peso de compuestos disueltos en el agua (compuestos solubles en agua) para cada unidad de volumen. Se lo representa en mg/l o ppm.
Sólidos Totales	Es el total de sólidos suspendidos más sólidos disueltos presentes en el agua. Se lo representa en mg/l o ppm.

Fuente: (Vidal, 2003)

### 2.3.2. Características químicas

Las sustancias minerales contenidas en el agua deben quedar comprendidas entre los límites que la experiencia ha encontrado necesario o tolerable para el consumo humano. Los parámetros químicos más estudiados y representativos son: Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitratos, Hierro, Dureza, Calcio, Magnesio, pH, Salinidad, Conductividad (ver figura 2.3.2.1).

**Tabla 2.3.2.1. Características químicas representativas**

Parámetros	Descripción
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido u oxidado por medios biológicos al degradar la materia orgánica de una muestra líquida. Normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O <sub>2</sub> /L).
Demanda química de oxígeno (DQO)	Parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltos o en suspensión en una muestra líquida.
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	Este anión como el amoníaco entra el agua vía el ciclo del nitrógeno más que por una disolución de minerales. Su concentración en el agua potable fue restringida en 1977 a 10 ppm debido a razones fisiológicas. El único proceso capaz de remover este anión es el intercambio iónico.
Hierro (Fe)	En la ausencia de oxígeno este metal es completamente soluble en su estado reducido (valencia +2). Cuando se oxida en un rango de pH de 7.0 - 8.5 es casi completamente insoluble y su concentración puede fácilmente reducirse a menos de 0.3 ppm, el límite máximo impuesto por las normas de agua potable

<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>
Dureza	La dureza del agua da un sabor característico a la misma, sabor que vulgarmente se lo conoce como "agua dura". El agua apta para el consumo humano regularmente contiene entre 10 hasta 500 miligramos por litro de carbonato de calcio. La Organización mundial de la Salud recomienda valores entre 100 a 300 miligramos por litro de carbonato de calcio. Sin embargo se debe tener en consideración si es una casa de un estrato medio y alto, probablemente tenga calentador de agua y en estos casos el valor de dureza debe estar en un máximo de 150 miligramos por litro de carbonato de calcio.
Calcio (Ca)	Es el componente de la dureza de las aguas encontrándose usualmente en un rango de 5 - 500 mg/l como CaCO <sub>3</sub> (2 - 200 mg/l como calcio). Su reducción es necesaria para fines de enfriamiento y para la generación de vapor. La dureza de calcio puede reducirse a un nivel de 35 ppm como CaCO <sub>3</sub> con el proceso de Cal/soda; puede bajarse hasta menos de 1 ppm por métodos de intercambio iónico.
Magnesio (Mg)	Es el otro catión que constituye la dureza del agua y representa normalmente 1/3 de la dureza total siendo los 2/3 restantes calcio. La concentración del magnesio típicamente está entre 10 y 50 mg/L (40 - 200 mg/L CaCO <sub>3</sub> ).
Potencial de Hidrógeno (pH)	Es una medida referencial de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio [H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ] presentes en determinadas sustancias.
Salinidad	Contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua. Conocido también como contenido salino en suelos o en agua. Se expresa tradicionalmente en partes por mil, a gramos de sal por litro de solución. En química analítica se expresa la salinidad en mg/l ó ppm.
Conductividad	La conductividad de una sustancia se define como "la habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido". Las unidades son Siemens por metro [S/m] en sistema de medición SI.

*Fuente:* (Rodier, 2011), (J. Glynn Henry, 1999), (Lenntech, 2017)

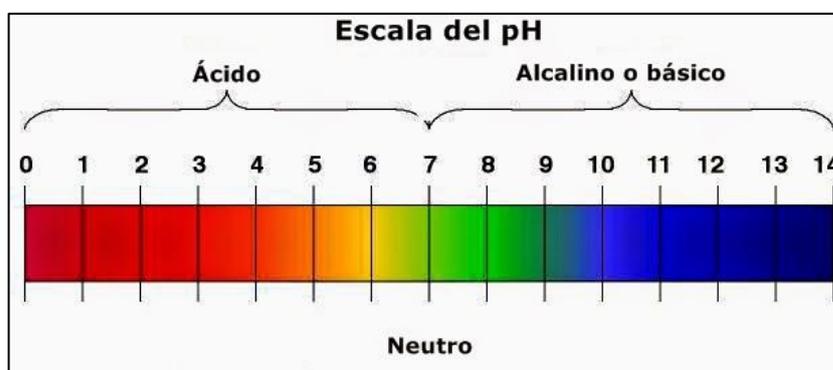
La Organización Mundial de la Salud, expresa que el agua con dureza mayor a 200 ppm puede generar incrustaciones en depósitos o tuberías. Si es menor a 100 ppm, se presencia corrosión en tuberías a largo plazo.

**Tabla 2.3.2.2. Clasificación del agua según la dureza**

Clasificación	ppm CaCO <sub>3</sub>
Muy Blandas	0 – 15
Blandas	16 – 75
Semiduras	76 – 150
Duras	150 – 300
Muy Duras	> 300

Fuente: (OMS, 2006) (Basulto, 2014)

En la figura 2.3.2.1 se puede observar la escala de colores del pH, desde el más ácido hasta el más básico, según la forma de colorimetría más común.



**Figura 2.3.2.1. Escala de pH**

Fuente: (J. Glynn Henry, 1999)

Agua pura no es un buen conductor de la electricidad. El agua destilada ordinaria en equilibrio con dióxido de carbono en el aire tiene una conductividad aproximadamente de  $10 \times 10^{-6} \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  (20 dS/m). Debido a que la corriente eléctrica se transporta por medio de iones en solución, la conductividad aumenta cuando aumenta la concentración de iones (Lenntech, 2017). En la siguiente tabla se expresa la clasificación de los distintos tipos de agua según su conductividad.

**Tabla 2.3.2.3. Conductividad en distintos tipos de aguas**

Agua Ultra Pura	$5,5 \times 10^{-6} \text{ S/m}$
Agua potable	0,005 – 0,05 S/m
Agua del mar	5 S/m

Fuente: (Lenntech, 2017)

### **2.3.3. Características Microbiológicas**

Las condiciones microbiológicas del agua son fundamentales desde el punto de vista sanitario. El agua debe estar exenta de gérmenes patógenos de origen entérico y parasitario intestinal, que son los que pueden transmitir enfermedades como, por ejemplo, *Salmonellas*, *Shigellas*, *Eberthellas*, *Amebas*, *Staphylococcus*, *Escherichia Coli*, *Pseudomona Aeruginosa*, etc. (Spicer, 2009)

#### **2.3.3.1. Enfermedades causadas por la *Pseudomona Aeruginosa***

*Pseudomona Aeruginosa* es una especie de bacteria, patógeno oportunista en humanos y también en plantas. Oportunista de individuos inmunocomprometidos, infecta los pulmones y las vías respiratorias, las vías urinarias, los tejidos, (heridas), y también causa otras sepsis (infecciones generalizadas en el organismo). Puede causar neumonía.

La fibrosis quística está también predispuesta a la infección con *P. Aeruginosa* de los pulmones, es el causante de dermatitis, causada por disminución del control de la calidad del agua de bebida. Además, el más común causante de altas fiebres en infecciones.

Cuando la bacteria se aísla de sitios estériles (sangre, hueso, colecciones profundas) debe tomarse con mucha seriedad y en la mayor parte de los casos requiere tratamiento rápido. (Spicer, 2009)

#### **2.3.4. Otros contaminantes**

Estos son compuestos complejos tales como plaguicidas. Entre estos los más conocidos y analizados en aguas son Dibromocloropropano (DBCP), *Dibromoetileno (DBE)*, *Dicloropropano (1,2)*, *Diquat*, *Glifosato*, *Toxafeno*, *Xilenos (totales)*, *Carbamatos Totales*, *Organoclorados Totales*, *Organofosforados Totales*.

### **2.4. Potabilización del agua**

El tratamiento de agua tiene como objetivo fundamental mejorar la calidad, química, física y microbiológica del agua proveniente de las diferentes fuentes naturales, con contaminación o sin ella, a fin de entregarla al consumo apta, inocua y

aprovechable para el usuario (J. Glynn Henry, 1999), cuyo tratamiento debe incidir en tres aspectos básicos:

- a) **Higiene:** Eliminar o reducir bacterias, lodos, parásitos y aquellos componentes físico-químicos que puedan afectar la salud del consumidor.
- b) **Estética:** La presentación estética del agua habla por sí sola sobre su calidad, inodora, incolora, insípida. Estos son en general los factores físicos del agua, el aspecto más considerado por los consumidores.
- c) **Económico:** Un óptimo sistema de tratamiento de agua debe proveer un impacto económico positivo, con la mejor relación costo / beneficio.

Para la selección de procesos de tratamiento y diseño de la planta. Se debe empezar por conocer la fuente de donde proviene el agua, su entorno, propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Recopilando dicha información se está en la capacidad de seleccionar los procesos de potabilización adecuados para el caso.

Las plantas potabilizadoras se diseñan conforme a las características propias del agua a tratar. El agua superficial para consumo humano siempre necesita un tratamiento parcialmente completo; en cambio, las exigencias para el agua subterránea dependen fundamentalmente de su composición química. En todo caso, para servicios públicos es indispensable la desinfección. Las unidades y etapas de un tratamiento convencional de proceso de tratamiento para obtener agua potable son las siguientes, incluyendo el abastecimiento:



**Figura 2.4.1. Planta de tratamiento convencional**

*Fuente: (J. Glynn Henry, 1999)*

**Captación y bombeo:** Captación y bombeo del agua de la fuente natural, sea un río, pozo o mar.

**Desbaste:** Es un tratamiento previo (pretratamiento). Tiene por objeto proteger a la estación de la posible llegada de grandes objetos que puedan provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación o dificultar los restantes tratamientos.

**Sedimentador Primario:** Consiste en utilizar las fuerzas de gravedad para separar una partícula de densidad superior a la del líquido hasta una superficie o zona de almacenamiento. Según las características del agua, se calcula un tiempo de sedimentación y una pendiente para la acumulación de sedimentos.

**Sedimentador, Coagulación, Floculación:** Para aguas con una concentración por encima de los parámetros permisibles de sólidos suspendidos, se recomienda el proceso de sedimentación, coagulación y floculación. Estos procesos en conjunto eliminarán los componentes sólidos en suspensión. La sedimentación es el primer

proceso, este es un proceso netamente físico, por efecto de la gravedad las partículas sólidas de mayor peso son retenidas. Luego en la coagulación se añade un agente químico, conocido como agente coagulante, genera coágulos de sólidos suspendidos. Las partículas que se repelían unas a otras son atraídas las unas a las otras.

Finalmente el proceso de floculación, consiste en agitación suave y lenta. Las partículas entran más en contacto recíproco, se unen unas a otras para formar partículas de mayor tamaño que puedan separarse por sedimentación o filtración. (Gordon Maskew Fair, 1990).

**Desinfección:** Eliminación de los microorganismos patógenos contenidos en el agua que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento del agua.

El cloro es el reactivo más utilizado para la desinfección del agua, en su forma comercial se lo encuentra como Hipoclorito de Sodio. Posee un poder oxidante remanente muy elevado, que favorece la destrucción de las materias orgánicas. Su acción bactericida puede explicarse por la destrucción de las enzimas indispensables para la vida de los agentes patógenos (Vidal, 2003).

Es fundamental garantizar la completa mezcla del hipoclorito de sodio con el agua a tratar. Se recomienda un promedio de treinta minutos de contacto, dando tiempo suficiente a la reacción y consumo del hipoclorito de sodio en el agua. Al final del proceso de cloración, se mide la concentración de cloro residual en el agua, que debe ser de 0.5 a 1 ppm de cloro. (Degrémont, 1979, pág. 403).

#### **2.4.1. Filtración**

El trabajo de los filtros es retener sólidos de un cierto tamaño de partículas según las características del medio filtrante. El filtrado se puede realizar por “soporte” o a través de “lecho filtrante”. Con fines de potabilizar agua se efectúa filtración sobre lechos filtrantes de grava y arena, por la cantidad de material de retención y dimensiones de las partículas contenidas en el agua. Tener en cuenta que los

materiales a retener deben penetrar profundamente dentro del lecho y no bloquearlo en la superficie del mismo.

Los filtros se bloquean o atascan a medida que en su lecho se cargan materiales que retienen el flujo de agua. Esto se evidencia fácilmente por medio de manómetros. Al evidenciar un incremento de la presión en el filtro, significa que el mismo está sufriendo de atascamiento y debe procederse a lavarlo.

Para el lavado del filtro, se inyecta a contra corriente agua a presión, despegando las impurezas y arrastrando los materiales que provocan la retención a la superficie del filtro. Proceder con pasos de mantenimiento según recomendaciones del fabricante. (Vidal, 2003)

#### **2.4.1.1 Tipos de filtros de grava y arena**

Los filtros de grava y arena son un tipo de filtro básico y elemental para todo sistema de tratamiento de aguas. Estos según su velocidad de filtrado se clasifican en; filtros de gravedad o filtros lentos, y en filtros a presión o filtros rápidos.

**Filtros de gravedad o filtros lentos:** Aquellos filtros que el agua fluye por acción de la gravedad. La velocidad de filtrado es lenta, por lo que se requiere una superficie amplia de filtración.

Para dimensionar un filtro de este tipo para un flujo o caudal de agua determinado se emplea la relación Caudal/Área o  $Q/A$ . Para un flultro lento o de gravedad se emplea una relación de  $Q/A$  de 0.6 a 6 LPM/m<sup>2</sup> (L/min×m<sup>2</sup>). Para menor relación de Caudal/Área, menor es el flujo por unidad de área del filtro, para una mayor remoción de sólidos suspendidos, lo que requiere a su vez una mayor área de filtración para un caudal específico.

Las dimensiones del filtro dependerán de varios factores, tales como: presupuesto, espacio, recursos disponibles, calidad del agua inicial, calidad del agua final. (Gordon Maskew Fair, 1990)

**Filtro a presión o filtro rápido:** Este tipo de filtros son similares a los filtros de gravedad o filtros lentos. Los filtros rápidos, el agua es impulsada por una bomba a

fluir a través de las diferentes capas de material filtrante. En estos filtros la relación de Caudal/Área está entre 80 y 120 LPM/m<sup>2</sup> (L/minxm<sup>2</sup>), permitiendo así con un área de filtración reducida (comparada con la de un filtro lento) se pueden manejar grandes caudales de agua.

Siendo la eficiencia de remoción de filtros rápidos es baja en comparación con un filtro lento, por razones de espacios disponibles para construir un filtro lento, ha hecho muy populares estos filtros, ya que con un buen manejo y diseño, se obtiene agua de calidad. (Gordon Maskew Fair, 1990)

**Ciclos de filtración:** A medida que los sólidos son retenidos en las capas del lecho filtrante, la caída de presión o resistencia al flujo es cada vez mayor y el volumen de agua disminuye y/o la calidad del efluente es reducida, presentándose en el líquido un mayor grado de turbidez, ya que la cantidad de sólidos que se encuentran en el filtro es muy grande y la superficie disponible para retención de sólidos suspendidos está agotada. Cuando esto ocurre se dice que se ha cumplido el ciclo de filtración. (Vidal, 2003)

Para regresar el medio filtrante a su condición original, es necesario remover los sólidos adheridos a la superficie del material granular del filtro. Para esto, se hace fluir agua en forma ascendente, en forma inversa a como fluye el agua durante la filtración, tratando de desprender los sólidos que saturan el material granular del filtro. A esto se le llama retro-avado, y el flujo de agua empleado para retrolavar el filtro, debe ser suficientemente grande para desprender los sólidos retenidos, pero no tan grande como para arrastrar las partículas de arena que son las que se encuentran en la parte inmediatamente superior del filtro.

**Ciclos de filtración:** Los filtros tienen un tiempo de vida útil y luego requieren ser lavados para que vuelvan a estar operativos. Esto es lo que se le denomina un ciclo de filtración. Lo que ocurre es que los sólidos suspendidos en el agua son retenidos en capas del lecho filtrante, evidenciándose en la salida del lecho, agua con un mayor grado de turbidez y mayor presión manométrica en el equipo. (Vidal, 2003)

El lavado de los filtros, denominado específicamente como retro-lavado es necesario para filtros de gravedad y filtros de presión. Se recomienda que el flujo de retro-lavado tenga un caudal entre 240 a 360 LPM/m<sup>2</sup>.

Una vez retro-lavado el filtro, se inicia de nuevo la filtración hasta que luego se vuelva a saturar el filtro con sólidos retenidos. El proceso: Filtración, Retro-lavado, Filtración se lo conoce como ciclo de filtración. Para estimaciones de diseño, un ciclo de filtración en un filtro de presión debe durar entre 8 y 30 días. En un filtro de gravedad, por tener un proceso de retro-lavado más problemático, debe durar entre 30 días y varios meses. (Vidal, 2003)

**Selección de las capas filtrantes:** El cálculo y selección de número de capas y del diámetro de granulometría de cada una de éstas depende de las propiedades físico químicas del agua. No hay una fórmula matemática exacta que relacione parámetros físicos químicos con el número de capas filtrantes y granulometría. Por lo que es recomendable, aún en ausencia de datos, efectuar pruebas de laboratorio, pruebas piloto para poder dimensionar un filtro que genere los resultados deseados. Esto aplica para filtros de gravedad y filtros rápidos, la experimentación es elemental para la construcción de este tipo de equipos de tratamientos. En las tablas 2.4.1.1.1 y 2.4.1.1.2 se muestran los tipos de material que se suelen usar en un filtro, especificando el orden en el que deben ir, los diámetros de la partícula y el espesor necesario para cada material. (Gordon Maskew Fair, 1990)

**Tabla 2.4.1.1.1. Tipos de material para filtros**

Tipo de material	Diámetro (pulgadas)	Espesor (pulgadas)
Grava Gruesa	1½ a ¾	8
Grava Mediana	¾ a ½	2½
Grava Fina	½ a ¼	2½
Gravilla	¼ a 1/8"	3
Arena Gruesa	1.2 a 0.8 mm	3
Arena Fina	0.55 a 0.45 mm	20 a 24

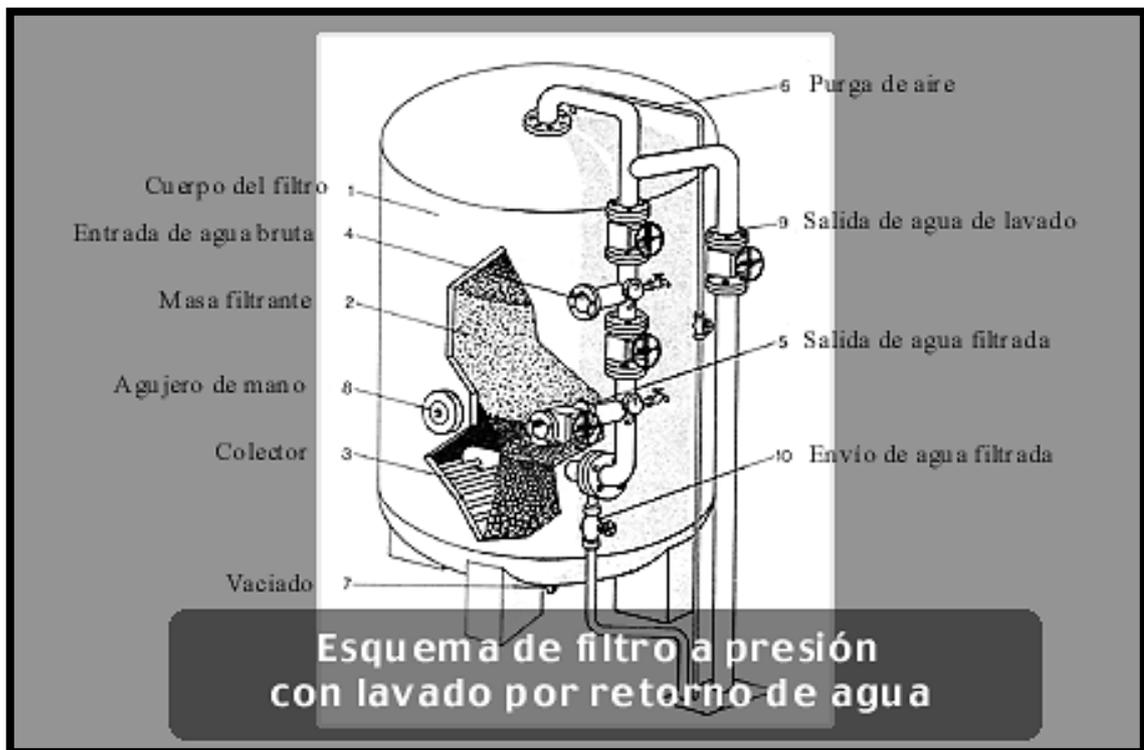
Fuente: (Gordon Maskew Fair, 1990)

**Tabla 2.4.1.1.2. Tipos de material para filtros**

Tipo de material	Diámetro (pulgadas)	Espesor (pulgadas)
Grava Gruesa	1½	8
Grava Mediana	1	4
Grava Fina	3/8	4
Gravilla	¼	4
Arena Fina	0.55 a 0.45 mm	20 a 24

Fuente: (Gordon Maskew Fair, 1990)

A continuación, en la figura 2.4.1.1.1 se muestra un esquema detallado con todas las partes de un filtro a presión, que utiliza retro-lavado solo con agua. El material del tanque es acero, tiene un lecho filtrante multicapa, sin contar la grava, ya que solo hace la función de soporte para las capas superiores que realizan la acción de filtrar, en la superficie y al interior del lecho (Degrémont, 1979).



**Figura 2.4.1.1.1. Filtro vertical a presión, de acero, multicapas**

Fuente: (Degrémont, 1979, pág. 274)

## 2.4.2 Tratamientos para la potabilización del agua

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular debe fundamentarse en estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de

laboratorio para asegurar su efectividad. Se deben aplicar los tratamientos específicos mencionados a continuación en la Tabla 5, cuando los contaminantes biológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua, excedan los límites permisibles establecidos. (OMS, 2006)

Es importante mencionar que cada fuente natural de agua se trata de una forma particular y única, según las necesidades que se deban suplir y las características que presente el agua. Por eso es indispensable la realización de análisis (físico-químicos y bacteriológicos) al agua que se pretende tratar. Y depende mucho del criterio del Ingeniero, responsable del diseño de la planta, escoger la mejor opción de tratamiento del agua. En la siguiente tabla se muestran los tratamientos que se deben realizar al agua, según la contaminación y las características que presente.

**Tabla 2.4.2.1. Tratamientos para la potabilización del agua**

	<b>Agentes</b>	<b>Tratamiento</b>
<b>Contaminación Biológica</b>	Bacterias, helmintos, protozoarios y virus	Por medio de una desinfección con cloro, compuestos de cloro, ozono o luz ultravioleta.
<b>Características físicas y organolépticas</b>	Color, olor, sabor y turbiedad	Coagulación, floculación, precipitación, filtración, o adsorción en carbón activado
<b>Constituyentes químicos</b>	Dureza	Ablandamiento químico o intercambio iónico
	Fenoles o compuestos fenólicos	Adsorción en carbón activado u oxidación con ozono.
	Hierro y/o manganeso	Oxidación, filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa
	Materia orgánica	Oxidación, filtración o adsorción en carbón activado
	Nitratos y nitritos	Intercambio iónico o coagulación, floculación, sedimentación, filtración.
	Nitrógeno amoniacal	Coagulación floculación sedimentación filtración,

		desgasificación o desorción en columna.
	pH	Neutralización
	Plaguicidas	Adsorción en carbón activado granular
	Sodio	Intercambio iónico

Fuente: (OMS, 2006)

## 2.5. Reglamentos y Normativas de Agua Potable

Según la “Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1” se presentan los siguientes reglamentos y tablas de parámetros para el agua:

### Calidad del agua para consumo humano y doméstico.

Se entiende como agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se usa en actividades como:

- I) Preparación de bebidas y alimentos para consumo.
- II) Limpieza personal, limpieza de alimentos y doméstica.

Esta norma aplica para aguas que requieran únicamente de tratamiento convencional destinadas para consumo humano y uso doméstico. Estas deben cumplir con los siguientes parámetros:

**Tabla 2.5.1. Límites Máximos Permisibles para Aguas de Consumo Humano y Uso Doméstico, que Únicamente Requieren Tratamiento Convencional**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3.000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	2,0
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	500
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Olor y Sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno Disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80 % del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l
Potencial de Hidrógeno	pH		6 - 9
Sólidos Disueltos Totales	STD	mg/l	1.000
Turbiedad		UTN	100
Pesticidas y herbicidas			
Organoclorados Totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados Totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1

Fuente: (Acuerdo N° 97/A Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al Recurso Agua, 2015)

Las aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de desinfección, deberán cumplir con los requisitos que se mencionan a continuación:

**Tabla 2.5.2. Límites Máximos Permisibles para Aguas de Consumo Humano y Uso Doméstico que Únicamente Requieran Desinfección.**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo Permissible
Coliformes Totales	nmp/100 ml		50
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	2
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	500
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,3
Materia Flotante			Ausencia
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Olor y Sabor			Ausencia
Oxígeno Disuelto	O.D	mg/l	No menor al 80 % del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l
Potencial de Hidrógeno	pH		6-9

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo Permisible
Sólidos disueltos totales	STD	mg/l	500
Turbiedad		UTN	10

Fuente: (Acuerdo N° 97/A Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al Recurso Agua, 2015)

A continuación, se muestra una tabla comparativa entre los estándares de calidad para el agua potable de la OMS y la Unión Europea.

**Tabla 2.5.3. Comparación de estándares de calidad del agua de la OMS y la U.E.**

Parámetros	OMS	U.E.
DQO	No hay directriz	No se menciona
DBO <sub>5</sub>	No hay directriz	No se menciona
Nitratos	50 mg/L	50 mg/L
Hierro	0,3 mg/L	0,2 mg/L
Dureza	150 – 500 mg/L	No se menciona
Calcio	No se menciona	No se menciona
Magnesio	No se menciona	No se menciona
pH	6,5 – 8,5	No se menciona
Salinidad		
Conductividad	250 uS/cm	250 uS/cm
Turbiedad	Menor a 5 NTU	No se menciona
Sólidos Totales	No hay directriz	No se menciona
Sólidos Suspendidos	No hay directriz	No se menciona
Sólidos Disueltos	No hay directriz	No se menciona
<b>Parámetros Microbiológicos</b>		
Aerobios Totales	No se menciona	20/ml
Staphylococcus	No se menciona	No se menciona
E. Coli	No se menciona	0 en 250 ml
Pseudomona Aeruginosa	No se menciona	0 en 250 ml

Fuente: (Lenntech, 2017)

## 2.6. Fundamentos para la Obra Civil

La obra civil está dividida en dos partes:

- Diseño del tanque reservorio.

- Diseño de la caseta de equipos.

En razón de los eventos sísmicos ocurridos en el año 2016, el Gobierno del Ecuador empezó a exigir que las construcciones resistan a sismos según contemplan las normas de la construcción. Para este efecto, las actividades de construcción han sido diseñadas bajo criterios de sismo resistencia. En las siguientes secciones se presenta, a manera de introducción, clasificaciones de las dos partes a ejecutarse. Es necesario recalcar, que nuestra norma ecuatoriana no contempla el diseño sismo resistente para estructuras contenedoras de líquidos, al menos no de la manera como se espera. Para esto, se ha recurrido a varias normas internacionales, y a criterio del diseñador se las ha utilizado según corresponde. En cada paso del algoritmo, recomendación y/o fórmulas, de diseño sismo resistente para el tanque reservorio se adjunta la fuente para su discusión.

#### **2.6.1. Diseño sísmico del tanque reservorio.**

El tipo de tanque que se va a utilizar estará en función de los siguientes parámetros:

- Las condiciones topográficas.
- La disponibilidad de terreno.
- La ubicación en el terreno.
- La geometría más favorable.
- El material disponible en la región.
- El uso que se le va a dar.
- El tipo de líquido que contendrá.

En la presente sección se brinda una clasificación de los tanques que cubre la mayoría de los casos existentes, pero su clasificación completa podría volverse muy extensa, y para los fines prácticos de este documento, ciertamente innecesaria. Por lo que adecuaremos la clasificación de los tanques, haciendo referencia a aquellos que se usan a presiones atmosféricas y relacionadas con los procesos de tratamientos del agua. En función de esto, podemos presentar la siguiente clasificación de los tanques:

**Tabla 2.6.2.1. Clasificación de Tanques**

Tipos de Tanques		
<b>Por su ubicación</b>	Enterrados	Se construyen bajo el nivel del suelo. Protegen el agua de las variaciones de temperatura. Requieren importantes excavaciones.
	Semienterrados	Tienen parte de su estructura baja el nivel del terreno y parte sobre el nivel del terreno. Se emplean cuando el terreno tiene dificultad de excavación. Permite un fácil acceso a las instalaciones del tanque
	Superficiales	Se construyen sobre la superficie del terreno, normalmente cuando la topografía es adecuada y el terreno es duro. Su mantenimiento es más sencillo al igual que la instalación, operación y mantenimiento de las tuberías.
	Elevados	Su base está por encima del nivel del suelo y se localizan en el centro de uso para evitar pérdidas por carga, fricción y además se puede equilibrar las presiones lo más posible.
<b>Por su geometría</b>	Cilíndricos	Cuando se tiene un perímetro mínimo y se usan para: tratamiento de aguas residuales, de regulación, tanques de sumergencia, tanques unidireccionales, espesadores de lodos, torres de oscilación, etc. Estos pueden ser de concreto colado, vaciado o colocado en el sitio; pretensados, postensados o de acero.
	Rectangulares	Entre los depósitos rectangulares se tienen los tanques de regulación, sedimentadores, floculadores, filtros, cajas repartidoras, cárcamos de bombeo, cajas rompedoras de presión, digestores de lodos, etc. Normalmente en este tipo los depósitos son de concreto.
	Esféricos	Generalmente se construyen sobre la superficie, elevados en torres, la altura que pueda tener aumenta la carga hidrostática para facilitar la distribución del líquido.
<b>Por su uso</b>	Recipientes abiertos	Los recipientes abiertos son comúnmente utilizados como tanque igualador o de oscilación como tinas para dosificar operaciones donde los materiales pueden ser decantados como: desecadores, reactores químicos, depósitos, etc. Son fabricados de acero, cartón, concreto, pero en las industrias son construidos de acero por su bajo costo inicial y fácil fabricación.

Tipos de Tanques		
	Recipientes cerrados	En aquellos depósitos que por la naturaleza del líquido que almacenan necesitan estar tapados, las cubiertas pueden ser planas, cónicas, en forma de domo, teóricas o una combinación de ellas. También tienen su aplicación para almacenamiento de agua potable

Fuente: (Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, 2007), (American Concrete Institute , 2006)

### 2.6.2. Diseño sísmico de la caseta de equipos.

La caseta de equipos ha sido diseñada, pese a su sencillez, como un sistema estructural. El diseño se rige a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, cuyas partes aplicables se enuncian en cada paso del algoritmo. Se presenta una clasificación de sistemas estructurales bajo diferentes criterios como sigue:

**Tabla 2.6.2.1. Clasificación de los sistemas estructurales**

Clasificación de los Sistemas Estructurales	
Esqueléticos	Son aquellas compuestas exclusivamente por barras: Marcos o pórticos, parrilla, viga continua y armaduras
Estructuras de Superficie.	Son aquellas que están hechas de tal forma que sus espesores son muy pequeños en relación a las otras dimensiones.
Estructuras Esenciales.	Son aquellas que son diseñadas con criterios especiales a fin de resistir en gran escala los embates de la naturaleza como, por ejemplo: Hospitales, centrales de policía, bomberos, cuarteles, militares, iglesias.
Según su ocupación.	Residenciales. Apartamentos, condominios <ul style="list-style-type: none"> <li>•Comerciales. Oficinas, tiendas minoristas, hoteles</li> <li>•Industriales. Almacenes (livianos o pesados)</li> <li>•Institucionales. Escuelas, hospitales, prisiones, edificios gubernamentales.</li> </ul> Especiales. Torres, complejos deportivos, centros de exhibición, centros de convenciones, estructuras marinas, edificios de parqueos. <ul style="list-style-type: none"> <li>•Mixtos o de usos múltiples. Áreas residenciales con áreas comerciales.</li> </ul>

<b>Clasificación de los Sistemas Estructurales</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mega estructuras. Edificios ciudades debido a falta de espacio horizontal. Áreas Residenciales + Comerciales + Educativas + Esparcimiento (Japón)</li> </ul>
De acuerdo al ASCE 7-05	<p>Categoría de Ocupación I: Edificios y otras estructuras que representan un peligro bajo a la vida humana en el evento de falla (ocupación normal).</p> <p>Categoría de Ocupación II: Edificios y otras estructuras no listadas en las otras categorías</p> <p>Categoría de Ocupación III: Edificios y otras estructuras que representan un peligro substancial a la vida humana, con posibilidades de causar un impacto económico substancial y/o masiva interrupción de la vida civil diaria en el evento de falla. Las no incluidas en la IV que contienen sustancias explosivas o tóxicas peligrosas al público en caso de derrame.</p> <p>Categoría de Ocupación IV: Edificios y otras estructuras diseñadas como esenciales. Que contienen sustancias altamente tóxicas.</p>
Según su altura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edificios bajos</li> <li>• Edificios medianos</li> <li>• Edificios altos</li> </ul>
Según el material empleado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edificios de hormigón armado.</li> <li>• Edificios de mampostería.</li> <li>• Edificios de acero estructural.</li> <li>• Edificios de madera.</li> <li>• Edificios compuestos.</li> </ul>
Según su sistema estructural.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas con muros de corte.</li> <li>• Sistemas de edificios aporticados.</li> <li>• Sistemas con pórticos resistente a momento.</li> <li>• Sistemas Dual con pórticos especiales resistentes a momento.</li> <li>• Sistemas Dual con pórticos intermedios resistentes a momento.</li> <li>• Sistemas pórtico-muros de corte.</li> <li>• Sistema con columnas en voladizo.</li> </ul>
Según su configuración en planta o elevación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edificios Regulares</li> <li>• Edificios Irregulares</li> <li>• Edificios Altos</li> </ul>

*Fuente: (American Concrete Institute , 2006) (PCA, 1993)*

### 2.6.3. Normativas a utilizarse

En el presente proyecto, en las secciones de pre-diseño y diseño, se ha recurrido a las siguientes normas:

**Tabla 2.6.3.1. Clasificación de los sistemas estructurales**

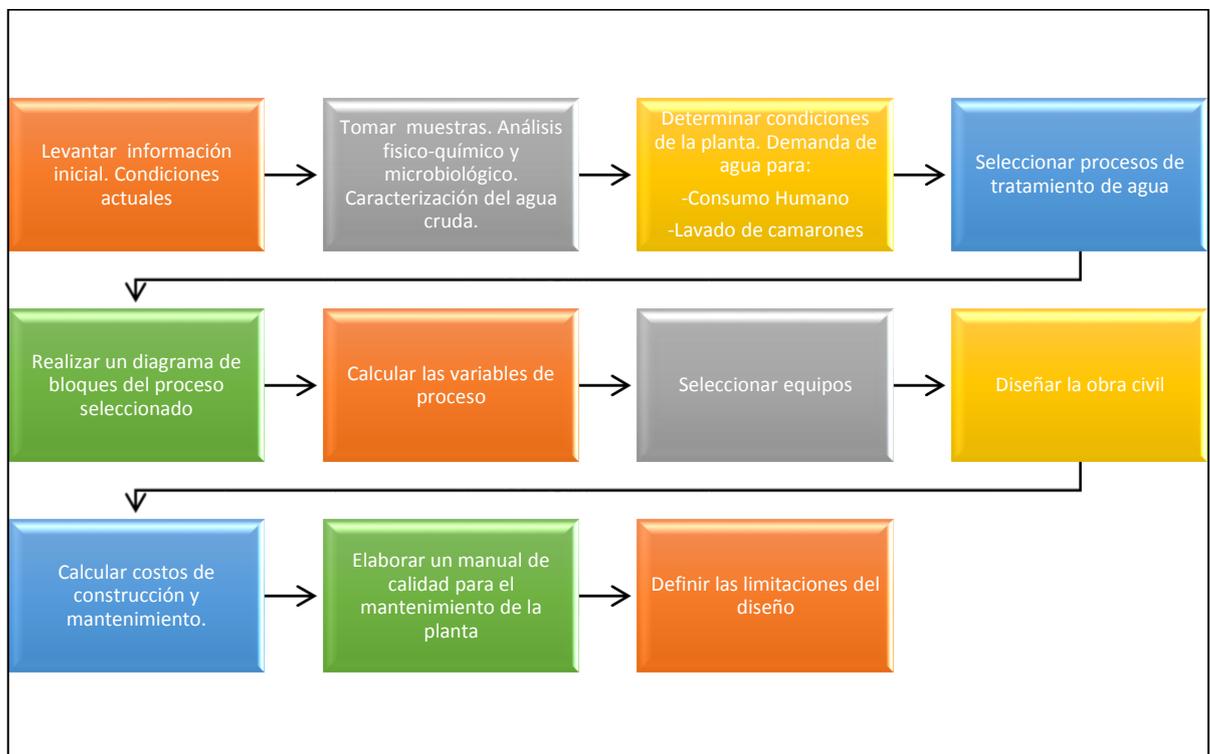
NEC – SE – DS (2015)	Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico – Diseño Sismo Resistente.
ASCE 7-10	American Society of Civil Engineers - Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Sociedad Americana de Ingenieros Civiles - Cargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras
ACI 318 s - 11	American Concrete Institute – Requisitos para Concreto Estructural.
ACI – 350 06	American Concrete Institute – Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures and Commentary. Instituto Americano del Concreto - Código Requisitos para Estructuras de Concreto de Ingeniería Ambiental y Comentarios.
ACI – 350 06.3	American Concrete Institute - Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary. Instituto Americano del Concreto - Diseño Sísmico de Estructuras de Concreto Contenedoras de Líquidos y Comentarios.
2006 IBC	International Building Code. Código Internacional de la Construcción
PCA	Portland Cement Association – Rectangular Concrete Tanks. Asociación del Cemento Portland - Tanques Rectangulares de Hormigón

*Fuente: F. Casella*

# CAPÍTULO 3

## 3. METODOLOGÍA

El diseño metodológico del presente proyecto es de tipo no experimental porque no se manipuló las variables, y los datos obtenidos están basados en los resultados observados de forma legítima, es de corte transversal porque la información se recolectó en un espacio de tiempo determinado. Se realizaron cinco visitas de campo para poder definir todos los parámetros necesarios para el desarrollo investigativo y metodológico del presente tema, el cual se presente a continuación (ver figura 3.1).



**Figura 3.1. Metodología de trabajo del presente estudio.**

*Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos*

Se empezó con un levantamiento de datos iniciales sobre la problemática actual. Se distinguió y detalló el sistema de abastecimiento de agua en la camaronera. Los datos obtenidos se tomaron en 4 visitas a la empresa, se tomó mediciones de las instalaciones actuales, muestras de aguas, se midió variables cualitativas y

cuantitativas, se entrevistó a trabajadores y al administrador para obtención de más información.

Con los resultados obtenidos del análisis de agua se procede a la selección de procesos de tratamiento y distribución de agua. Se desarrolló un diagrama de bloques del proceso de tratamiento seleccionado. Se plantearon los parámetros de diseño de la planta, como la demanda de agua de consumo humano y la demanda de agua para lavado de camarones. Luego se procedió al cálculo de las variables del proceso como la potencia de la bomba, caudal de diseño, diámetro de la tubería de servicio, etc.

Con las variables determinadas se procedió a la selección de equipos y determinación mediante cálculos de las condiciones de trabajo de cada equipo. La siguiente etapa fue el diseño de la obra civil, donde se obtuvieron los planos del diseño final con medidas y detalles de los equipos involucrados.

### **3.1. Toma de Muestras**

La toma de muestras se realizó el 2 de agosto del 2017, de un punto de muestreo, que es usado con frecuencia y está en perfecto estado. La muestra tomada proviene de un pozo a 27 metros debajo de la superficie. Para la toma de muestras, con propósito de análisis microbiológicos, se usó envases plásticos esterilizados (ver frascos sellados en Figura 3.1.1). Se dejó correr el agua, procediendo a lavar y limpiar la boca del grifo con un cepillo. Una vez lavada, se dejó correr el agua, por espacio de dos minutos. Se destapó el frasco, para lo cual se debe cortar primeramente la cubierta de plástico que lo protege. En seguida se suelta la tapa del cuello del frasco por una ligera rotación y se tomó la muestra (ver figura 3.1.2), dejando un espacio de por lo menos un centímetro entre la parte inferior de la tapa y el nivel del agua en el frasco. Este espacio libre permite una agitación efectiva del líquido antes de proceder al análisis.

La toma de muestra para los análisis físico-químicos se la realizó en botellas nuevas, plásticas, de 500ml, en el mismo punto donde se tomaron las muestras en los envases estériles (ver figura 3.1.2). Las botellas (5 unidades) fueron lavadas 3

veces con la misma agua, luego se procedió a llenarlas, e inmediatamente se las puso en refrigeración, en una hielera con hielo hasta la mitad, para conservar todas sus propiedades intactas hasta llegar al laboratorio.

Terminada la operación de la toma de muestras se procedió al traslado de las mismas a los respectivos laboratorios. Utilizando un vehículo propio, con lo que se pudo agilizar todas las diligencias. Los análisis físico-químicos fueron realizados en el Laboratorio de Aguas de la Universidad de Guayaquil y los análisis microbiológicos en Laboratorios Lazo.



**Figura 3.1.1. Envases estériles para toma de muestras.**



**Figura 3.1.2. Toma de muestras de agua. (Izquierda, muestras para análisis microbiológicos. Derecha, muestras para análisis físico-químicos).**

### **3.2. Análisis Físico-Químicos y Microbiológicos del Agua**

Los análisis físico-químicos y microbiológicos se los realizó con el fin de caracterizar el agua que se va tratar y de esta manera, determinar el tipo de tratamiento que necesita. Para este estudio la fuente de agua es subterránea, específicamente de un pozo profundo a 27 metros de profundidad.

Se escogieron los análisis físico-químicos y microbiológicos que se debían realizar según las características de las aguas subterráneas, especificadas en la sección 2.3. Para los análisis físico-químicos se analizó: DBO<sub>5</sub>, DQO, Nitratos, Hierro, Dureza, pH, Salinidad, Conductividad, Turbiedad, Sólidos Disueltos. Para los análisis microbiológicos se analizó: Aerobios totales, Staphylococcus, E. Coli y Pseudomona Aeruginosa.

### **3.3. Caracterización del agua**

Las muestras se analizaron en diferentes laboratorios por razones de costos. Y en el Laboratorio de Aguas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, se realizó los análisis físico-químicos faltantes.

En anexos se pueden ver los informes de resultados obtenidos por los laboratorios mencionados en el párrafo anterior.

**Tabla 3.3.1. Toma de muestra de agua de pozo de camaronera.**

<b>Muestra</b>	Agua de pozo
<b>Lugar de toma de muestra</b>	Hacienda Camaronera en Churute
<b>Fecha de toma de muestra</b>	2 de agosto de 2017
<b>Fecha de inicio de ensayo</b>	3 de agosto de 2017
<b>Fecha de término de ensayo</b>	7 de agosto de 2017

*Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos*

### **3.4. Condiciones de la Planta Camaronera**

Actualmente en la camaronera viven y trabajan 20 personas, las cuales se abastecen de un tanque elevado de 2,4 m<sup>3</sup>, el mismo que llenan con agua de un pozo profundo, extraída con una bomba a gasolina de 5,5 HP. La tubería de distribución de agua que va del tanque elevado a las casas sale desde la parte inferior del tanque, arrastrando los lodos y sedimentos del mismo. La manguera que descarga el agua proveniente del pozo se encuentra sumergida topando el fondo del tanque, lo que genera una presión negativa y que se regrese agua a la bomba de gasolina.

Para el lavado de los camarones, utilizan agua de las piscinas, lo que convierte esa operación en un pseudo-lavado. Debido a esto se propone también la construcción de un tanque superficial que sirva de reservorio, para almacenar agua potable destinada al lavado de los camarones. Esta acción se realiza cada 4 meses y tiene una duración de 30 días aproximadamente, debido a que poseen 20 piscinas y cosechan 5000 lb de camarón de cada una.

Para estas condiciones actuales se procede a calcular la demanda de agua potable para el consumo humano y para el lavado de los camarones.

### 3.4.1. Demanda de agua potable para consumo humano

La productora de camarones tiene una instalación con la cantidad de artefactos que se describen en la tabla 3.4.1.1. Se encuentra además en esta, el gasto mínimo por artefacto, la simultaneidad, y el gasto de diseño.

**Tabla 3.4.1.1. Consumo total de agua**

Tipo de accesorio	Cantidad (U)	Gasto Mínimo (L/s)	Simultaneidad	Gasto de Diseño (L/s)
Lava manos	6	0.10	50%	0.30
Inodoro	3	0.10	50%	0.15
Ducha	3	0.20	100%	0.60
Lava platos	2	0.15	50%	0.15
TOTAL				1.20

*Fuente: F. Casella*

La camaronera tiene una demanda máxima de 1.20 litros por segundo en sus horas pico. Las horas de consumo máximo se registran, en base a las encuestas, en los siguientes horarios:

05:30 am hasta 06:00am

11:00 am hasta 13:30am

17:30 pm hasta 16:30 pm

Para determinar la cantidad de agua requerida por día se efectuaron los siguientes cálculos:

Consumo de agua por día por habitante en Ecuador: 100 L/día (Secretaría del Agua, 2014)

Población: 20 habitantes

$$100 \frac{l}{\text{día} \times \text{habitante}} \times 20 \text{ habitantes} \times \frac{1 m^3}{1000 l} = \frac{2 m^3}{\text{día}}$$

Por tanto, la cantidad de agua que consume la comunidad es de 2 metros cúbicos por día.

### 3.4.2. Demanda de agua para lavado de camarones

$$\text{Cosecha total} = 5000 \frac{\text{lb}}{\text{piscina}} \times 20 \text{ piscinas} = 100.000 \text{ lb camarón por cosecha}$$

Al realizar la cosecha en un lapso de 30 días, el lavado y la cosecha diaria de camarones es de:

$$\frac{100.000 \text{ lb}}{30 \text{ días}} \approx 3.500 \text{ lb camarón por día.}$$

Se considera que para el lavado de camarones se requieren 5 litros de agua por cada libra de camarón. Con esto calculamos la cantidad de agua requerida diariamente para el lavado de camarones:

$$3.500 \frac{\text{lb camarón}}{\text{día}} \times \frac{5 \text{ L agua}}{\text{lb camarón}} = 17.500 \frac{\text{L de agua}}{\text{día}}$$

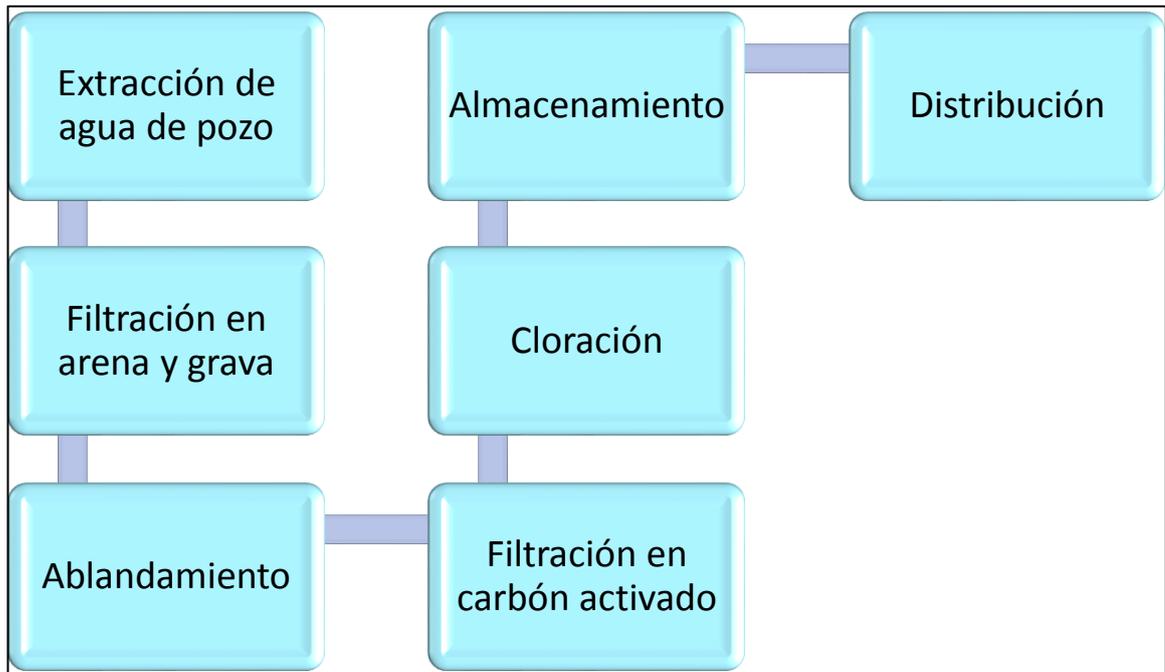
La camaronera requiere 20 m<sup>3</sup> de agua por día para la limpieza de camarones.

### 3.5. Selección de procesos de tratamiento de agua

De acuerdo a la calidad del agua cruda, se determina un proceso de tratamiento para remediar sus tres problemas detectados: agua dura, contaminada con bacterias y presencia de sólidos suspendidos.

Para la desinfección del agua se requiere de cloración, para disminuir la dureza se usa un ablandador y para eliminar impurezas (sólidos suspendidos) se utiliza un filtro a presión de arena, antracita y grava, también conocido como filtro de lecho profundo. Adicional le agregaremos un filtro de carbón activado que es necesario e indispensable en prácticamente todo tipo de planta potabilizadora para eliminar olores, sabores y cualquier compuesto orgánico del agua.

A continuación, un diagrama de procesos para visualizar el orden de los tratamientos que se proponen para el diseño de la planta.



**Figura 3.5.1. Diagrama del proceso seleccionado para tratamiento del agua**

*Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos*

**a. Extracción de agua de pozo.**

El agua es extraída de un pozo profundo a 27 metros por debajo de la superficie a través de una tubería de 4 pulgadas, usando una bomba sumergible de 2HP y 1 pulgada de salida.

**b. Filtro de grava y arena.**

El agua cruda pasa por un tratamiento primario, que es un filtrado sencillo por medio de una columna multicapa, formada por antracita, arena y grava que elimina impurezas (sólidos suspendidos). Cabe mencionar que el medio filtrante solo son las dos primeras capas (antracita y arena), ver figura 3.5.3 y 3.5.4, y la grava hace la función de soporte para el medio filtrante. (Ver figura 3.4.5)



**Figura 3.5.3. Antracita**

*Fuente:* (Carbotecnia, 2017)



**Figura 3.5.4. Arena sílica**

*Fuente:* (Carbotecnia, 2017)



**Figura 3.5.5. Grava**

*Fuente:* (Carbotecnia, 2017)

### **c. Ablandador**

La cantidad de dureza que presenta el agua cruda, la caracteriza como agua dura, por tanto, es necesario un proceso de ablandamiento, en el que no se le quitara toda la dureza, sino la necesaria para evitar incrustaciones y corrosión en las tuberías y accesorios. El ablandador contiene 3 pies cúbicos de resina catiónica (ver figura 3.4.6), la misma que se regenera con salmuera, solución de NaCl al 10% en peso, es decir, se disuelven 10 kg de sal en grano en 100 kg de agua.



**Figura 3.4.6. Resina catiónica**

*Fuente:* (Carbotecnia, 2017)

#### d. **Filtrado con carbón activado**

Para asegurar un agua sin sabor y olor se prosigue a pasar el agua por medio de una columna de carbón activado. Además, se ha considerado este filtro como un proceso para medidas de contingencia en caso de que exista una contaminación por plaguicidas, este lo pueda tratar. El riesgo es latente debido a la presencia de cultivos tecnificados en los alrededores de la camaronera. Para este filtro se utilizará carbón activado granular de concha de coco (ver figura 3.4.7) por su resistencia mecánica y mayor adherencia.



**Figura 3.4.7. Carbón activado de concha de coco**

*Fuente: (Carbotecnia, 2017)*

#### e. **Clorinador**

Finalmente, la última etapa del tratamiento es la eliminación de microorganismos por medio de la adición de cloro. En este proceso usamos una bomba dosificadora por goteo de Hipoclorito de Sodio.

#### f. **Almacenamiento de agua**

En esta etapa ya tenemos agua apta para el consumo humano. Se almacena en un tanque elevado plástico de polietileno, herméticos tapa a presión y de traba, higiénicas paredes lisas que evitan el crecimiento de bacterias Preservan la calidad del líquido contenido.

### g. Distribución del agua

Sistema de distribución independiente para cada punto de abastecimiento. A pesar de ser un agua dura, no se consideró un tratamiento por ablandamiento, por estar dentro de los parámetros recomendados por la OMS de dureza de agua para consumo humano, 100ppm-300ppm. La dureza representa la presencia de minerales, en mayor proporción entre Calcio y Magnesio. Científicos sugieren el consumo de agua con minerales es bueno para la salud. Se recomienda que el agua para beber tenga dureza y que esta como mínimo este entre 50ppm-70ppm.

## 3.6. Cálculo de variables de proceso

### 3.6.1. Extracción de Agua del Pozo

Una vez determinado el caudal de diseño para suplir todas las necesidades de consumo de agua de la camaronera, se procedió al cálculo de la bomba tomando en cuenta los siguientes datos:

El cálculo de la potencia de la bomba, en HP (caballos de fuerza) se lo realiza con la siguiente expresión:

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H$$

Donde:

*P*: potencia de la bomba [HP]

*Q* = 1,33: caudal de diseño [L/s]

$\rho$  = 1000: densidad del agua [Kg/m<sup>3</sup>]

*g* = 9,8: aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>]

*H*: pérdidas de carga [m]

Las pérdidas de carga son calculadas por la altura del tanque en relación a la bomba, las pérdidas de carga por longitud, por accesorios y por instrumentos, las mismas que se obtienen de ábacos en base a la fórmula de Manning. (Bombas, Teoría, Diseño y Aplicaciones, 2004, págs. 204-207)

Los cálculos detallados de la obtención de las siguientes pérdidas por cargas se muestran en el ANEXO 20.

Sabiendo que:

Pérdidas por altura = 9.70 m

Perdidas por longitud = 4.50 m

Pérdidas por accesorios = 10.50 m

Pérdidas por instrumentos = 12.66 m

$$H = 38,86 \text{ m}$$

$$P = 1,33 \times 1000 \times 9,8 \times 38,86 = 0,68 \text{ HP}$$

Considerando el factor de seguridad  $F_s = 2$  y la eficiencia de la bomba  $n=0.55$ . tenemos que la potencia efectiva será:

$$P = 1.86 \text{ HP}$$

Seleccionamos entonces, una bomba sumergible de 2.0 HP

### 3.6.2. Filtro de arena y grava

Para el caudal establecido y la cantidad de sólidos suspendidos que presenta el agua cruda, se determinó el diámetro y la longitud del filtro, así como el tamaño de partícula y la cantidad de medios filtrantes, necesarios para una filtración efectiva.

Para un caudal de 1,2 L/s o 72 Lpm, se necesita de un tanque con 16 pulg de diámetro y 65 pulg de longitud, entonces se procede a obtener, la velocidad de filtración, el volumen del lecho, altura del lecho, tiempo de filtrado y distribución de los medios filtrantes según su granulometría. Es necesario mencionar que el lecho filtrante ocupará el 60% del espacio total del filtro, mientras el 40% será utilizado por el agua.

$$A = \pi r^2$$

$$v_f = \frac{Q}{A}$$

$$h = L \times 0,6$$

$$V_l = A \times h$$

$$V_T = A \times L$$

$$A_{total} = 2A + A_L$$

$$A_L = 2\pi r h$$

$$t_f = \frac{v_f \times A_{total}}{V_T - V_l}$$

*A: área de la base del filtro*

*v<sub>f</sub>: velocidad de filtración*

*h: altura del lecho filtrante*

*V<sub>l</sub>: volumen del lecho filtrante*

*V<sub>T</sub>: volumen del tanque o filtro*

$A_{total}$ : área total del lecho filtrante

$A_L$ : área lateral del lecho filtrante

$t_f$ : tiempo de filtrado

$$r = 20,32 \text{ cm} = 0,2032 \text{ m}$$

$$Q = 1,2 \text{ L/s}$$

$$L = 1,65 \text{ m}$$

$$A = \pi(0,2032)^2 = 0,130 \text{ m}^2$$

$$v_f = \frac{1,2}{0,130} = 9,23 \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = 33,23 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$h = 1,65 \times 0,6 = 0,99 \text{ m}$$

$$V_l = 0,130 \times 0,99 = 0,129 \text{ m}^3$$

$$V_T = 0,130 \times 1,65 = 0,21 \text{ m}^3$$

$$A_L = 2\pi \cdot 0,2032 \cdot 0,99 = 1,26 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = 2(0,130) + 1,26 = 1,52 \text{ m}^2$$

$$t_f = \frac{9,23 \times 1,52}{0,21 - 0,129} = 173 \text{ s} = 2,88 \text{ min}$$

Al utilizar más de un medio filtrante, se debe tomar en cuenta que las partículas de mayor tamaño, pero con menos peso, se ubican en la parte superior (antracita), para permitir el paso del agua al siguiente medio filtrante, en este caso se utiliza arena como segundo medio filtrante, la cual tiene menor tamaño de partículas y mayor peso. Finalmente se ubica la grava para sostener ambos medios filtrantes.

Se obtuvo una altura de lecho de 0,99 m, es decir, 1 metro, misma que se divide en 60% medio filtrante y 40% grava (Gordon Maskew Fair, 1990), entonces se obtienen las siguientes alturas o profundidades de cada capa:

$$1 \times 0,6 = 0,6 \text{ m} \rightarrow \text{para medio filtrante}$$

$$0,6 \div 2 = 0,3 \text{ m} \rightarrow \text{para cada capa}$$

$$1 \times 0,4 = 0,4 \text{ m} \rightarrow \text{para grava}$$

**Tabla 3.7.2.1. Distribución de capas en el lecho filtrante**

N° [posición en lecho]	Material de lecho	Granulometría [mm]	Tamaño de partícula [mm]	Profundidad calculada [cm]
1	Antracita	2 - 0,84	0,85 – 0,95	30
2	Arena	0,84 - 0,59	0,60 – 0,70	30
3	Grava	3,17 - 1,58	1,60 – 2,00	40
Profundidad total				<b>100</b>

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos

Cuando los manómetros, de la entrada y la salida, muestran una diferencia de presión mayor a 6 psi, se procede con el retro-lavado, el cual consiste en hacer fluir el agua de abajo hacia arriba (contracorriente), con el propósito de desprender los sólidos contenidos en el medio filtrante, para esto se debe usar un flujo específico de agua a contracorriente, que permita la expansión del lecho, pero sin expulsar las partículas filtrantes en el lavado. Este flujo se determina experimentalmente mediante una válvula que regula el paso de agua en la parte inferior del filtro, y notando si hay muchas partículas de arena o antracita en el agua de lavado que sale del filtro. Es normal que en el retro-lavado se pierda una pequeña cantidad del lecho (1 o 2mm de espesor), pero no demasiado, por lo que es importante revisar siempre la salida de agua de retro-lavado. Para este filtro el flujo de retro-lavado es de 75 Lpm.

**Tabla 3.7.2.2. Dimensiones de filtro de arena y grava**

Dimensiones	Unidades	
	SB	SI
Diámetro	16"	40,64 cm
Longitud	65"	1,65 m
Volumen de tanque	7 ft <sup>3</sup>	0,21 m <sup>3</sup>
Volumen lecho	3 ft <sup>3</sup>	0,129 m <sup>3</sup>
Caudal	72 L/min	1,2 L/s
Área del tanque	1,4 ft <sup>2</sup>	0,130 m <sup>2</sup>
Tubería de servicio	1"	2,54 cm
Pérdida de presión	4 - 6 psi	0,27 - 0,41 atm
Profundidad del lecho	39,4 "	100 cm
N° de capas	3	
Presión operativa	150 psi	10,2 atm

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos

### 3.6.3. Ablandador

El ablandamiento de agua se da por el intercambio de iones calcio y magnesio con iones sodio, que se desprenden de la resina catiónica. Cuando se ha logrado la saturación de la resina, se procede a la regeneración con una solución de NaCl al 10%. De esta forma los iones sodio vuelven a la resina y los iones calcio y magnesio son expulsados en el lavado. A continuación, el cálculo del volumen de resina:

$$1 \text{ ft}^3 = 25000 \text{ granos} \qquad 1 \text{ grano/gal} = 17,1 \text{ ppm}$$

$$\text{Dureza del agua cruda} = 184 \text{ ppm CaCO}_3$$

$$184 \text{ ppm} \times \frac{1 \text{ grano/gal}}{17,1 \text{ ppm}} = 10,76 \text{ granos/gal}$$

$$10,76 \frac{\text{granos}}{\text{gal}} \times \frac{\text{gal}}{3,785 \text{ L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 2842,8 \text{ granos/m}^3$$

$$25000 \text{ granos} \times \frac{\text{m}^3}{2842,8 \text{ granos}} = 8,8 \text{ m}^3$$

$$75000 \text{ granos} \times \frac{\text{m}^3}{2842,8 \text{ granos}} = \mathbf{26,4 \text{ m}^3}$$

$$75000 \text{ granos} \rightarrow 3 \text{ ft}^3 \text{ de volumen de resina}$$

Los cálculos muestran que con la dureza que presenta el agua cruda, se tendría que regenerar el ablandador cada  $8,8 \text{ m}^3$ , si se trabaja solo con un pie cúbico de resina, pero si se utilizan tres pies cúbicos de resina, la regeneración debe hacerse cada  $26,4 \text{ m}^3$ , lo que significa:

$$\text{Tanque elevado} \rightarrow 2 \text{ m}^3 \rightarrow 20 \text{ personas gastan } 2 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$26,4 \text{ m}^3 \times \frac{\text{día}}{2 \text{ m}^3} = 13,2 \text{ días} \approx \mathbf{15 \text{ días}}$$

Que el ablandador debe regenerarse cada 15 días o 2 veces al mes, mientras no se utilice el tanque reservorio para lavado de camarón, porque de lo contrario:

*Tanque reservorio*  $\rightarrow 20 \text{ m}^3 \rightarrow$  para lavado de camarón se gastan  $20 \text{ m}^3/\text{día}$

*En época de cosecha se consumen:*  $2\text{m}^3 + 20\text{m}^3 = 22\text{m}^3/\text{día}$

$$26,4 \text{ m}^3 \times \frac{\text{día}}{22 \text{ m}^3} = 1,2 \text{ días} \approx \mathbf{1 \text{ día}}$$

El ablandador debe regenerarse una vez al día, mientras dure la época de cosecha del camarón.

Por otro lado, como no se necesita quitar toda la dureza del agua, se determinó que, al aumentar el caudal normal de trabajo del ablandador, se consigue tener agua solo con un poco de dureza, como se muestra a continuación:

*Flujo normal para ablandador:*  $0,96 \frac{\text{L}}{\text{s}} \rightarrow$  aumento del 20%  $\rightarrow 1,2 \frac{\text{L}}{\text{s}}$

$$184 \text{ ppm} \times 0,2 = 36,8 \approx \mathbf{37 \text{ ppm CaCO}_3}$$

Por tanto, al aumentar el flujo en un 20% se logra conservar en el agua un 20% de la dureza inicial.

$$\text{Volumen de lecho: } 3 \text{ ft}^3 = 0,099 \text{ m}^3$$

$$\text{Diámetro: } 14 \text{ pulg} = 35,56 \text{ cm}$$

$$\text{Longitud: } 65 \text{ pulg} = 1,65 \text{ m}$$

$$\text{Volumen de tanque: } \pi r^2 \cdot L = 0,163 \text{ m}^3$$

*A:* área de la base del filtro

*v<sub>f</sub>:* velocidad de filtración

*h:* altura del lecho filtrante

*V<sub>l</sub>:* volumen del lecho filtrante

*V<sub>T</sub>:* volumen del tanque o filtro

$A_{total}$ : área total del lecho filtrante

$A_L$ : área lateral del lecho filtrante

$t_f$ : tiempo de filtrado

$$A = \pi r^2 = 0,099 \text{ m}^2$$

$$v_f = \frac{Q}{A} = \frac{1,2 \text{ L/s}}{0,099 \text{ m}^2} = 12 \frac{\text{L}}{\text{s}} \cdot \text{m}^2 = 43,2 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$h = L \times 0,6 = 0,99 \approx 1 \text{ m}$$

$$A_L = 2\pi r h = 1,12 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = 2A + A_L = 1,32 \text{ m}^2$$

$$t_f = \frac{v_f \times A_{total}}{V_T - V_L} = 246 \text{ s} = 4,1 \text{ min} \approx \mathbf{4 \text{ min}}$$

**Tabla 3.7.3.1. Dimensiones del Ablandador**

Dimensiones	Unidades	
	SB	SI
Diámetro	14"	35,356 cm
Longitud	65"	1,65 m
Volumen de tanque	5,1 ft3	144 L
Volumen resina	3 ft3	85 L
Caudal	72 Lpm	1,2 L/s
Capacidad de intercambio	75000 granos	
Tubería de servicio	1"	2,54 cm
Pérdida de presión	15 – 25 psi	1,02 - 1,7 atm
Altura de resina	39"	100 cm
Presión operativa	150 psi	10,2 atm

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos

**Tabla 3.7.3.2. Dimensiones del tanque de sal**

Dimensiones	Unidades	
	SB	SI
Diámetro	18"	45,72 cm
Longitud	36"	91,44 cm
Volumen del tanque	5,3 ft3	150 L

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos

### Sal requerida para regeneración de ablandador durante 1 año

Para el mantenimiento periódico del ablandador de la planta de tratamiento se requiere hacer un lavado con una solución de agua y sal. Se calculó el valor requerido de sal a comprar para un año de trabajo en la planta de tratamiento. A continuación, los cálculos:

Caudal de regeneración: 1 L/s

Solución de 10kg sal/100kg agua

Tiempo de regeneración: 30 minutos

Frecuencia de regeneración: cada 15 días

$$1 \frac{l}{s} \times \frac{30 \text{ min}}{1 \text{ regeneración}} \times \frac{60 s}{1 \text{ min}} \times \frac{24 \text{ regeneraciones}}{\text{año}} \times \frac{10 \text{ kg Sal}}{100 \text{ l agua}} = 172.8 \text{ kg} \frac{\text{Sal}}{\text{año}}$$

$$172.8 \text{ kg} \frac{\text{Sal}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ saco Sal}}{25 \text{ kg Sal}} \approx 7 \text{ sacos de sal por año}$$

Por tanto, para la planta diseñada se estima una cantidad de 173 kg de sal al año que equivalen a 7 sacos de sal de 25 kg a comprar. El costo del material se ve más adelante en la sección de Costos de Construcción y Mantenimiento de la planta.

#### 3.6.4. Filtración en Carbón Activado

Para esta filtración se utiliza carbón activado granular de concha de coco, lo que brinda mayor resistencia mecánica y una mejor adsorción. En este proceso el agua se libera de cualquier compuesto orgánico (como pesticidas), olor, color y sabor que pueda tener, garantizando la aprobación de pruebas organolépticas.

Para esto se determinó un volumen de lecho similar al de la resina catiónica del ablandador, por motivos de conservar el mismo flujo de agua que se utilizó en los procesos anteriores. Entonces para un volumen de carbón activado de 3 ft<sup>3</sup> se determinó:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de lecho: } & 3 \text{ ft}^3 = 0,099 \text{ m}^3 \\ \text{Diámetro: } & 14 \text{ pulg} = 35,56 \text{ cm} \\ \text{Longitud: } & 65 \text{ pulg} = 1,65 \text{ m} \\ \text{Volumen de tanque: } & \pi r^2 \cdot L = 0,163 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

*A: área de la base del filtro*  
 *$v_f$ : velocidad de filtración*  
*h: altura del lecho filtrante*  
 *$V_l$ : volumen del lecho filtrante*  
 *$V_T$ : volumen del tanque o filtro*  
 *$A_{total}$ : área total del lecho filtrante*  
 *$A_L$ : área lateral del lecho filtrante*  
 *$t_f$ : tiempo de filtrado*

$$A = \pi r^2 = 0,099 \text{ m}^2$$

$$v_f = \frac{Q}{A} = \frac{1,2 \text{ L/s}}{0,099 \text{ m}^2} = 12 \frac{\text{L}}{\text{s}} \cdot \text{m}^2 = 43,2 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$h = L \times 0,6 = 0,99 \approx 1 \text{ m}$$

$$A_L = 2\pi r h = 1,12 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = 2A + A_L = 1,32 \text{ m}^2$$

$$t_f = \frac{v_f \times A_{total}}{V_T - V_l} = 246 \text{ s} = 4,1 \text{ min} \approx 4 \text{ min}$$

El tiempo que el agua tarda en pasar por todo el lecho es 4 min. El carbón activado granular por su forma y peso, requiere de un flujo de agua de retro-lavado específico, el cual permite devolver al carbón parte de sus cualidades iniciales, porque es necesario advertir que el carbón activado tiene un tiempo de vida útil más corto que los lechos de arena y resina, debido a que el carbón realiza una operación de adsorción en su superficie y con un lavado no se consigue desprender todos los compuestos orgánicos adheridos al mismo.

Entonces luego de algunos ciclos de uso es necesario cambiar todo el lecho, y la única forma de determinar el momento justo de cambiar el lecho, es realizando pruebas al agua de la entrada y la salida del filtro de carbón.

*Flujo de retrolavado: 40,5 L/min o 0,67 L/s*

**Tabla 3.7.4.1. Dimensiones de filtro de carbón activado**

Dimensiones	Unidades	
	SB	SI
Diámetro	14"	35,56 cm
Longitud	65"	1,65 m
Volumen lecho	3 ft <sup>3</sup>	85 L
Volumen tanque	5,10 ft <sup>3</sup>	144 L
Caudal	72 Lpm	1,2 L/s
Tubería de servicio	1"	2,54 cm
Pérdida de presión	4 - 6 psi	0,27 - 0,41 atm
Flujo de retro-lavado	40,5 Lpm	0,67 L/s
Presión operativa	150 psi	10,2 atm

*Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos*

### **3.6.5. Cloración**

El último proceso del tratamiento de agua es la cloración. Donde ocurre la desinfección, es decir, la eliminación de cualquier agente patógeno que se encuentre en el agua.

Para la cloración usamos Hipoclorito de sodio (NaClO) al 10% (ver en anexos certificado de análisis de Hipoclorito de Sodio Comercial), que es la solución más fácil de dosificar y más cómoda de utilizar para desinfección de agua.

Se recomienda que el nivel de cloro residual se mantenga entre 0.5 y 1 mg/L para evitar un sabor desagradable en el agua. El cloro residual, es el cloro no consumido en el proceso de desinfección.

La dosis de cloro en el agua depende de cada fuente. Se determinó de forma experimental la dosis de cloro añadir. Con un kit de medición de cloro. Se mide el cloro libre después de 30 minutos de haber adicionado una cantidad de cloro específica. Como se ve en la tabla siguiente donde se detalla la dosis de hipoclorito de sodio aplicada a una muestra de agua y el resultado del cloro libre.

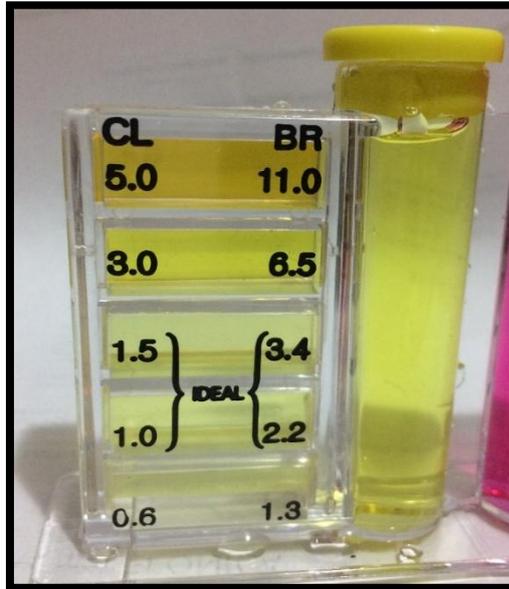


Figura 3.7.5.1. Medición de cloro residual.

Tabla 3.7.5.1. Cloro residual en el agua cruda

Muestra de Agua	Dosis de Hipoclorito de Sodio al 10%	Cloro Residual
10 L	0,3 ml	3 ppm
10 L	0,2 ml	2 ppm
10 L	0,1 ml	1 ppm

Fuente: S. De Los Ríos, A. Onofre

La dosis correcta es de 0.1 ml de hipoclorito de sodio al 10% en 10 litros de agua. Que representan 0.01 ml NaClO para cada litro de agua. Con un caudal del sistema de tratamiento de 1,2 L/s. La cantidad de cloro a dosificar es de 0,72 ml/min o 43,2 ml/h.

### Hipoclorito de sodio requerido en 1 año

Se estimó la cantidad de hipoclorito de sodio necesario para un año de funcionamiento de la planta. En la planta hay dos dosificadores de cloro, uno para el tanque elevado que es el agua para consumo humano y otro que es la cisterna que contiene el agua para limpieza de camarones. A continuación, los cálculos de

la cantidad de agua consumida durante un año y la cantidad de cloro requerida para el tratamiento de desinfección del agua.

### **Consumo humano**

$$\frac{100 \text{ L agua}}{\text{persona} - \text{día}} \times 20 \text{ personas} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 730 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

### **Limpieza de camarones**

$$\frac{5000 \text{ lb camarón}}{\text{piscina} - \text{día cosecha}} \times 20 \text{ piscinas} \times \frac{5 \text{ L agua}}{1 \text{ lb camarón}} \times \frac{90 \text{ días cosecha}}{1 \text{ año}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}$$

$$= 45000 \frac{\text{m}^3 \text{ agua}}{\text{año}}$$

$$(730 \text{ m}^3 + 45000 \text{ m}^3) \text{ agua} \times \frac{10 \text{ ml Cl}}{1 \text{ m}^3 \text{ agua}} \times \frac{1 \text{ L Cl}}{1000 \text{ ml Cl}} = 457 \frac{\text{Litros}}{\text{año}} \text{ Hipoclorito de Sodio}$$

Por tanto, para la planta diseñada se estima una cantidad de 457 litros de hipoclorito de Sodio por año a comprar, lo que equivale a 2 tanques de 250kg. El costo del químico se ve más adelante en la sección de Costos de Construcción y Mantenimiento de la planta.

### **3.7. Selección de equipos**

A continuación, la lista de equipos que se necesitarán para la puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas.

#### **3.7.1. Bomba Sumergible 2HP**

Se seleccionó la siguiente bomba sumergible (figura 3.7.1) para extraer el agua de pozo a 27 metros con la presión necesaria según cálculos.



**Figura 3.7.1. Bomba sumergible seleccionada para el diseño de la planta.**

*Fuente: Fabricante de la bomba, Dingfeng, China.*

**Fabricante:** Dingfeng

**Origen:** Zhejiang, China (Mainland)

**Marca:** Difful

**Modelo:** 4SDM2 25-1.5

**Tipo:** Bomba sumergible de pozo profundo

**Energía:** Eléctrica, monofásico y trifásico (a convenir)

**Material:** Acero inoxidable

**Consumo de energía:** 1.5 KW

**Voltaje:** 220V

**Potencia:** 2 HP

**Diámetro exterior:** 4 pulgadas

**Diámetro de tubería:** 2 pulgadas

**Tabla. 3.7.1. Capacidad y altura de bombeo**

Capacidad y altura de bombeo								
L/min	0	5	10	15	20	25	30	35
m <sup>3</sup> /h	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1
Altura de bombeo (m)	181	174	168	162	154	146	134	119

*Fuente: Fabricante de la bomba, Dingfeng, China.*

La bomba es de un fabricante en china, el fabricante brinda el servicio de envío y puesta en puerto en Guayaquil a un precio de \$600. Se sugiere comprar dos bombas para respuesta inmediata en caso de daño del equipo en uso.

### **3.7.2. Filtro de grava de 3 pies cúbicos**

El filtro de grava seleccionado (figura 3.7.2) está diseñado para filtrar el suministro de agua de entrada de productos nacionales y uso comercial ligero. Partículas no deseadas, como el óxido, arena, suciedad y otras impurezas que se encuentran en el agua son atrapadas por el lecho filtrante, ofreciendo aguas cristalinas para el hogar y uso comercial.



**Figura 3.7.2. Filtro de lecho de grava Acuacoral 3 ft<sup>3</sup>.**

*Fuente: Distribuidor, Acuamain Ecuador.*

**Marca:** Acuacoral

**Modelo:** FILTRO 16 ACUACORAL

**Distribuidor:** Acuamain

**Volumen de lecho filtrante:** 3 pies cúbicos

**Dimensiones del tanque (diámetro x altura):** 16"x 65"

**Tubería:** 1.25"

**Flujo de servicio pico:** 19 GPM

**Flujo de retro-lavado:** 20 GPM

\*Autolavado programable

El filtro lo provee la empresa importadora y distribuidora Acuamain, ubicada en la ciudad de Guayaquil y Quito, a un precio de \$124.43.

### 3.7.3. Ablandador de agua.

Por calidad, garantía y por su sistema de lavado automático para regeneración de resinas catiónicas se escogió el ablandador WATT W100 (figura 3.7.3.)



**Figura 3.7.3. Ablandador de agua Watts W100**

*Fuente: Página web oficial de WATTS.*

El equipo tiene las siguientes especificaciones técnicas:

**Marca:** Watts

**Modelo:** M3017-W100SM

**Capacidad Máxima:** 90,000 litros

**Diámetro de tubería:** 1 ¼ - 1 ½ pulgadas

**Tanque:** 14x65 pulgadas

**Resina Catiónica:** 3 pies cúbicos

**Tanque de salmuera:** 18x36 pulgadas

**Relleno de sal:** 350 libras

**Flujo de servicio:** 18-23 GPM

**Caída de presión:** 15-25 PSI

El ablandador lo provee una empresa importadora de equipos de tratamientos de agua en Guayaquil a un precio de \$2,448,00.

#### **3.7.4. Filtro de carbón activado**

Este equipo por su delicado mantenimiento según requerimientos de la planta, se escogió un modelo comercial que se ajusta a los requerimientos. Este es marca WATTS, equipo de bajo mantenimiento y operación automática.



**Figura 3.7.4. Filtro de carbón activado Watts NC14-W100F.**

*Fuente: Página web oficial de fabricante WATTS.*

**Marca:** Watts

**Modelo:** NC14-W100F

**Diámetro de tubería:** 1 ¼ - 1 ½ pulgadas

**Dimensión de tanque:** 14x65 pulgadas

**Volumen de lecho filtrante de carbón activado:** 3 pies cúbicos

**Flujo de servicio pico:** 19 GPM

**Flujo para retro-lavado:** 10 GPM

\*Retro-lavado automático.

Este equipo lo provee el mismo distribuidor que el ablandador a un precio de \$2,392.00.

### **3.7.5. Bomba dosificadora de agua**

Para la dosificación de cloro en los tanques, se requiere en pequeñas dosis de 35 ml/hora de hipoclorito de sodio. Para esto se encontró una bomba dosificadora fabricada en China en Alibaba.com. Ver figura 3.7.5.1.



**Figura 3.7.5.1. Bomba de precisión, dosificadora de químicos SHENCHEM.**

*Fuente: Página web oficial de fabricante, SHENCHEM.*

Las características del equipo son:

**Marca:** SHENCHEM

**Modelo:** Lab2015

**País de origen:** Hebei, China (Mainland)

**Energía:** Eléctrica

**Flujo:** 0.07-380 ml/min

**Rango de velocidad:** 0.1-100 RPM

**Fuente de energía:** AC 220 o AC 110

**Pantalla:** 4.3 pulgadas

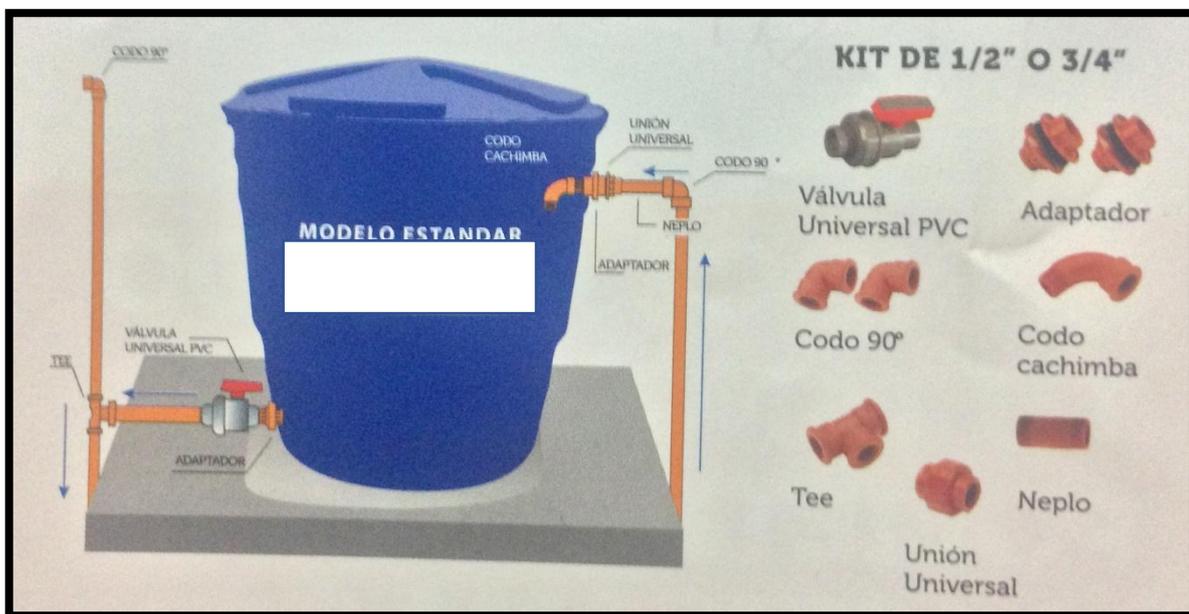
**Método de control:** Pantalla táctil y teclado

**Consumo de energía:** <50W

La bomba es de un fabricante en china, el fabricante brinda el servicio de envío y puesta en puerto en Guayaquil a un precio de \$700.

### 3.7.6. Tanque elevado

El tanque elevado preciso para este diseño es el tanque de Plastigama apilable, de forma cónica, de 2000 litros, como se ve en la figura 3.7.6.1. En la misma se observan las piezas y como está armado el tanque.



**Figura 3.7.6.1. Tanque elevado de polietileno y accesorios incluidos.**

*Fuente: Página web oficial del fabricante.*

- Pared maciza, elaborado con polietileno 100% virgen.
- Apilable, permite el ahorro de espacio al almacenar.
- Hermético, tapa a presión.
- Higiénico, paredes lisas evitan crecimiento de bacterias.

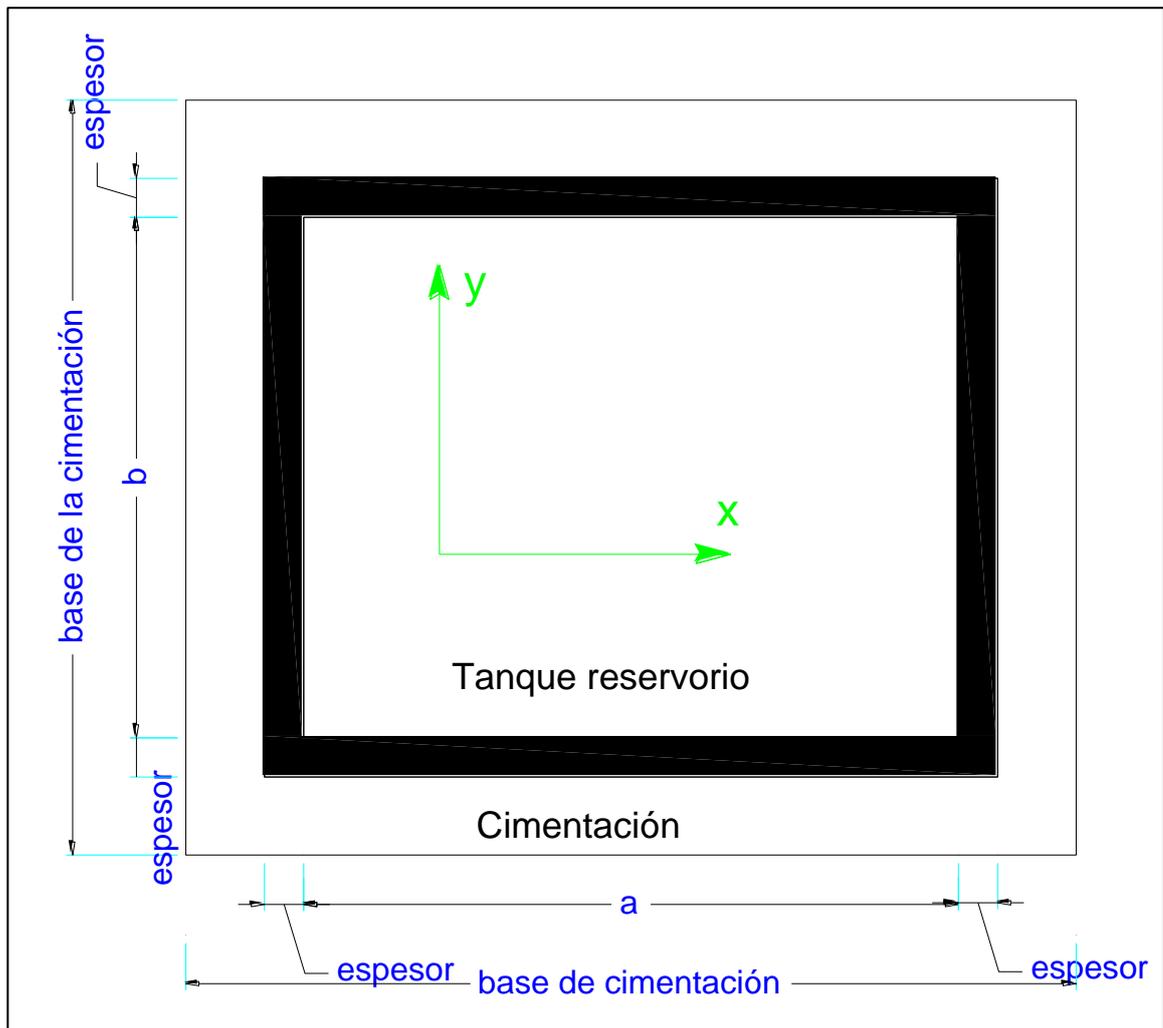
Este tanque se lo obtiene en cualquier distribuidor autorizado en Ecuador. Tiene un precio de \$231.38.

### 3.7.7. Proveedores

Para la puesta en marcha del diseño, es importante tener a la mano los proveedores de los equipos seleccionados. Por ello se elaboró una tabla (ver Anexo 14) para la consulta y pedido de los requerimientos planteados a las empresas correspondientes.

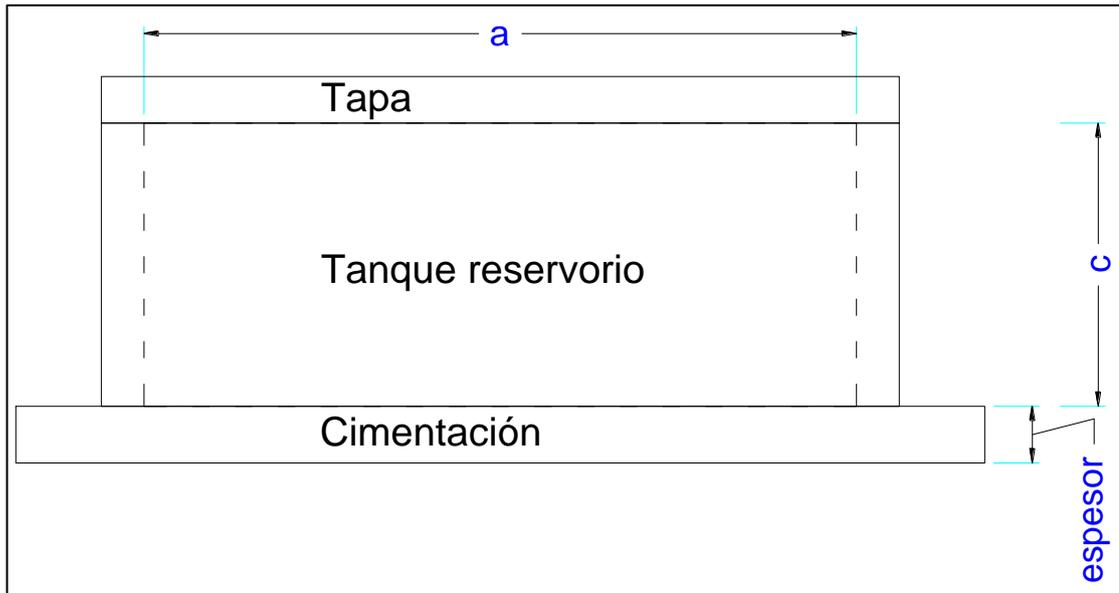
### 3.8. Diseño de obra civil

Se presenta en esta sección los pasos seguidos para el diseño de la obra civil. Una vez que se definió el volumen de agua que almacenaría el reservorio ( $20 \text{ m}^3$ ), se pre-dimensionó el reservorio basado en el volumen, y los espesores de los muros, la tapa, y la cimentación acorde a las normas del ACI. Teniendo así el esquema de las figuras 3.8.2 y 3.8.1.



**Figura 3.8.1. Esquema para pre-dimensionamiento**

*Fuente: F. Casella*

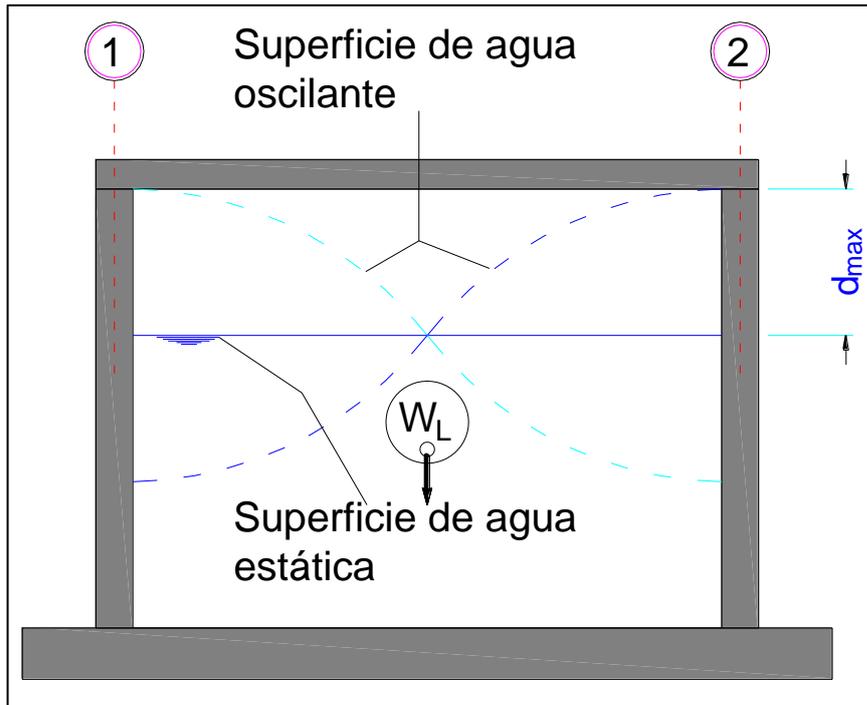


**Figura 3.8.2. Esquema para pre-dimensionamiento, vista lateral**

*Fuente: F. Casella*

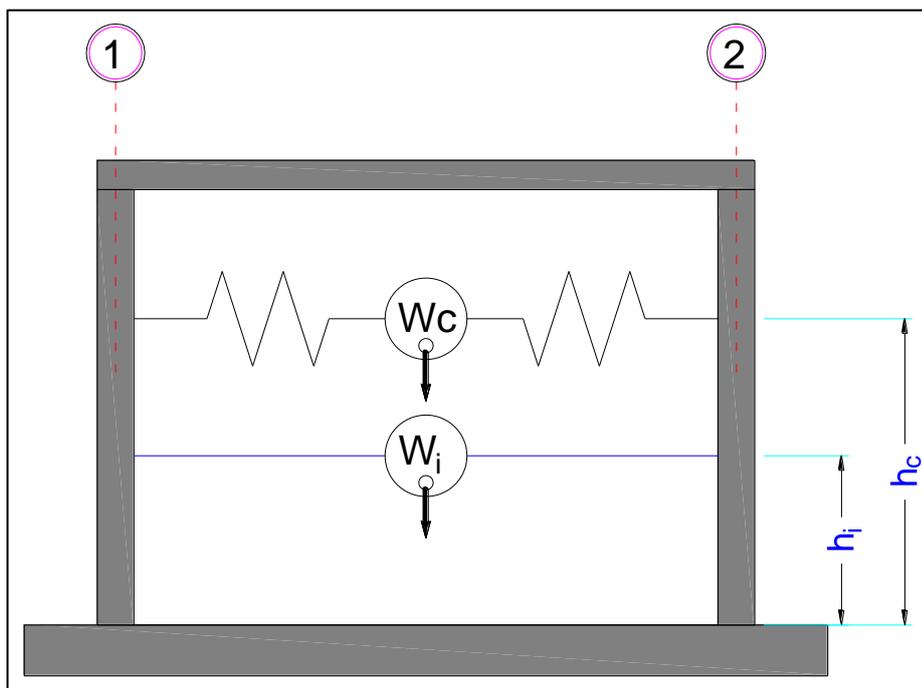
El método del ACI-350.3-06, para diseño sísmico, propone lo siguiente:

Cuando el sismo alcanza la superficie de la tierra, éste transmite energía a la estructura. La energía se refleja en el líquido contenido y oscila en función de la aceleración que la energía del sismo le ha transferido. El líquido empieza a oscilar formando una superficie de agua oscilante. La ola formada impacta sobre los muros del tanque reservorio, agregándole de esta manera esfuerzos adicionales al existente, esto es la presión hidrostática. Se muestran a continuación un esquema del modelo estático y dinámico.



**Figura 3.8.3. Modelo dinámico supuesto**

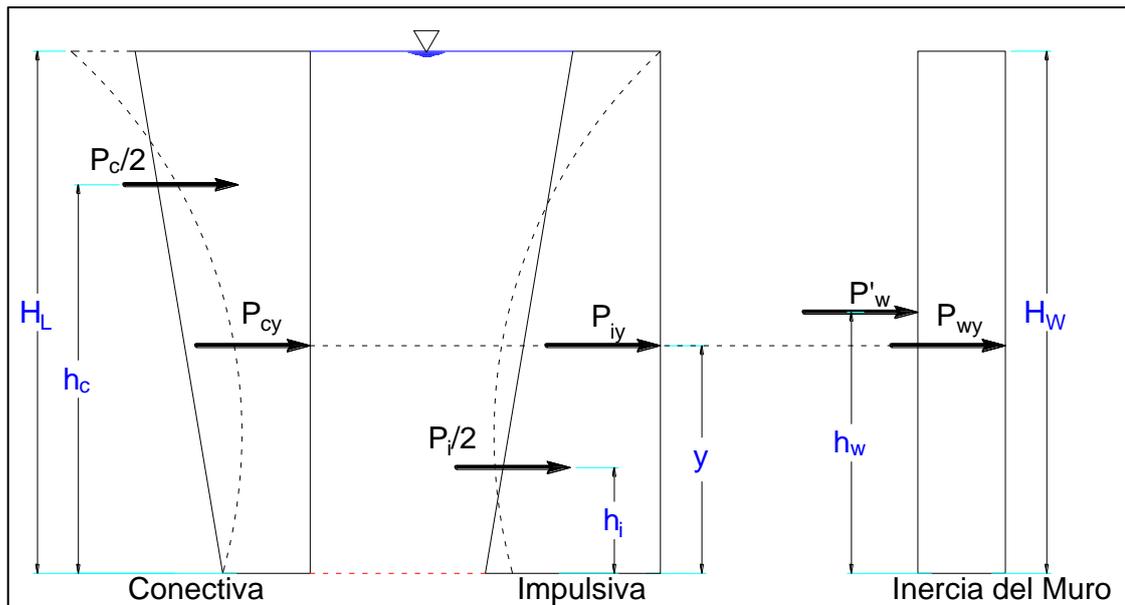
*Fuente: F. Casella*



**Figura 3.8.4. Modelo dinámico matemático**

*Fuente: F. Casella*

El método dispone la siguiente interpretación para las fuerzas sísmicas, como se muestran en la figura 3.8.5.



**Figura 3.8.5. Fuerzas sísmicas de diseño**

*Fuente: F. Casella*

Después de calcular los esfuerzos actuantes, se usaron las tablas de la PCA para tanques rectangulares, y así se obtuvieron los esfuerzos en los muros. Una vez que se determinó los esfuerzos en los muros se realizaron las comprobaciones a cortante, se verificaron los espesores seleccionados y se determinó la cantidad de acero de refuerzo. La tapa y la cimentación se las calculó usando únicamente las tablas de la PCA.

La caseta de equipos se la calculó con los métodos tradicionales de diseño, basándose en la Norma Ecuatoriana de la Construcción y las partes aplicables del ACI-318S-11

### **3.9. Costo de construcción y mantenimiento**

El diseño del trabajo tiene dos costos de implementación y construcción:

- a) Sistema de tratamiento de agua potable.
- b) Construcción de obra civil y cisterna.

El costo del Sistema de tratamiento de agua potable es de \$11.201,83. Esta es la inversión necesaria en equipos, materiales y herramientas para la construcción y

puesta en marcha de la misma. Incluye además la cantidad de químicos para 1 año de trabajo.

En complemento al sistema, este no estaría completo sin el espacio donde estuviera alojado, que es la obra civil. Así como el tanque reservorio o cisterna de hormigón armado. El valor total de la inversión de lo mencionado es de \$ 14.164,57.

La suma de los valores anteriores da el valor total de la inversión para la construcción del diseño planteado en el presente estudio se observan a continuación en la Tabla 3.9.1. Los detalles de descripción, cantidad y costos a invertir están en los anexos.

**Tabla 3.9.1. Inversión para construcción de la planta diseñada**

Sistema de tratamiento de agua potable	\$ 11.201,83
Obra civil y cisterna	\$ 14.164,57
Total	\$ 25.366,40

*Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos*

Por tanto, el costo inicial de la inversión, todo incluido, con material de trabajo para el primer año de mantenimiento es de \$25.366.40.

Una vez construida la planta y en operación, se requiere se haga un mantenimiento, el cual tiene un costo y también ha sido estimado. El mantenimiento no se le incluye costo de personal para la ejecución del mismo ya que el mantenimiento lo efectuarán los operadores de la camaronera usando el manual de sistema de gestión de la calidad que está en el anexo 4.

Por tanto, el mantenimiento de la planta es de \$899.64 por año. Ver en los anexos el detalle de los gastos de mantenimiento de la planta por año.

### **3.10. Mantenimiento de la planta**

Para el mantenimiento de la planta se elaboró un manual de calidad, que funciona como texto guía oficial para la ejecución del proceso en mención. El documento cuenta con procedimientos, instructivos que detallan las actividades a seguir para la ejecución de los diferentes tipos de mantenimientos y controles de calidad de la

planta de tratamientos. Además, cuenta con formatos para los registros de mantenimientos y controles de calidad.

Para lectura del mismo ver en anexos: Anexo 4, Manual de sistema de calidad de agua potable; de una granja camaronera en Churute, provincia del Guayas, Ecuador.

### **3.11. Limitaciones del diseño**

En caso de evidenciar en los análisis físico-químicos la presencia de pesticidas solubles en agua, el presente diseño no está en condiciones de tratar este tipo de contaminantes. Únicamente pesticidas no solubles, hidrofóbicos, podrán ser tratados en la columna de carbón activado.

# CAPÍTULO 4

## 4. RESULTADOS

En el presente capítulo se detallan los resultados de todo el trabajo investigativo realizado dentro y fuera de la camaronera, según la metodología planteada en el capítulo 3.

### 4.1. Resultados de las encuestas al personal de la camaronera

En las entrevistas a varios de los trabajadores y, además, al administrador de la camaronera, ellos comunicaron que desconocen totalmente la calidad del agua que usan diariamente, tanto para cocinar sus alimentos, como para realizar sus actividades laborales, domésticas y su aseo personal. En relación al agua que beben, esta proviene de bidones de agua que compran en el pueblo cercano.

### 4.2. Resultado de la calidad del agua sin tratar

De acuerdo a los análisis físico-químicos y microbiológicos realizados al agua cruda, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 4.2.1 Resultados de análisis físico-químicos.**

Parámetros	Expresado	Unidad	Resultado	Límites máximos permisibles	Método
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	1	<2	5210B PEE/UCC/LA/10
**Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	No detectable	<4	5220D PEE/UCC/LA/03
*Nitratos	NO3-	mg/l	0,36	50	8171 HACH
*Hierro	Fe	mg/l	0,06	1	8008 HACH
*Dureza	CO3Ca	mg/l	184	500	8030 HACH
Calcio	Ca	mg/l	73,6	-	
Magnesio	Mg	mg/l	44,7	-	
pH	pH		8,29	6 - 9	Lab. Aguas ESPOL

Parámetros	Expresado	Unidad	Resultado	Límites máximos permisibles	Método
Salinidad	PSU	mg/l	0,18	-	Lab. Aguas ESPOL
Conductividad	S	uS/cm	282	-	Lab. Aguas ESPOL
Turbiedad	NTU	NTU	1	100	Lab. Aguas ESPOL
Sólidos Totales	ST	mg/l	212	-	Lab. Aguas ESPOL
Sólidos Suspendidos	SST	mg/l	5	-	Lab. Aguas ESPOL
Sólidos Disueltos	SDT	mg/l	207	500	Lab. Aguas ESPOL

Fuente: Lab. Aguas – Universidad de Guayaquil, Lab. Aguas – ESPOL

**Tabla 4.2.2. Resultados de análisis microbiológicos.**

Parámetros	Unidades	Resultados	Métodos de ensayo
Recuento de Aerobios Totales	UFC / ml	10.7 x 10	PEE 08. Método de Referencia. SM 22-9215B
Investigación de <i>Staphylococcus</i>	-	No Detectable / 50ml	PEE 06. Método de Referencia. USP 38-62
Investigación de <i>E. Coli</i>	-	No Detectable / 50ml	PEE 06. Método de Referencia. USP 38-62
Investigación de <i>Pseudomona Aeruginosa</i>	-	Detectable / 50ml	PEE 06. Método de Referencia. USP 38-62

Fuente: Lab. Lazo

Del análisis de aguas tenemos agua dura con 184ppm de dureza, ligeramente alcalina con pH de 8,29 y contaminada con una bacteria conocida como *Pseudomona Aeruginosa*.

### 4.3. Resultados del sistema de tratamiento de agua potable

En la tabla 4.3.1 se observan las variables de diseño del sistema de tratamientos de agua potable de la camaronera en Churute.

Con estos parámetros de diseño se propone la planta de tratamiento de agua potable en la camaronera en Churute, los cuales determinan las características de los equipos y el sistema en general. Estos valores fueron calculados y determinados en el capítulo 3, del apartado 3.4 al 3.7 y 3.9.

**Tabla 4.3.1. Resultados de diseño de sistema de tratamiento de agua potable**

Potencia de Bomba sumergible	2 HP
Tubería de servicio	1 pulgada
Volumen de lecho de graba	3 ft <sup>3</sup>
Dimensiones de Filtro de graba	16"x25"
Volumen de lecho de resina catiónica	3 ft <sup>3</sup>
Dimensiones de Ablandador	13"x65"
Volumen de lecho de carbón activado	3 ft <sup>3</sup>
Dimensiones de Filtro de carbón activado	14"x65"
Cantidad de sal requerida por regeneración	7.2 kg
Cantidad de sal requerida por año	7 sacos de 25 kg
Dosificación de hipoclorito de sodio	0.1ml Cl / 10 litros de agua 0.72 ml Cl /min
Cantidad de Hipoclorito de sodio por año	2 tanque de 250 kg
Bomba dosificadora de cloro (ml/min)	0.07-380 ml/min
Costo de sistema de tratamiento de agua potable	10347,83
Costo de obra civil y cisterna	14164,57
Costo de químicos	254
Inversión inicial total	24766,4
Costo de mantenimiento por año	764,64

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos

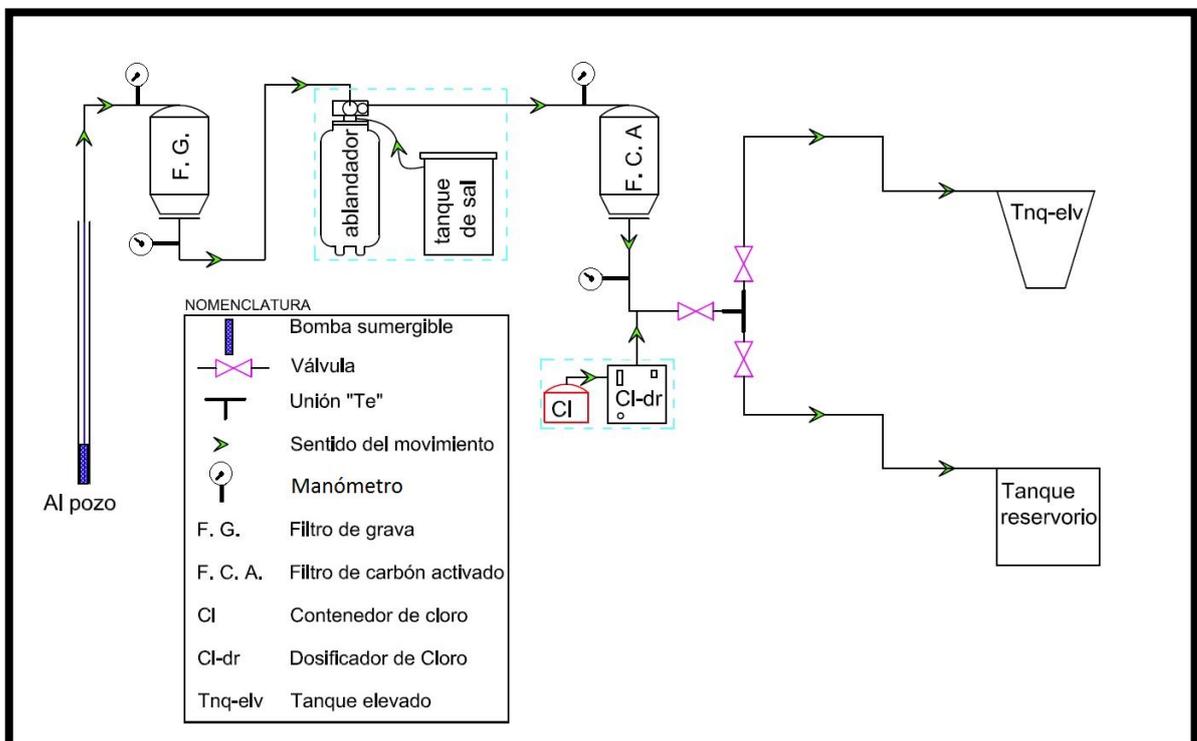
**Tabla 4.3.2. Resultados de variables calculadas de cada equipo**

Equipos	$h_L$ [m]	$t_c$ [min]	$V_f$ [m/h]	$Q$ [L/s]
Filtro arena y grava	1	2,88	33,2	1,2
Ablandador	1	4	43,2	1,2
Filtro carbón activado	1	4	43,2	1,2

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos

#### 4.4. Diagrama de flujo de procesos de planta de tratamientos de aguas propuesta.

El diseño propuesto empieza con la extracción de agua desde un pozo con una bomba sumergible. El agua pasa primero por un filtro de grava y arena, luego por un proceso de ablandamiento, prosigue al filtro con carbón activado y luego se divide en dos líneas, reguladas con válvulas de bola de forma manual. La línea 1 va primero, alimenta el tanque elevado, que es para el consumo de agua de los trabajadores, antes de llegar al tanque, una bomba dosificadora de cloro alimenta la línea, con hipoclorito de sodio. La línea 2 va al tanque cisterna, que provee de agua a la camaronera para limpieza de camarones. Antes de llegar a la cisterna, al igual que la línea 1, una bomba dosificadora de cloro alimenta la línea con hipoclorito de sodio. En la figura 4.2.1 a continuación, se representa en un diagrama de flujo la propuesta de diseño.



**Figura 4.4.1. Diagrama de Procesos de la Planta Potabilizadora de Agua.**

*Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos*

Con la planta de tratamientos se espera que el agua tratada tenga los siguientes parámetros de calidad:

**Tabla 4.4.1. Características del agua tratada**

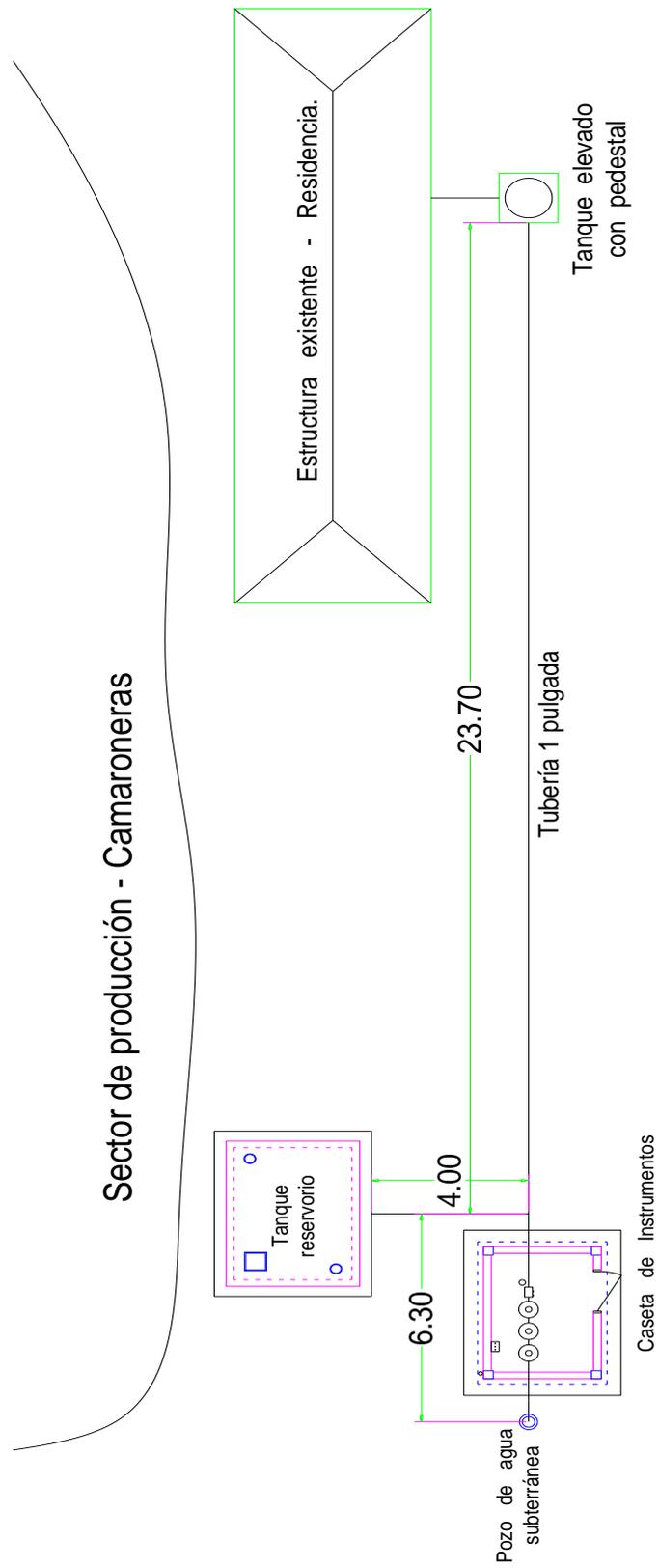
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rango</b>
Dureza	mg/L	30 – 50
Sólidos Suspendidos totales	mg/L	< 0,5
Cloro residual	mg/L	0,5
<i>Pseudomona Aeruginosa</i>	-	No detectable

*Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos*

Los valores presentados en la tabla anterior son solo un supuesto de los resultados que se espera obtener dentro de los rangos detallados.

#### **4.5. Resultados Obra Civil.**

La obra civil tiene dos secciones propuestas, la caseta de instrumentos y el tanque reservorio. Se muestra primero la implantación general y luego se detalla cada una de las estructuras. Los detalles de las estructuras se encuentran divididas en láminas. Se incluye, además, un modelado en 3D (ver figura 4.5.2). Luego se detallan las secciones para la construcción de la caseta y la cisterna.

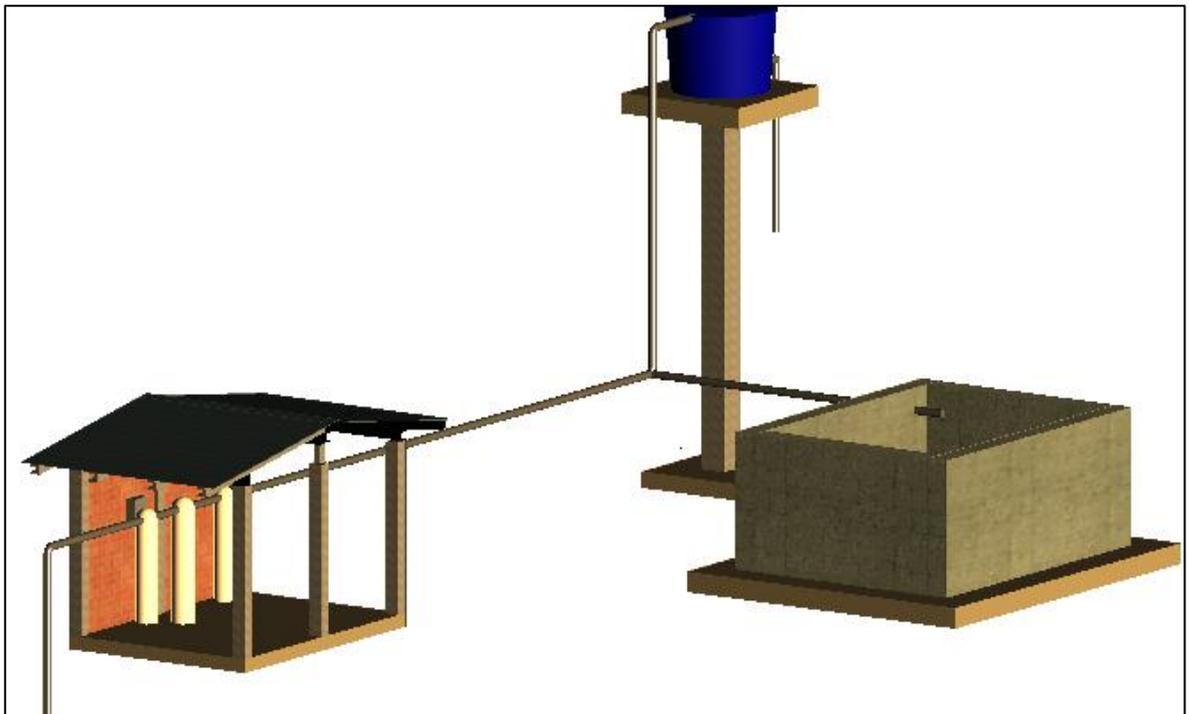


**Figura 4.5.1. Implantación General.**

*Fuente: F. Casella*

### **Caseta de equipos.**

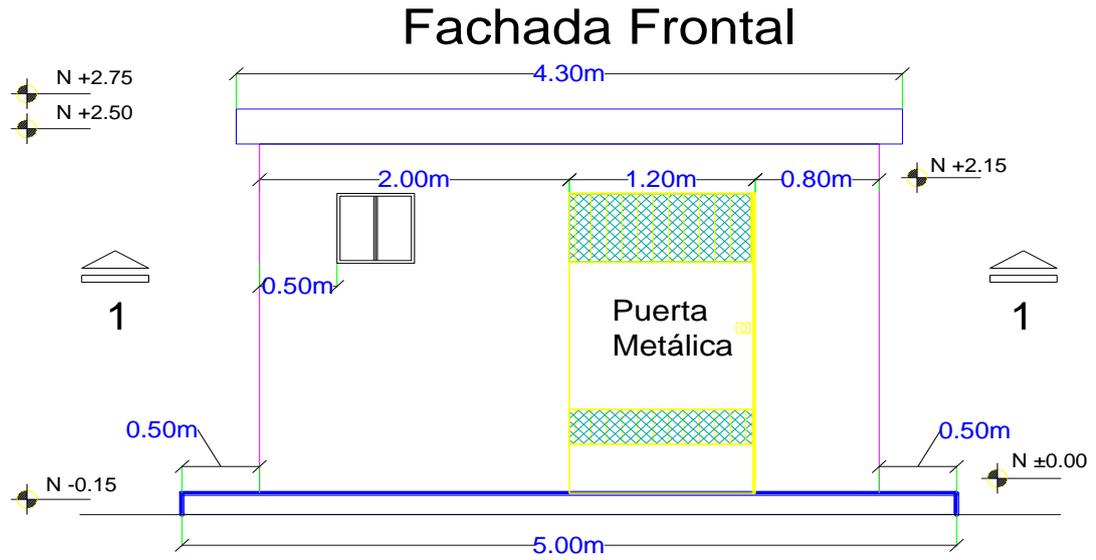
Con la finalidad de proteger los equipos que realizan la potabilización del agua, se diseñó una caseta de hormigón armado. Consta de una sola planta, que ocupa 6 m<sup>2</sup> de área, altura de 2.15 m incluyendo la cubierta. Está formada por pórticos resistentes a momentos, dos en la dirección corta y tres en la dirección larga. Se ilustra en la figura 4.5.1.



**Figura 4.5.2. Modelado en 3D de la planta potabilizadora.**

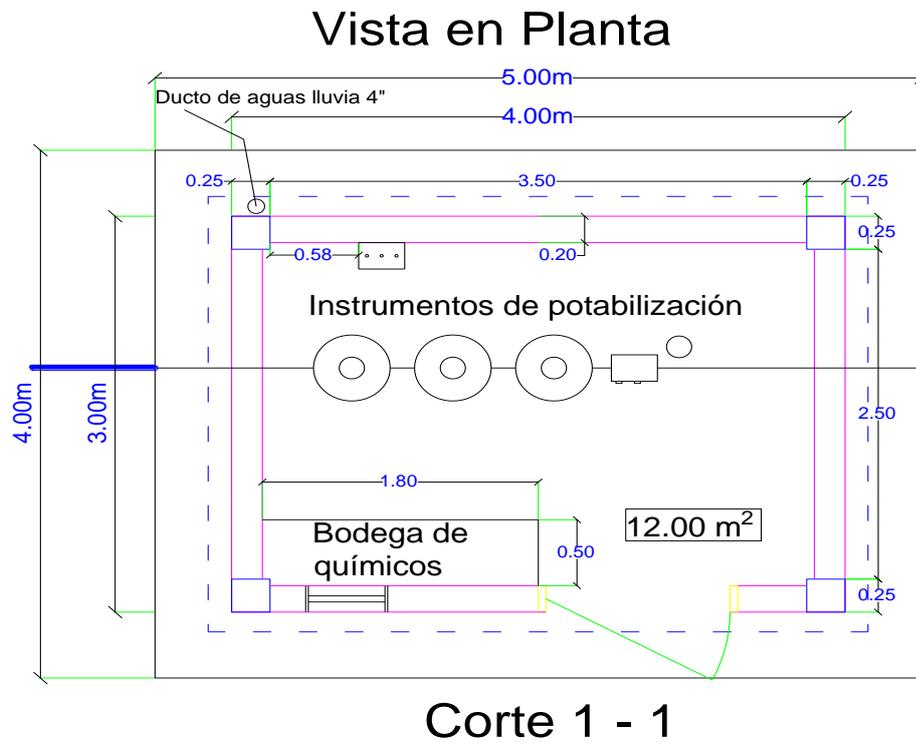
*Fuente: F. Casella*

Planos arquitectónicos de la caseta de instrumentos.



**Figura 4.5.3. Fachada Frontal. Se detalla: Altura y longitud de la edificación, puerta, ventana, contrapiso.**

*Fuente: F. Casella*



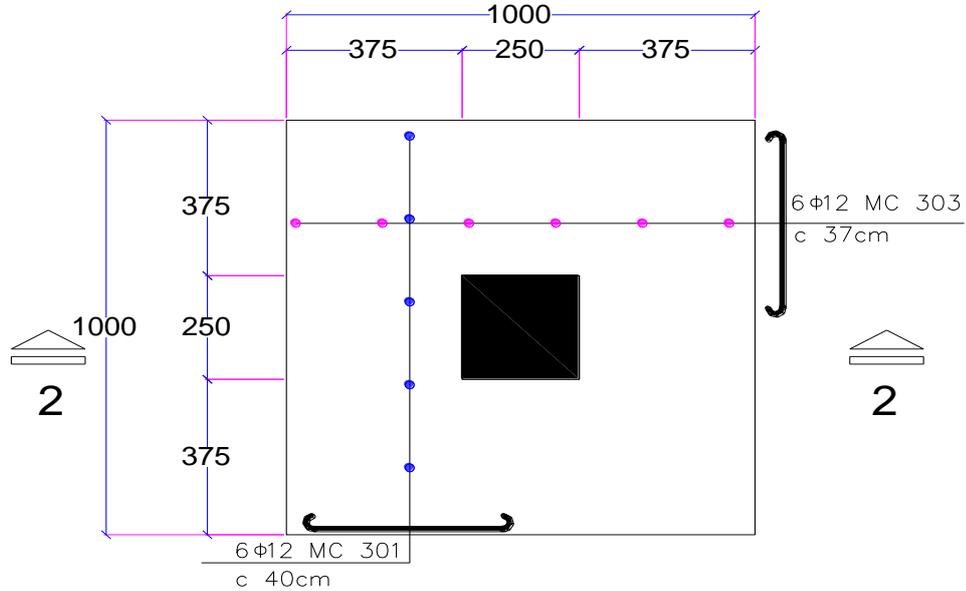
### Corte 1 - 1

**Figura 4.5.4. Se detalla la vista en planta, a la altura del corte 1 – 1, área interna, longitud y espesores de paredes.**

*Fuente: F. Casella*

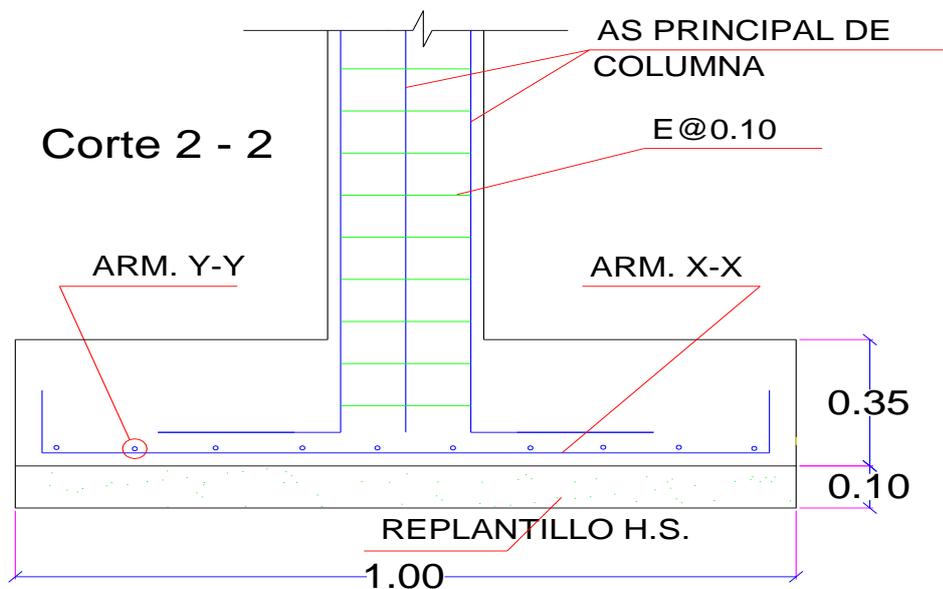
Planos estructurales de la caseta de instrumentos.

## Zapata Modelo Vista en planta



**Figura 4.5.5.** Se describe la planta típica de las zapatas, ubicación del acero de refuerzo y sus dimensiones.

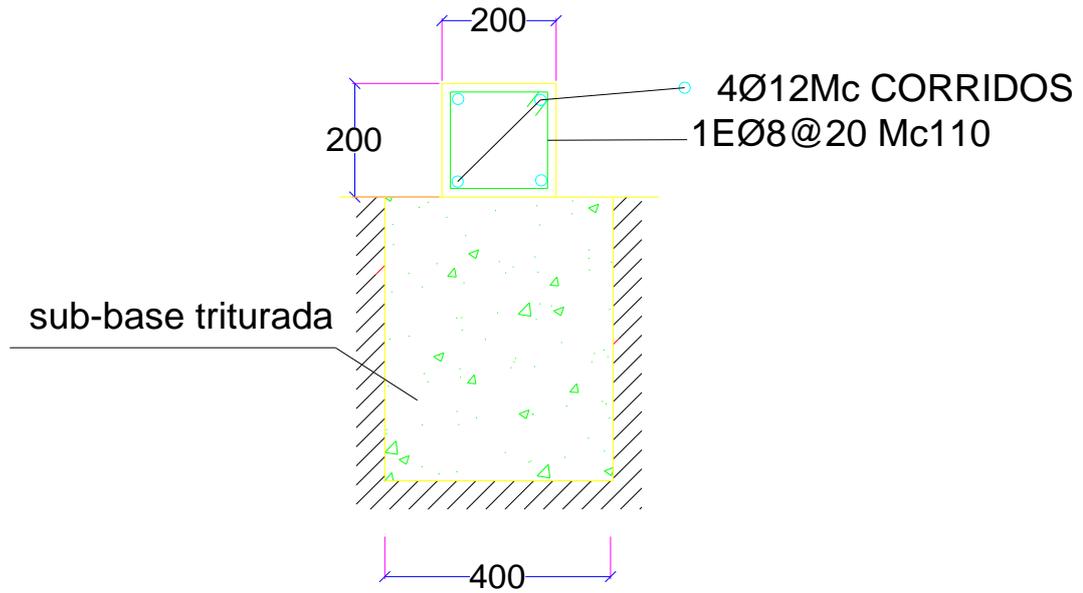
*Fuente: F. Casella*



**Figura 4.5.6.** Se describe el corte 2 – 2 cimentación tipo, ubicación del acero de refuerzo y sus dimensiones.

*Fuente: F. Casella*

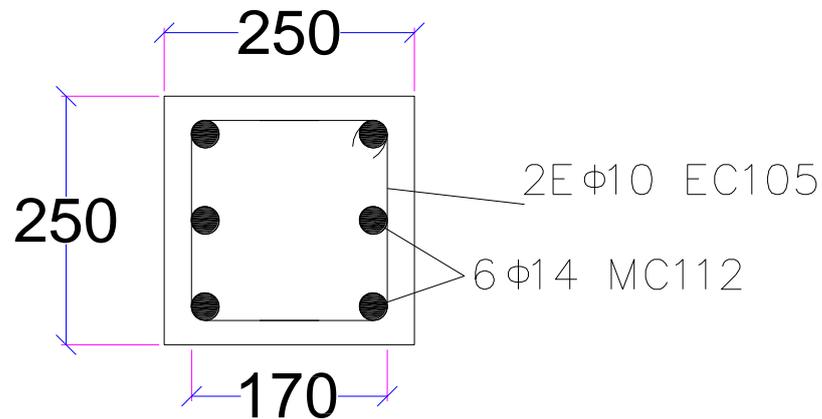
Cadena de amarre.



**Figura 4.5.7. Descripción de la cadena de amarre. Sección típica, acero de refuerzo, relleno compactado con material de sub-base triturada.**

*Fuente: F. Casella*

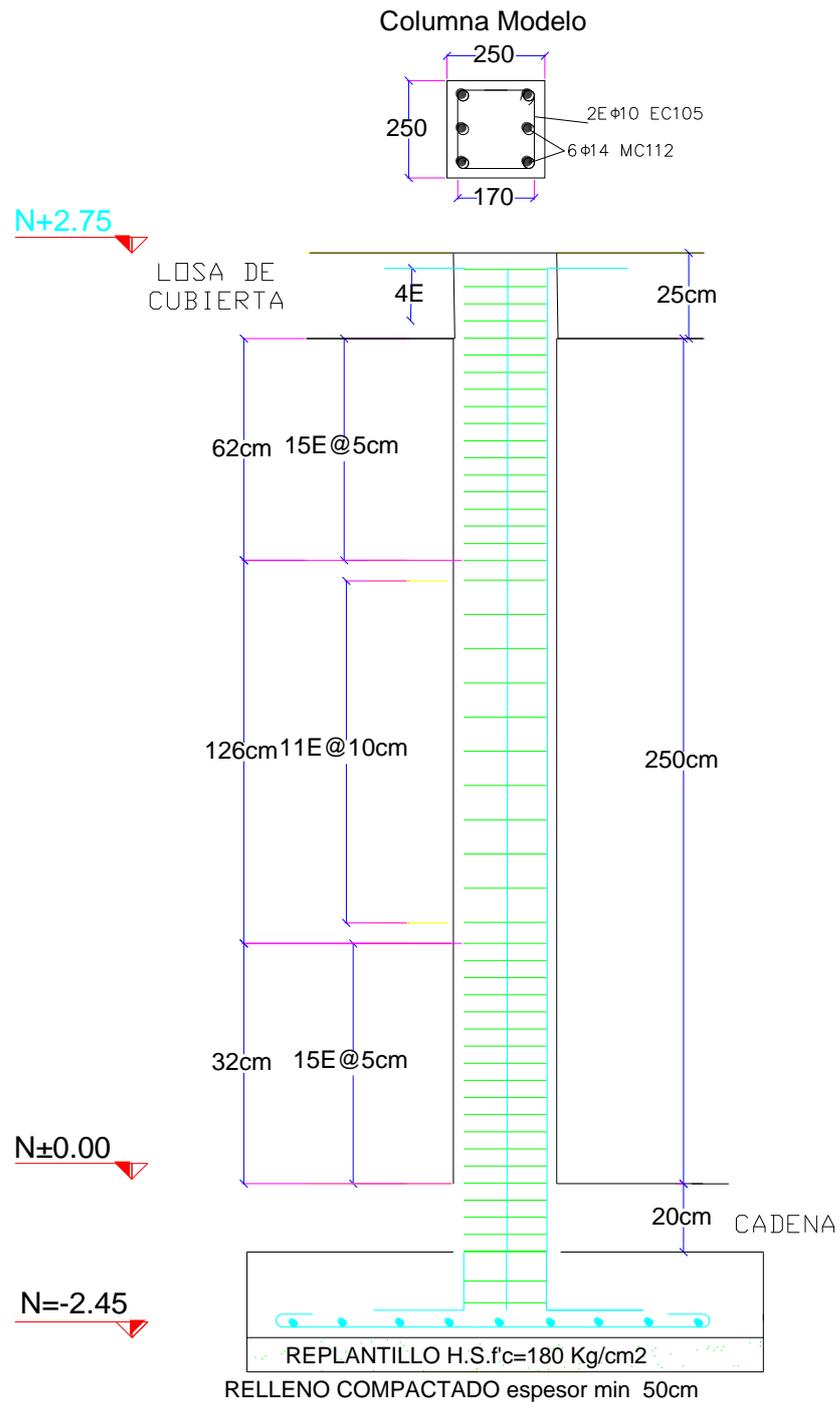
Sección Típica de las Columnas



**Figura 4.5.8. Descripción de la cadena de amarre. Sección típica, acero de refuerzo, relleno compactado con material de sub-base triturada.**

*Fuente: F. Casella*

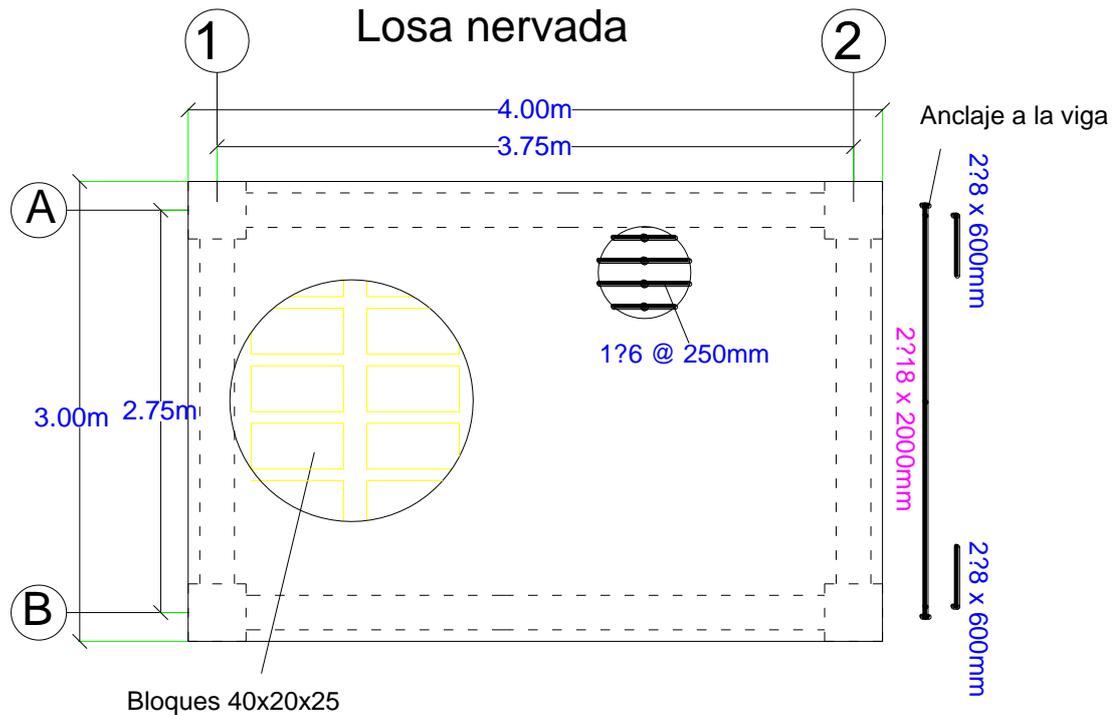
## Columna tipo



**Figura 4.5.9. Se describe la dimensión de la columna, ubicación y separación de los estribos, sección típica.**

*Fuente: F. Casella*

## Cubierta – Losa Nervada



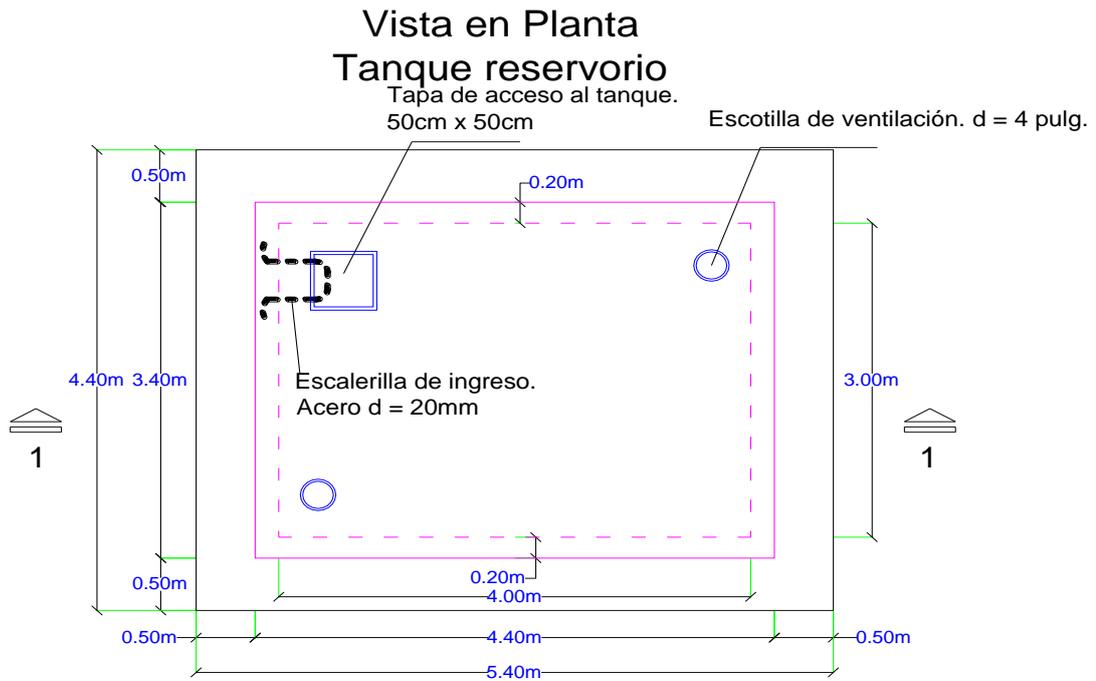
**Figura 4.5.10. Se describen las dimensiones de la losa que sirve de cubierta para la caseta de instrumentos. Se detalla el acero de refuerzo y el tipo de bloque a usarse para el aliviar la losa.**

*Fuente: F. Casella*

## Tanque reservorio

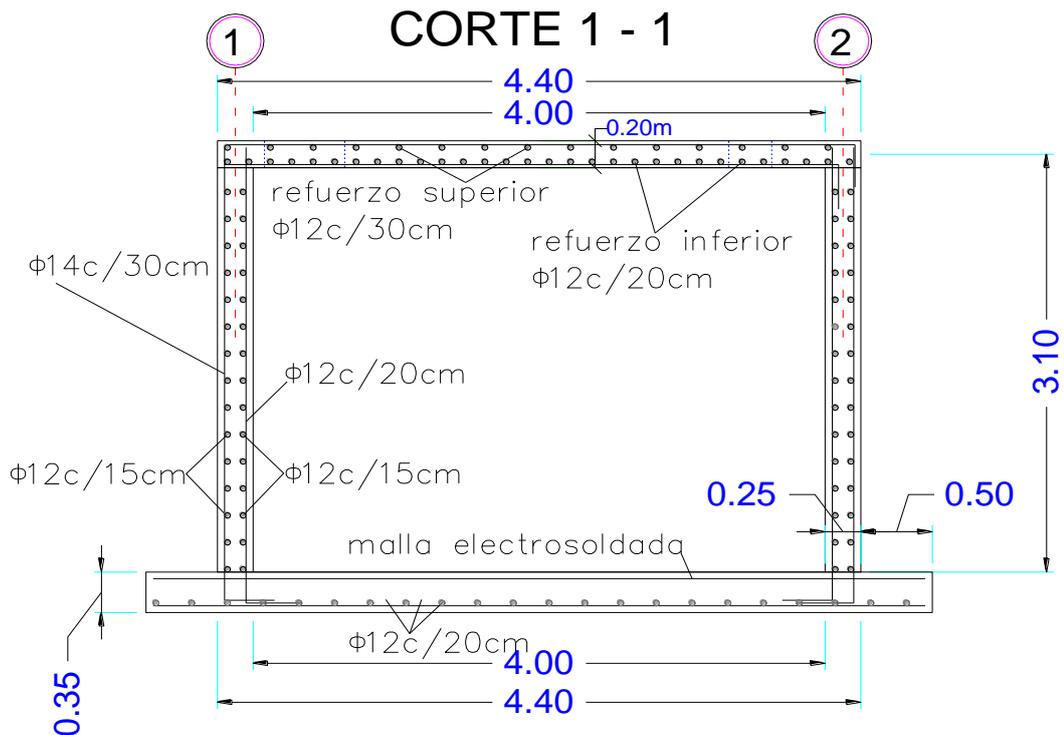
El tanque reservorio quedó diseñado de la siguiente manera. Base hormigón de 5.50m x 4.50m, 4 cuatro muros perimetrales, de secciones internas del lado largo 4m x 3m, del lado corto 3m x 3m, todos con un espesor  $e = 20\text{cm}$  y hormigón de  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ . Se presenta el detalle del armado en las figuras siguientes.

Tanque reservorio. Capacidad de diseño 20m<sup>3</sup>.



**Figura 4.5.11. Se describe las dimensiones de los muros y cimentación, espesores de los muros, accesorios de ventilación y acceso al tanque.**

*Fuente: F. Casella*



**Figura 4.5.12. Se describen los aceros de refuerzo de la cubierta, los muros y de la losa cimentación.**

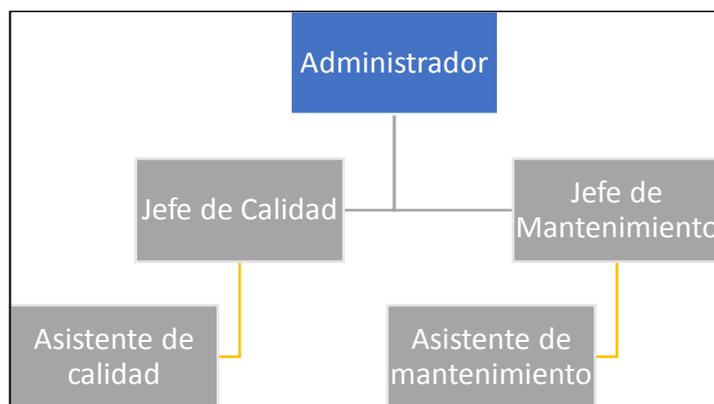
*Fuente: F. Casella*

#### 4.6. Sistema de Calidad para tratamiento de agua.

Resultado del presente trabajo se elaboró un sistema de calidad para tratamiento de agua para la empresa camaronera. Este documento cuenta con un manual de guía inicial, procedimientos, instructivos y formatos para registros de las actividades. Se basó la redacción del documento según la Organización Internacional de Normas (ISO). Lo mencionado se adjunta desde el Anexo 4 hasta el Anexo 13. Los mismos que contiene la siguiente documentación:

El objetivo del documento es comunicar de forma simple y clara al equipo de calidad y demás involucrados sobre los componentes y funcionamiento general del sistema de calidad de la planta de tratamiento de aguas. El alcance del documento cubre la guía inicial para el manejo del sistema de calidad de la planta de tratamiento de agua potable de una granja camaronera en churute. El responsable del Departamento de Calidad es responsable de los contenidos de este procedimiento y de asegurar su cumplimiento.

El sistema de gestión de calidad para la planta de tratamiento de aguas es un medio de control, supervisión y mejora continua del mismo. Este sistema es operado por tres actores principales quienes son los encargados de dirigir, implementar, ejecutar y mejorar continuamente tanto el sistema como los procesos. Los involucrados se observan en el siguiente cuadro jerárquico: Administrador, Jefe de Calidad, Jefe de Mantenimiento.



**Figura 4.6.1. Organigrama de personas del sistema de gestión de calidad de planta de tratamiento de agua potable.**

*Fuente: S. De Los Ríos*

El administrador es el contacto directo con los dueños de la camaronera, es el que supervisa todos los procesos, es la persona que toma las decisiones trascendentales y de peso en la empresa. Luego debajo del administrador, él tiene a su cargo directo el jefe de calidad y el jefe de mantenimiento. El primero es el encargado de la calidad de los procesos, que el sistema esté operando de forma óptima. El segundo es llamado cada que se necesita mantenimiento de los equipos, sea programado o imprevisto. Cada jefe tiene a su cargo operadores de la camaronera que les brindan soporte en el desarrollo de sus actividades, llamados asistentes de calidad y asistentes de mantenimiento.

Para la ejecución, registro, control y supervisión de los procesos se creó un sistema por escrito para la planta de tratamientos de aguas. A continuación, una lista de los documentos elaborados (tabla 1.) para la ejecución del presente sistema.

**Tabla 4.6.1. Directorio de documentos de sistema**

CÓDIGO	PROCEDIMIENTO	CÓDIGO	SUBPROCESO
PRO-CC-01	CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA	FOR-CC-01	Medición de pH y cloro residual en agua
		FOR-CC-02	Control de Mantenimiento de tanque de almacenamiento
		FOR-CC-03	Análisis Externo de calidad del agua
		FOR-CC-04	Medición de dureza en agua
		FOR-CC-05	Identificación de muestras de aguas
		INS-CC-01	Toma de muestra de agua para análisis de calidad
		INS-CC-02	Instructivo de medición de pH y Cloro insi-tu
		INS-CC-03	Instructivo de medición de Dureza insi-tu
PRO-MAN-01	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTALACIONES	FOR-MAN-01	Registro de mantenimiento
		FOR-MAN-02	Regeneración de ablandador
		INS-MAN-01	Regeneración de ablandador
		INS-MAN-02	Limpieza y desinfección de grifos
		INS-MAN-03	Limpieza y desinfección de tanques y cisternas de almacenamiento de agua potable

Fuente: S. De Los Ríos, A. Onofre

Los documentos del sistema tienen creado códigos que los identifica según su naturaleza. A continuación, una tabla explicativa del tema:

**Tabla 4.6.2. Códigos de documentos**

<b>TIPOS DE DOCUMENTOS</b>	<b>CÓDIGO</b>
Procedimientos	PRO
Instructivos	INS
Formatos	FOR
Manual	MN
<b>DEPARTAMENTOS</b>	<b>CÓDIGO</b>
Mantenimiento	MAN
Calidad	CC

*Fuente: S. De Los Ríos, A. Onofre*

# CAPÍTULO 5

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

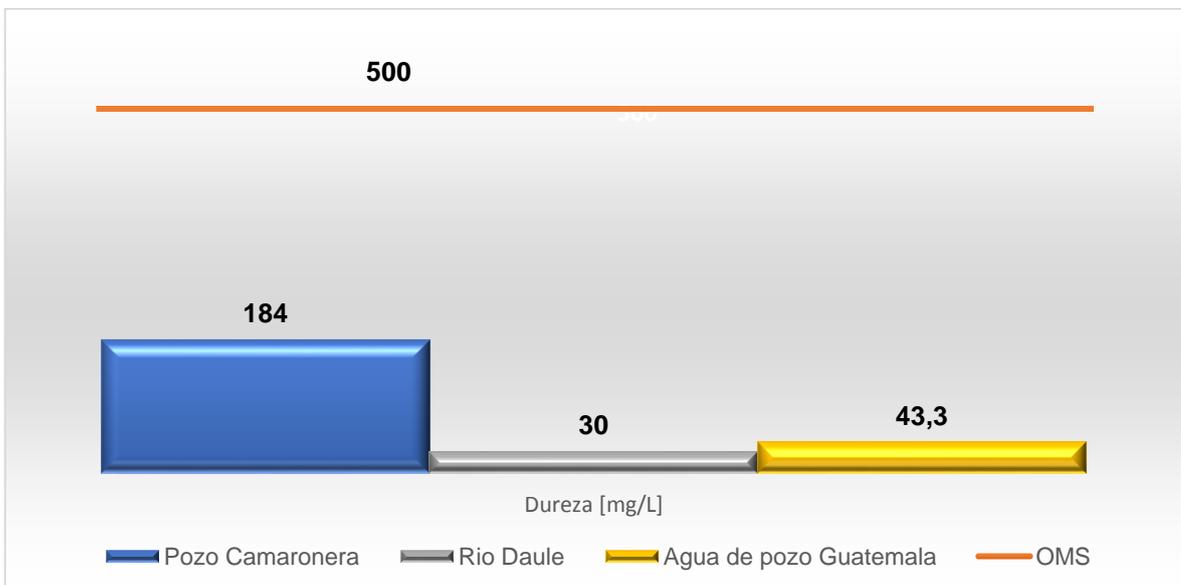
Se analizó la calidad del agua y dio como resultado un agua dura (184ppm CaCO<sub>3</sub>), con pH en el límite admisible de 8.29 y contaminada con una bacteria, Pseudomona Aeruginosa. Evidencia claramente que el agua del pozo no es potable y por tanto requiere un sistema de tratamiento de agua.

Para mayor comprensión de la calidad del agua a tratar, se realizó una gráfica comparativa, con análisis de calidad de agua de otras fuentes (río Daule y agua de pozo de Guatemala), también con los límites máximos permisibles de la norma ecuatoriana. (ver figura 5.1 y 5.2)

**Tabla 5.1. Comparaciones de dureza**

Parámetros	Pozo Camaronera	OMS	Rio Daule	Agua de pozo Guatemala
Dureza [mg/L]	184	500	30	43,3
Conductividad [uS/cm]	282	250	89,9	256

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos (Hidropozos - Guatemala, 2012) (Prefectura del Guayas, 2015) (OMS, 2006)



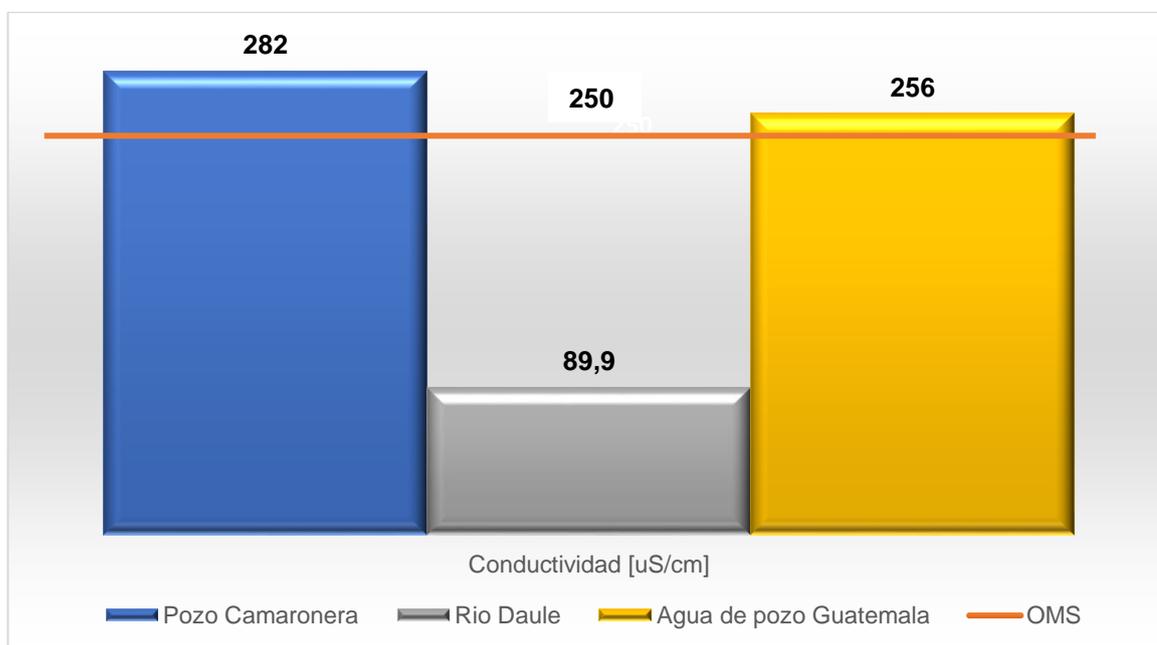
**Figura 5.1. Diagrama de barras**

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos (Hidropozos - Guatemala, 2012) (Prefectura del Guayas, 2015) (OMS, 2006)

**Tabla 5.2. Comparaciones de conductividad**

Parámetros	Pozo Camaronera	OMS	Rio Daule	Agua de pozo Guatemala
Conductividad [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	282	250	89,9	256

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos (Hidropozos - Guatemala, 2012) (Prefectura del Guayas, 2015) (OMS, 2006)



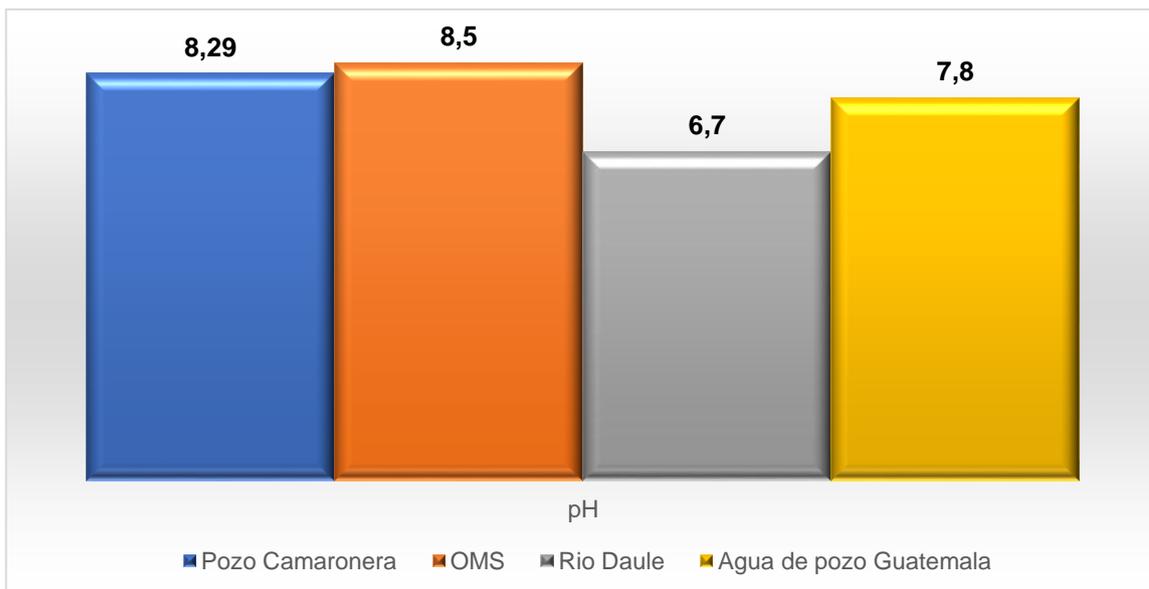
**Figura 5.2. Diagrama de barras**

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos (Hidropozos - Guatemala, 2012) (Prefectura del Guayas, 2015) (OMS, 2006)

**Tabla 5.3. Comparaciones de pH**

Parámetros	Pozo Camaronera	OMS	Rio Daule	Agua de pozo Guatemala
pH	8,29	8,5	6,7	7,8

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos (Hidropozos - Guatemala, 2012) (Prefectura del Guayas, 2015) (OMS, 2006)



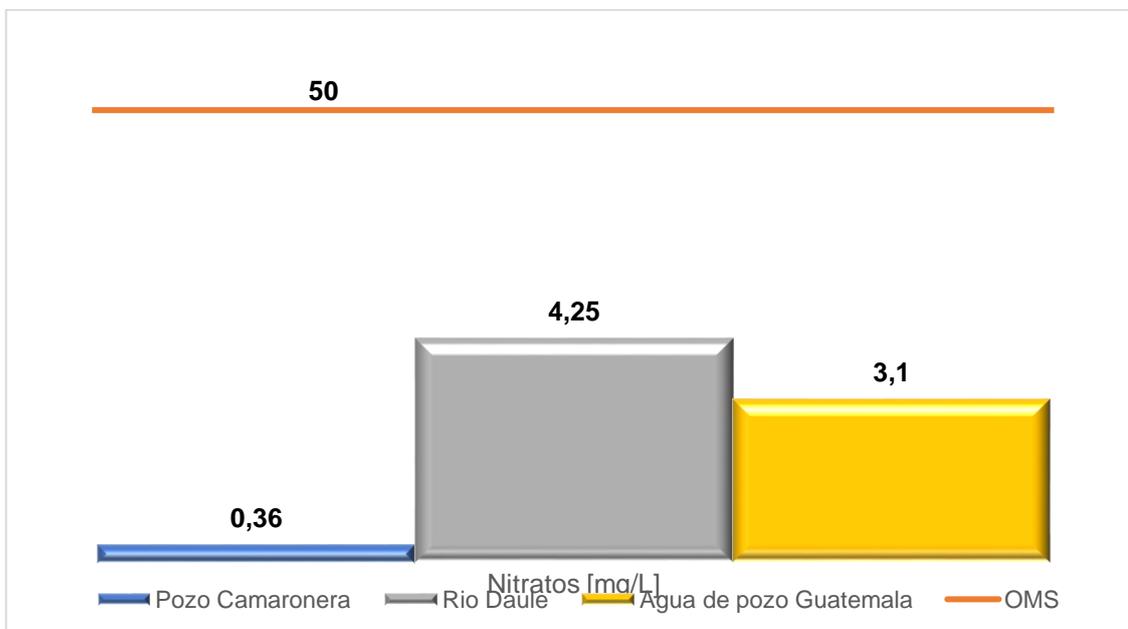
**Figura 5.3. Diagrama de barras**

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos (Hidropozos - Guatemala, 2012) (Prefectura del Guayas, 2015) (OMS, 2006)

**Tabla 5.4. Comparaciones de nitratos**

Parámetros	Pozo Camaronera	OMS	Rio Daule	Agua de pozo Guatemala
Nitratos [mg/L]	0,36	50	4,25	3,1

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos (Hidropozos - Guatemala, 2012) (Prefectura del Guayas, 2015) (OMS, 2006)



**Figura 5.4. Diagrama de barras**

Fuente: A. Onofre, S. De Los Ríos (Hidropozos - Guatemala, 2012) (Prefectura del Guayas, 2015) (OMS, 2006)

El tratamiento indicado, procesos a seguir, y destino del agua, son los cuestionamientos iniciales en el desarrollo del estudio. Para esto se realizaron entrevistas y un levantamiento de información en la empresa camaronera, de modo que se visualicen las necesidades de agua de la misma.

Se evidenció que no cuentan con una red de agua potable, que su única fuente de agua es el pozo y el río. Por tanto, se propuso un sistema de potabilización para la comunidad de 20 personas que viven en la camaronera, de forma que tengan agua potable para suplir todas sus necesidades y también para la limpieza de camarones, debido a que la empresa los lava con la misma agua de las piscinas, actividad no conforme a las normativas de calidad e inocuidad alimentaria.

Se pensó en un sistema que garantice la calidad del agua potable durante todo el año, ya que según la época o por un suceso fortuito la calidad puede variar significativamente a los parámetros obtenidos en este estudio.

El sistema propuesto empieza con la extracción de agua del pozo. Una bomba a presión que permita subir el agua a más de 27 metros de altura es costosa, por tanto, se escogió una bomba sumergible de manera que el sistema bombee agua con la presión suficiente a todo el sistema de tratamiento. Luego del bombeo, el agua ingresa al primer filtro, compuesto por: antracita, arena y grava (proceso obligatorio de todos los sistemas de potabilización).

El siguiente proceso es el ablandamiento, ya que se requiere disminuir la dureza del agua, para esto se usa un ablandador con resina catiónica. Hasta este punto del proceso se tiene agua sin sólidos suspendidos y sin dureza, pero aún se tienen olores, sabores y una bacteria. Para esto se eligió un proceso de adsorción con un filtro de carbón activado granular (específicamente de concha de coco), con el cual se remueven los olores y sabores, y para finalizar el proceso se realiza la desinfección, la forma más económica y efectiva es la cloración, mediante una bomba dosificadora de hipoclorito de sodio al 10%. La dosis de cloro se la determinó mediante experimentación, con una muestra del agua de pozo, en la cual se adicionó cloro y se midió la concentración de cloro residual después de 30 minutos.

Obteniendo como resultado una concentración de 1ppm de cloro residual, por lo tanto, la dosificación correcta para esa agua en particular es de 1ml por cada 100 litros de agua.

Una vez tratada el agua, la misma se distribuye a un tanque elevado de 2 metros cúbicos, para el consumo humano, y a un tanque reservorio de 20 metros cúbicos, para el lavado de camarones.

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

Se propuso un diseño de una planta potabilizadora tomando en cuenta el consumo humano y el consumo para lavado de camarones, de manera que satisfaga todas las necesidades de la camaronera, asegurando la calidad del agua durante todo el año.

Se realizó una toma de muestras del agua cruda y se hicieron los respectivos análisis físico-químicos y microbiológicos, de los cuales, se define que el agua que se toma del pozo es agua dura con 184ppm como carbonato de calcio, es ligeramente básica con pH de 8.4 y está contaminada con una bacteria, *Pseudomona Aeruginosa*.

Al comparar los resultados de los análisis con los límites máximos permisibles por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, norma técnica ecuatoriana 1 108:2006, se concluye que el agua del pozo no cumple todos los parámetros mínimos para que sea potable y apta para el consumo humano.

En función de la naturaleza del agua y los ensayos de laboratorio, se determinó que el tratamiento necesario consta de filtración en arena y grava, ablandamiento, adsorción y desinfección con cloro.

El diseño propuesto empieza con la extracción de agua desde un pozo con una bomba sumergible. El agua pasa primero por un proceso de filtración por arena, luego por un proceso de ablandamiento, prosigue el proceso de adsorción con un filtro con carbón activado y luego se divide en dos líneas, reguladas con válvulas de bola de forma manual. La línea 1 alimenta el tanque elevado que es para el consumo de agua de los trabajadores, antes de llegar al tanque, una bomba dosificadora de químicos alimenta la línea con hipoclorito de sodio. La línea 2 va al

tanque cisterna, que provee de agua a la camaronera para limpieza de camarones. Antes de llegar a la cisterna, al igual que la línea 1, una bomba dosificadora de químicos alimenta la línea con hipoclorito de sodio.

El filtro de grava y arena tiene una dimensión de 16x65 pulgadas y un volumen de lecho filtrante de 3 pies cúbicos. Luego sigue el ablandador que una dimensión de 14x65 pulgadas y un volumen de resina catiónica de 3 pies cúbicos. Finalmente, la columna de adsorción con carbón activado posee una dimensión de 14x65 pulgadas y un volumen de lecho de carbón activado de 3 pies cúbicos.

Se escogió una bomba sumergible por ser un mecanismo eficiente para extraer agua de pozo a 27 metros de profundidad. La bomba sumergible cuenta con 2HP de potencia. La bomba de caudal a gasolina de 5.5 HP, a la fecha, 9 de septiembre de 2017, se encuentra instalada para extraer agua de pozo, en la propuesta de diseño del presente trabajo, se sugiere ubicar la bomba a la salida del reservorio de agua de 20 metros cúbicos para la distribución de agua para la limpieza de los camarones.

Para la dosificación de cloro se requiere un flujo de 0.72ml Hipoclorito de sodio/min, 0,1 ml de hipoclorito de sodio por cada 10 litros de agua, lo que da como resultado un cloro residual de 1ppm. Se escogió una bomba dosificadora de químicos con un flujo ajustable entre 0.07- 380ml/min.

La inversión necesaria para la construcción de la planta potabilizadora de agua que abastece a una comunidad de 20 personas y provee de agua para limpieza de 5000 lb de camarón por día es de \$24,766.40. El costo de mantenimiento por año es de \$764.64.

Los esfuerzos resultantes en el análisis sismo resistente son consecuentemente mayores a los esfuerzos que se calculan únicamente bajo cargas no sísmicas. Es necesario seleccionar las secciones de los muros tomando en cuenta las relaciones existentes en las tablas proporcionadas por la Portland Cement Association (PCA).

De no haber coincidido las relaciones lado/altura con las presentadas por la Portland Cement Association (PCA) se hubiera tenido que seleccionar la relación a/h inmediatamente superior, lo cual hubiese significado un sobredimensionamiento de la estructura. Sobredimensionar la estructura se traduce a un costo mayor al necesario estructuralmente.

La PCA sugiere que el análisis de los muros se los ejecute, al menos, bajo las dos primeras condiciones de carga, esto es, considerar al tanque lleno con el líquido sin presión lateral de tierras, y el caso dos, cuando actúan únicamente las presiones de tierra, sin considerar la presión por el fluido. Sin embargo, al encontrarse el tanque en la superficie, se ha considerado únicamente la condición de carga 1.

Se creó un manual de calidad para el mantenimiento, control, registros y mejora continua para la planta de tratamiento de agua que se diseñó en el presente trabajo. El manual junto a una copia del presente estudio se entregó a los directivos y personal de la empresa camaronera para su autogestión y desarrollo del mismo.

## **6.2. Recomendaciones**

Como medida a tomar de forma inmediata, antes de invertir en la construcción de la planta, recomendamos los siguientes puntos a corregir de forma inmediata:

Limpiar el tanque elevado, seguir procedimiento en el manual de calidad, PRO-MAN-01. LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE TANQUES Y CISTERNAS DE AGUA POTABLE, adjunto en los Anexos del presente escrito. Realizar limpieza de tanque cada 6 meses.

La manguera que carga el agua al tanque elevado, la boca de salida del agua debe estar en la parte superior del tanque, al momento del levantamiento de información para este trabajo, se constató que la manguera está sumergida en el tanque generando una presión negativa, efecto conocido como “sifonado”, que devuelve el agua a la bomba.

Añadir al tanque elevado cloro líquido conocido como hipoclorito de sodio. Hacer pruebas con kit de medición de cloro para establecer dosificación y controlar la misma de forma diaria hasta obtener un valor estándar añadir de forma periódica.

Se sugiere como primera inversión la compra de un tanque elevado apilable plástico (forma tipo vaso) de 2000 litros, que tiene un costo de \$240.

En caso de no comprar el tanque de forma inmediata, se recomienda cambiar de lugar la salida de agua del tanque que va desde la parte inferior del tanque, esta debe estar ubicada en la sección lateral del tanque a 30-40cm del piso.

Se recomienda esterilizar los grifos de lavaderos, lavaplatos todos los días. Limpiar con un jabón y luego esterilizar con alcohol y un mechero o encendedor. Seguir instructivo en el manual de calidad, INS-MAN-02. LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE GRIFOS Y LLAVES DE AGUA, adjunto en los Anexos del presente trabajo.

Se recomienda poner una purga de aire en el tanque cisterna para mantener el mismo a presión atmosférica y no se presurice con el sistema de tubería a presión.

Es indispensable impermeabilizar la cisterna con un recubrimiento especial de manera que se eviten filtraciones de agua en el cemento. Este impermeabilizado es marca SIKA TOP 144.

Se recomienda leer detenidamente el Manual de Sistema de Calidad de Agua Potable antes de empezar la construcción del mismo. Una vez construido se debe asignar a un Jefe de Calidad y un Jefe de Mantenimiento quienes deben de conocer a cabalidad el contenido de dicho documento.

Se recomienda hacer un análisis de la calidad del agua cada 6 meses, imprimir, leer y tener a la mano el PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTANDAR (POES) de Control de Calidad Del Agua que se encuentra en los anexos.

Se recomienda hacer un análisis de pesticidas de organoclorados y organofosforados en las aguas. Esto que se haga una vez cada tres meses que son los tiempos promedios de cosecha de los cultivos en los alrededores.

Para la compra de equipos y materiales requeridos para la construcción y puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas se recomienda consultar con los proveedores recomendados en Anexo 14 y adquirir los equipos sugeridos en el Capítulo 3.7. Estos equipos, materiales y proveedores según los autores están calificados para el requerimiento, sin embargo, no es rígida ni exclusiva la elección. La selección está a libre disposición del beneficiario, mientras se mantengan los parámetros de diseño, lo presentado es una guía práctica y real de opciones en el mercado.

## REFERENCIAS

- American Concrete Institute . (2006). *Code Requeriments for Enviromental Engineering Concrete Structures and Commentary*. Comité ACI.
- Aquaquimi. (2015). *Tratamientos de agua potable*. Obtenido de Desinfección:  
[http://www.aquaquimi.com/Paginas/Trat\\_agua\\_pot/Desinfeccion%20agua/agua%20potable%20cloro.html#sodio](http://www.aquaquimi.com/Paginas/Trat_agua_pot/Desinfeccion%20agua/agua%20potable%20cloro.html#sodio)
- Basulto, J. (17 de diciembre de 2014). *Eroski Consumer*. Obtenido de Agua dura:  
[http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/aprender\\_a\\_comer\\_bien/alimentos\\_a\\_debate/2014/12/17/221133.php](http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/aprender_a_comer_bien/alimentos_a_debate/2014/12/17/221133.php)
- Bravo, E. (2014). *La Industria Camaronera en en Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Carbotecnia. (2017). *Carbotecnia*. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/categoria-producto/equipo-para-tratamiento-de-aguas/medios-filtrantes-granulares/>
- Degrémont. (1979). Filtración. En Degrémont, *Manual Técnico del Agua* (pág. 254). España: Artes Gráficas Grijelmo, S.A.
- El Comercio. (14 de noviembre de 2015). Ecuador consume más agua en la región. *El Comercio*.
- Geocities. (30 de octubre de 2009). *Geocities*. Obtenido de Filtración en grava y arena:  
<http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm>
- Gordon Maskew Fair, J. C. (1990). *Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales* (Cuarta ed., Vol. 3). México: Limusa, S.A.
- Hidropozos - Guatemala. (2012). *Informe de análisis de agua potable* . Guatemala.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (enero de 2014). NTE INEN 1108. *Agua potable. Requisitos*. Quito, Ecuador: Quinta edición.
- J. Glynn Henry, f. o. (1999). *Ingeniería ambiental*. México D.F: Pearson Educación.
- Lenntech. (28 de agosto de 2017). *Water Treatment*. Obtenido de Conductividad del Agua:  
<http://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua.htm>
- MAE. (2015). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de Reserva Ecológica Manglares Churute:  
<http://www.ambiente.gob.ec/reserva-ecologica-manglares-churute/>
- Manuel Viejo, J. Á. (2004). *Bombas, Teoría, Diseño y Aplicaciones*. México: Limusa Noriega Editores.
- Ministerio del Ambiente Ecuatoriano. (2015). Acuerdo N° 97/A Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al Recurso Agua. *Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental*. Ecuador.
- OMS. (2006). OMS. *Guía para la calidad del agua potable*. Suiza: vol. 1.

- PCA. (1993). *Rectangular Concrete Tanks*. Washington DC.
- Prefectura del Guayas. (2015). *Reporte de calidad del agua - Río Daule*. Guayaquil, Ecuador.
- PROEcuador. (2016). *Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones*. Obtenido de Pesca y Acuicultura: <http://www.proecuador.gob.ec/compradores/oferta-exportable/fishing-and-aquaculture/>
- Rodier, J. (2011). *Análisis de Aguas* (9 ed.). Ediciones Omega, S.L. Recuperado el 5 de septiembre de 2017
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado*. México D.F., México.
- Secretaría del Agua. (abril de 2014). Norma CO 10.7 - 602 - Revisión. *Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. Ecuador.
- Spicer, W. J. (2009). *Microbiología clínica y enfermedades infecciosas*. Madrid: ELSEVIER.
- Vargas, J. R. (2002). *Manejo Integrado de Aguas Subterráneas: Un reto para el futuro*. Costa Rica: Universidad Estatal .
- Vidal, F. J. (2003). *Procesos de Potabilización del Agua e Influencia del tratamiento de Ozonificación*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Water Quality and Health. (10 de enero de 2014). *Milwaukee, 1993: The Largest Documented Waterborne Disease Outbreak in US History*. Obtenido de <http://www.waterandhealth.org/milwaukee-1993-largest-documented-waterborne-disease-outbreak-history/>

# **ANEXOS**

## ANEXO 1.

Análisis físico – químico del agua.

Universidad de Guayaquil.

ANEXO 2.

Análisis microbiológico.

Laboratorio Lazo.

## ANEXO 3.

Memoria de cálculos Obra Civil.

## ANEXO 4.

Manual de sistema de calidad de agua potable; de una granja camaronera en Churute, provincia del Guayas, Ecuador.

## ANEXO 5.

PRO-CC-01: Control de calidad del  
agua.

## ANEXO 6.

INS-CC-01: Toma de muestra de agua  
para análisis de calidad.

## ANEXO 7.

INS-CC-02: Instructivo de medición de  
pH y cloro residual in-situ.

## ANEXO 8.

INS-CC-03: Instructivo de medición de  
Dureza in-situ.

## ANEXO 9.

PRO-MAN-01: Mantenimiento de  
equipos e instalaciones.

ANEXO 10.

INS-MAN-01: Regeneración de  
ablandador.

## ANEXO 11.

INS-MAN-02: Limpieza y desinfección de  
grifos.

## ANEXO 12.

INS-MAN-03: Limpieza y desinfección de tanques y cisternas de almacenamiento de agua potable.

## ANEXO 13.

Formatos para registros del Sistema de calidad de agua potable; de una granja camaronera en Churute, provincia del Guayas, Ecuador.

## ANEXO 14.

Proveedores de equipos y materiales.

**ANEXO 15.**  
**Cotizaciones**

## ANEXO 16.

Hojas técnicas de equipos

## ANEXO 17.

Hojas técnicas de químicos

## ANEXO 18.

Norma técnica ecuatoriana, NTE INEN 1  
108:2006. Segunda revisión. Agua  
potable. Requisitos.

## ANEXO 19.

Costos de construcción y mantenimiento.

## ANEXO 20.

Cálculos de la potencia de la bomba con  
pérdidas de cargas.

ANEXO 21.

Documento firmado por dueño de  
Camaronera.