



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE CARRERA:

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MEDIO
AMBIENTE**

MODALIDAD:

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**DISEÑO DE UNA PLANTA POTABLE A ESCALA PILOTO PARA
LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL ESPAM-MFL**

AUTORES:

**ALAVA PINARGOTE JEAN CARLOS
VERA MEJÍA ABIGAÍL ANDRÉS**

TUTOR:

ING. JULIO LOUREIRO SALABARRIA, Mgs

CALCETA, NOVIEMBRE 2018

DERECHOS DE AUTORÍA

JEAN CARLOS ALAVA PINARGOTE Y ABIGAIL ANDRÉS VERA MEJÍA, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

JEAN CARLOS ALAVA PINARGOTE

ABIGAIL ANDRÉS VERA MEJÍA

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

ING. JULIO LOUREIRO SALABARRIA, Mgs, certifica haber tutelado el proyecto **DISEÑO DE UNA PLANTA POTABLE A ESCALA PILOTO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL ESPAM-MFL**, que ha sido desarrollada por **JEAN CARLOS ALAVA PINARGOTE Y ABIGAIL ANDRÉS VERA MEJÍA**, previo a la obtención del título de **INGENIERO EN MEDIO AMBIENTE**, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. JULIO LOUREIRO SALABARRIA, Mgs,

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **DISEÑO DE UNA PLANTA POTABLE A ESCALA PILOTO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL ESPAM-MFL**, que ha sido propuesto, desarrollado por **JEAN CARLOS ALAVA PINARGOTE Y ABIGAIL ANDRÉS VERA MEJÍA**, previa la obtención del título de **INGENIERO EN MEDIO AMBIENTE**, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Carlos Villafuerte Vélez Mg. C.A.

MIEMBRO

Ing. Jorge Cevallos Bravo M.Sc

MIEMBRO

Ing. Carlos Delgado Villafuerte Mg. C.A.

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

A mis padres que se esfuerzan día tras día para lograr que mis metas se cumplan a mis hermanos por su apoyo incondicional y a todas las personas que han contribuido con un granito de arena para la culminación del presente trabajo y en mi formación profesional.

Al todo poderoso que me ilumina y guía siempre.

JEAN CARLOS ALAVA PINARGOTE

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de forjarme como una persona de bien brindándome una educación de calidad y en la cual he formado mis conocimientos profesionales día a día.

Agradezco a mis padres José Andrés Vera Cedeño y Magaly Roció Mejía Briones que siempre me han apoyado incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional.

VERA MEJIA ABIGAIL ANDRES

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi amada hija Karla Nohelia y a mi esposa Stefany Vélez.

JEAN CARLOS ALAVA PINARGOTE

DEDICATORIA

Dedico de manera especial a mis padres José Vera y Magaly Mejía quienes han sido mi mayor cimiento para la construcción de mi vida profesional, brindándome sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que hoy soy es debido a ellos.

A mi sobrina Amy que es una persona especial en mi vida, la cual llego cuando recién empezaba mi carrera universitaria y hoy es una persona que me impulsa a ser cada día mejor.

A mis hermanos Luis y Andrea y a mi abuela Ninfa porque han sido fundamentales en conseguir este objetivo siempre apoyándome.

VERA MEJÍA ABIGAIL ANDRÉS

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
KEY WORDS.....	xiii
TÉRMINOS Y REFERENCIAS	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1. Justificación	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Idea a defender.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Agua	5
2.2. Calidad del agua ambiental.....	6
2.3. Índice de calidad del agua	6
2.4. Factores que influyen la calidad de agua	7
2.5. Características del agua potable.....	8
2.6. Importancia del agua potable.....	8
2.7. Potabilización del agua	9
2.8. Tipos de plantas de tratamiento de agua potable.....	10
2.9. Plantas piloto	11
2.10. Planta potabilizadoras de agua	12
2.11.1. Norma Técnica Ecuatoriana De Agua Potable: Requisitos INEN 1108:2014...	14
2.12. Prueba de jarras	16
2.13. Valoración de la calidad del agua de abastecimiento	17
2.14. Abastecimiento de agua potable	17
2.15. Tratamiento de agua potable	18
2.15.1. Abastecimiento	18

2.15.2. Aireador	18
2.15.3. Coagulación – floculación	19
2.15.4. Sedimentación	19
2.15.5. Filtros	20
2.15.6. Desinfección	20
2.16. Leyes y organismos que rigen y protegen el agua	21
2.17. Constitución de la República del Ecuador	21
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	23
1.1. Ubicación	23
1.2. Duración	23
1.3. Tipo de investigación	24
3.4. Métodos y técnicas	24
1.4. Variables de estudio	24
1.4.1. Variable independiente	24
1.4.2. Variable dependiente	24
1.5. Procedimientos	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1. Caracterización del agua en la captación del proceso de potabilización	37
4.2. Diseño a escala piloto de una planta potabilizadora	39
4.2.1. Diseño de aireador	41
4.2.2. Diseño del floculador de flujo horizontal	44
4.2.3. Diseño del filtro rápido de arena	51
4.3. Estimación de costos de implementación del prototipo a escala piloto	59
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
5.1. Conclusiones	61
5.2. Recomendaciones	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	71

CONTENIDO DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS

CUADROS

2. 1. Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas.....	14
2. 2. Requisitos Microbiológicos.....	14
2. 3. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico	15
3. 1. Parámetros a considerar para análisis de aguas.....	25
3. 2. Libro VI Anexo 1 – Lím. Máx. Perm. para aguas.....	26
3. 3. Parámetros de Diseño de Aireador de Bandejas.....	27
4. 1. Parámetros de muestra de agua del Sistema de Bombeo.....	37
4. 2. Turbiedad final para cada jarra analizada en la muestra 1	39
4. 3. Turbiedad final para cada jarra analizada en la muestra 2	40
4. 4. Resumen con los resultados de los cálculos obtenidos.....	44
4. 5. Valores de n de Manning	47
4. 6. Cálculo de n de Manning para canal con lecho liso.....	48
4. 7. Resumen de resultados del diseño del floculador	50
4. 8. Composición de un filtro rápido de arena	52
4. 9. Resumen de resultados del diseño del filtro.....	52
4. 10. Características físicas, químicas y microbiológicas del agua procesada	55
4. 11. Costo de Inversión de montaje.....	59

FIGURAS

2. 1. Diagrama de flujo para un tratamiento convencional.....	21
3. 1. Ubicación del área de estudio.....	23
4. 1. Partes fundamentales del floculador vista en planta.....	45
4. 2. Dimensionamiento del floculador vista en planta.....	47
4. 3. Dimensionamiento de floculador vista en perfil	49
4. 5. Vista lateral del floculador	49
4. 5. Vista en isométrico floculador horizontal	50
4. 6. Vista en isométrico filtro rápido de arena y falso fondo	52

GRÁFICOS

4. 1. Curva de turbiedad, respecto a la dosis de coagulante aplicada de la muestra 1	40
4. 2. Curva de turbiedad, respecto a la dosis de coagulante aplicada de la muestra 2	40
4. 3. Comparación de remoción de contaminantes en el agua cruda vs agua tratada.	40

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo diseñar una planta potable a escala piloto para la carrera de ingeniería ambiental ESPAM-MFL. Con la información obtenida sobre la construcción de plantas potabilizadoras se definieron los parámetros y se procedió a analizar en primera instancia la calidad de agua a través de análisis físicos-químicos y microbiológicos los cuales determinaron en excesos los parámetros como oxígeno disuelto (OD) con un valor $<1,6$ mg/l, el amonio $0,2$ mg/l y el manganeso con $0,23$ mg/l dando estos resultados negativos, al mismo tiempo pernoto presencia de olor y sabor. Para el diseño de la planta piloto se tomará como guía y referencia la investigación realizada por Herrera y Melo (2016) donde se derivó a revisar qué tipos de procesos lograrán la corrección de los parámetros en exceso del cual se decidió que contara con las tecnologías de Aireación-Floculador-Filtro-Desinfección, para el diseño de la torre de aireación se tomó en cuenta la metodología de Cárdenas y Medina (2017) quienes emplean una relación de igualdad entre los valores del caudal de diseño, una vez montado el prototipo se procedió a utilizar la planta potabilizadora con el agua de pozo donde se pudo comprobar que fue eficiente al momento de potabilizar, repreniendo valores negativos y llevándolos dentro de los límites máximos permisibles de la norma ecuatorianas INEM 1108:2014.

PALABRAS CLAVE

Análisis, diseñar, Oxígeno disuelto, amonio, manganeso, olor y sabor.

ABSTRACT

The objective of the research was to design a pilot-scale potable plant for the ESPAM-MFL environmental engineering career. With the information obtained about the construction of water treatment plants, the parameters were defined and the water quality was analyzed in the first instance through physical-chemical and microbiological analyzes which determined in excess the parameters such as dissolved oxygen (DO) with a value <1.6 mg / l, ammonium 0.2 mg / l and manganese with 0.23 mg / l giving these negative results, at the same time the presence of smell and taste is not felt. For the design of the pilot plant, the research carried out by Herrera and Melo (2016) will be taken as a guide and reference, where it was derived to review which types of processes will achieve the correction of the parameters in excess of which it was decided that it would count on the technologies of Aeration-Flocculator-Filter-Disinfection, for the design of the aeration tower was taken into account the methodology of Cárdenas and Medina (2017) who use an equal relationship between the design flow values, once assembled the prototype proceeded to use the water treatment plant with well water where it could be proven that it was efficient at the time of purification, reprimanding negative values and bringing them within the maximum permissible limits of the Ecuadorian standard INEM 1108: 2014.

KEY WORDS

Analysis, design, dissolved oxygen, ammonium, manganese, smell and taste

TÉRMINOS Y REFERENCIAS

OMS:	Organización Mundial de la Salud
INEM:	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ODM:	Objetivo de Desarrollo del Milenio
ICA:	Índice de Calidad del Agua
pH:	Potencia de Hidrogeno
NMP:	Número Más Probable
DBO₅:	Demanda Bioquímica de Oxígeno
NO₃:	Nitratos
PO₄:	Fosfatos
°C:	Centígrados
NTU:	Unidades Nefelométrías de Turbidez
STD:	Solidos Disueltos Totales
OD:	Oxígeno Disueltos
FAO:	Organización de las Naciones para la Alimentación y la Agricultura
P.P.M:	Parte por millón
OPS:	Organización Panamericana de la Salud
SCD:	Streaming Current detector
PTAP:	Plantas de Tratamiento de Agua Potable
TULSMA:	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La creciente presión sobre los recursos hídricos del mundo ha generado una revaloración de su importancia (Martínez-Moctezuma, 2006) considerándose el recurso agua de vital importancia para la longevidad de los seres vivos y de la naturaleza. El 28 de Julio de 2010, a través de la resolución 64/292, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, comunicó que los humanos en comunidades organizadas deben poseer los servicios básicos, incluyendo el abastecimiento de agua, lo que hizo surgir la necesidad de proporcionar un adecuado suministro de agua a la población en términos de calidad, cantidad y accesibilidad (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas, 2014).

Herrera y Melo (2016) manifiestan que el manejo del agua es un proceso que representa un desafío, debido a su tratamiento., además, Carpio-Clemente, *et al.*, (2015) mencionan que millones de personas sufren todavía enfermedades relacionadas con el agua y con las cargas físicas, sociales y económicas ya que se utilizan químicos que a largo plazo pueden dañar la estructura de la planta, para ello se requiere encontrar la forma más conveniente de hacerlo, tanto desde el punto de vista técnico como del económico. Según la Comisión Nacional del Agua de México (2007) por su excelente calidad, se prefiere potabilizar aguas de acuíferos para los cuales basta con aplicar cloración y en algunos casos eliminar hierro y manganeso. En cambio, para aguas superficiales se requieren plantas potabilizadoras más complejas, que incluyen procesos como coagulación-floculación, sedimentación, filtración y por supuesto, desinfección con cloro La conciencia ambiental ha venido creciendo en la sociedad en las últimas décadas, impulsando a los gobiernos a tomar decisiones en el ámbito de la conservación de los espacios naturales, la mejora del entorno ambiental y la reducción de la contaminación (Del Villar, 2010).

Los factores demográficos y un aumento del consumo como consecuencia de una mayor renta per cápita son los principales responsables de la presión ejercida sobre los recursos hídricos. El Diario (2011) expresa que la cobertura de agua potable y saneamiento en Ecuador aumentó considerablemente en los últimos años, pese a

esto el interés y preocupación por adquirir este líquido vital de buena calidad ha elevado las metodologías de estudios para desarrollar tecnologías más eficientes y de menos costos, la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí es abastecida de agua tratada por una planta potabilizadora portable, que no cumple con la calidad de agua requerida para el consumo humano, siendo un problema para la salud de los estudiantes y profesores.

El agua utilizada por el hombre con fines domésticos, industriales y agrícolas vuelve a los cauces de los ríos y a los lagos con una carga de contaminantes físicos, químicos y biológicos, entre ellos los microorganismos, en una cantidad considerable (Espinoza y González, 2009). Por ende, es importante comprender que los conflictos dan lugar a la percepción de escasez del agua, disponible para uso humano, teniendo una salida para el problema, en términos de ciencia o tecnología, soluble o no, es irrelevante, y que lo procedente es enfrentar los conflictos relativos a sus implicaciones en el espacio de la justicia, el derecho, la equidad y la cultura (Román-Jiménez, *et al.*, 2011).

En consecuencia la necesidad por mejorar la calidad de agua para el consumo humano a nivel mundial ha incursionado en la fabricación de nuevas tecnologías que sean de bajo costo y de fácil acceso, volviendo a la necesidad de mejorar la calidad del agua, esta investigación está enfocada en el diseño de una planta potabilizadora a escala piloto que suministre agua apta para el consumo humano además que permita estudiar los procesos de tratamiento del agua desde una perspectiva diferente pudiendo así permitir al estudiante experimentar y ampliar el conocimiento sobre los procesos que conlleva una planta potabilizadora, motivo cual nos lleva a formular la siguiente pregunta:

¿La baja calidad de aguas subterráneas de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la ESPAM-MFL es un factor proliferador de enfermedades en estudiantes, personal administrativo y operativo?

1.1. JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso necesario para los seres vivos, de su potabilización depende la vida y la salud de las personas (García, 2011). Según Jaramillo (2015) la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que el 80% de todas las enfermedades en el mundo en desarrollo, son causadas por la falta de agua limpia y saneamiento adecuado, a su vez siendo esta una de las causas principales de enfermedades y muertes, sobre todo afectando más a los niños.

Uno de los principales inconvenientes que se suelen encontrar en el agua cruda es hallar dureza, sulfatos, hierro, manganeso, dificultades con materia orgánica, etc. que para llevar el agua a los valores permitidos establecidos en las normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) se tendrá que realizar una serie de tratamientos que mejoren la calidad del agua, dependiendo del contaminante en el agua se requiere el tratamiento (Sánchez, 2015). Cabe destacar que en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí existe una planta de tratamiento de agua potable que actualmente está operando, pero no se basa bajo ningún régimen de tratamiento de agua en consumo humano.

Por lo expuesto anteriormente se cita el Art. 14 de La Constitución de la República del Ecuador el cual establece que “se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay” por lo que este estudio contribuye al cumplimiento de este derecho.

El desarrollo de esta investigación permitirá entender los diferentes procesos que se llevan a cabo en la potabilización de agua, además de que la planta potabilizadora de agua existente en la institución universitaria es irregular en el control de calidad, será conveniente iniciar un conocimiento de manera más práctica a los estudiantes. Es de suma importancia realizar esta clase de prácticas en las instalaciones de la universidad debido a que se fomenta una idea clara del método de aprendizaje.

La presente investigación se basa en el Objetivo 1 del Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida que corresponde a Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas la personas lo que permite a su vez garantizar el acceso, uso y aprovechamiento justo, equitativo y sostenible del agua; la protección de sus

fuentes; la universalidad, disponibilidad y calidad para el consumo humano, saneamiento para todos y el desarrollo de sistemas integrales de riego (Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo, 2017), lo que motivó a la búsqueda de los procesos que están presentes en la potabilización de agua y a su vez busca contribuir con nuevas ideas a esta problemática, es por esta razón que es necesario el diseño de una planta de tratamiento de agua potable para consumo humano a escala piloto, para lograr el objetivo propuesto de tal manera es necesario que el agua captada reciba un tratamiento adecuado previa su distribución.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Diseñar una planta potable a escala piloto para la carrera Ingeniería Ambiental ESPAM-MFL.

1.2.2. Objetivos Específicos

- ❖ Caracterizar el agua a utilizar previa a la captación para el proceso de potabilización.
- ❖ Diseñar la planta potable a escala piloto en la carrera de Ingeniería Ambiental ESPAM - MFL.
- ❖ Estimación de costos en la implementación del prototipo escala piloto.

1.3. IDEA A DEFENDER

A través de una planta potable a escala piloto se podrá obtener agua apta para el consumo humano en la carrera de Ingeniería Ambiental ESPAM-MFL.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. AGUA

Siendo la fuente y el sustento de la vida cubre más del 70 % de la superficie del planeta, es un recurso renovable pero limitado aproximadamente se calcula que al año se evaporan alrededor de 505.000 km² la precipitación anual sobre tierra firme se estima en 120.000 km³ (Fernández, 2012). La disponibilidad de agua dulce en todo el mundo es crítica y cada día es más compleja, debido a factores como la contaminación del recurso hídrico, la manipulación económica y la fuente de poder que representa para quien la posee (Agudelo y Ruth, 2005). Asimismo, La demanda de agua dulce y energía continuará creciendo significativamente en las próximas décadas para satisfacer las necesidades de poblaciones y economías en crecimiento, aumentando la presión existente sobre los recursos naturales no renovables y los ecosistemas (Perozo-Cuicas y Abreu-Cuadra, 2017).

Desde la concepción de (Díaz, *et al.*, 2000), el agua es esencial para la vida. Entre 1990 y 2002 se realizó un progreso considerable en el porcentaje de la población mundial que utilizaba fuentes de agua potable mejoradas, pasando del 77% al 83%, lo que mantiene al mundo en condiciones de poder alcanzar la meta de los ODM. Sin embargo, 2600 millones de personas todavía no tienen acceso a sistemas de saneamiento mejorados (ONU, 2009). La carencia de agua potable y de buenas condiciones de salubridad es la causa principal de enfermedades y muerte alrededor del planeta. Afecta principalmente a los pobres en los países en desarrollo. Sin dejar de mencionar el crecimiento urbano-industrial, la sobre explotación y la contaminación de los recursos hídricos han generado conflictos y escasez de agua, afectando de manera significativa a ciudades y localidades (Durán y Torres, 2006).

2.2. CALIDAD DEL AGUA AMBIENTAL

La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, necesarios para sustentar tanto a las comunidades humanas como la vida vegetal y animal (Saenz-Roldan, 2013). Najul y Blanco (2014) ya sea en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano.

El término de calidad de agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va dar. Bajo estas condiciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial (Perozo-Cuicas y Abreu-Cuadra, 2017).

2.3. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Los índices de calidad del agua –ICA– surgen como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico fundamental en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos. El ICA como una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que sirven como expresión de la calidad del agua; el índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color (Torres, *et al.*, 2009).

El Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, el agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100 (Martínez, 2006). El ICA indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura (Bonilla, *et al.*, 2010). Este índice propone clasificar en una escala de 0 a 100 la calidad representativa del agua, de acuerdo con los constituyentes evaluados; Y esto, a su vez, hace posible calificar el agua según su estado como: Excelente, Bueno, Medio, Malo o Muy Malo (Espinosa-Paz y Rodríguez, 2016).

El ICA fue desarrollado de acuerdo con las siguientes etapas:

1. La primera etapa consistió en crear una escala de calificación de acuerdo con los diferentes usos del agua.
2. La segunda involucró el desarrollo de una escala de calificación para cada indicador, de tal forma que se estableciera una correlación entre los diferentes parámetros y su influencia en el grado de contaminación.

Los índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua, el ICA, define la capacidad del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener, estos Índices son llamados índice de usos específicos (SENET, 2005). Para la determinación del ICA intervienen 9 parámetros que son:

- ❖ Coliformes Fecales (en NMP/100 ml)
- ❖ pH (en unidades de pH)
- ❖ Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅ en mg/ L)
- ❖ Nitratos (NO₃ en mg/L)
- ❖ Fosfatos (PO₄ en mg/L)
- ❖ Cambio de la Temperatura (en °C)
- ❖ Turbidez (en FAU)
- ❖ Sólidos disueltos totales (en mg/ L)
- ❖ Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

2.4. FACTORES QUE INFLUYEN LA CALIDAD DE AGUA

La FAO (2013) se pronuncia y manifiesta que la calidad del agua para consumo humano es un factor determinante en las condiciones de la salud de las poblaciones, sus características pueden favorecer tanto la prevención como la transmisión de agentes que causan enfermedades, tales como: hepatitis A, polio y entre otras. La importancia de la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano es aportar información que permita la toma de decisiones para el mejoramiento de su calidad y, así, proporcionar beneficios significativos para la salud, reduciendo la posibilidad de transmisión de enfermedades por agua contaminada, por lo cual debemos tomar en cuenta los factores físicos, químicos y biológicos (Briñez, *et al.*, 2012).

2.5. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE

El organismo humano necesita beber diariamente 1,5 litros de agua potable. Si el agua no fuese potable se correría el riesgo de que resultaran, como en épocas pasadas, epidemias de disentería, cólera, fiebre tifoidea, salmonelosis y otras. Es decir que agua potable significa “agua capaz de ser utilizada como bebida”. La palabra potable deriva del latín: potio, bebida. El agua potable no es agua químicamente pura, sino una disolución muy débil de ciertas sales, que no contenga gérmenes patógenos (Historia y Biografías, 2016).

Un agua para ser potable debe reunir las condiciones siguientes:

1. Ser incolora, inodora, límpida y de sabor agradable.
2. Debe ser aireada, es decir, contener aire disuelto, de modo que no resulte indigesta.
3. Sólo debe contener trazas de materia orgánica disuelta, pero sin amoníaco presente, pues éste indicaría el contacto con materia orgánica en putrefacción.
4. No debe contener más de 1,5 g de sales totales disueltas por litro.
5. No debe tener una dureza mayor de 250 p.p.m. (partes por millón) expresada en carbonato de calcio.
6. Las aguas duras tienen entre otras propiedades el ser indigestas, cortar el jabón y cocer mal las legumbres.
7. No debe contener nitritos y la cantidad de nitratos debe ser muy pequeña.
8. No debe contener gérmenes productores de enfermedades.
9. Las aguas corrientes de abastecimiento público no deben contener más de 0,2 p.p.m. de cloro activo o residual. Este cloro residual proviene del cloro o de las cloraminas empleadas como bactericidas.

2.6. IMPORTANCIA DEL AGUA POTABLE

La importancia de la calidad del agua, radica en que el agua, es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a los humanos (Lenntech.es, 2006). La evaluación continua de la calidad del agua comprende las siguientes fases: fuente, tratamiento, almacenamiento y distribución a la población (Chulluncuy-Camacho, 2011). Se considera que el agua es de buena calidad, cuando está exenta de microorganismos que sean peligrosos para los

consumidores y, de sustancias que transmitan sensaciones sensoriales desagradables para el consumo, estas son: color, olor, sabor o turbiedad (Najul y Blanco, 2014).

De acuerdo con las estimaciones de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), aproximadamente 85% de la población de la región cuenta con los servicios de agua potable, ya sea a través de conexiones domiciliarias o a través de fácil acceso a una fuente pública. A esto se suma el hecho de que casi 54 millones de personas (11%) se abastecen a través de sistemas definidos como “fácil acceso”, los cuales representan, en la mayoría de los casos, un riesgo significativo para la salud (Jouravlev, 2004).

La población que no tiene acceso a los servicios de agua potable se ve obligada a adoptar soluciones alternativas (tales como fuentes públicas, pozos individuales, conexiones ilegales a la red de agua potable, colección de agua de lluvia o captación de agua de ríos, lagos, manantiales u otros cuerpos de agua sin tratamiento previo). Muchas soluciones de esa índole no garantizan la calidad del agua obtenida, debido principalmente a la creciente contaminación hídrica que afecta muchos cuerpos de agua en los países de la región (Jouravlev, 2004).

2.7. POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Hasta hace unas decenas de años la calidad de un agua destinada a un abastecimiento se centraba principalmente en que el agua estuviera exenta de sabores, olores, no fuera muy dura y no contuviera bacterias patógenas, confiándose en gran medida en que el poder auto depurador de los embalses o ríos, y la protección de las zonas de captación eran suficientes para lograr una aceptable calidad que se completaría con un tratamiento simple de decantación, filtración y desinfección, así como hacer determinadas comprobaciones generalmente bacteriológicas del agua en la red, ausencias de sabores y olores y presencia de ligeras concentraciones del desinfectante empleado (Casero-Rodríguez, 2007).

Hoy día y más aún de cara al futuro, y como consecuencia de la polución creciente y los mayores avances de la técnica y la ciencia hay que considerar además otros

caracteres que inciden de forma perjudicial en la salud del consumidor (pesticidas, detergentes, subproductos de la desinfección y otras sustancias orgánicas e inorgánicas, así como protozoos, virus, bacterias, etc.). En general las normativas entienden como agua potable aquella que cumple una serie de caracteres organolépticos, físico-químicos, relativos a sustancias no deseables, relativas a sustancias tóxicas, microbiológicas y de radiactividad. Estableciéndose unos valores máximos admisibles para una serie de parámetros. Estos valores máximos corresponden a la mínima calidad admisible en el agua potable. Un agua potable destinada al consumo humano, debe cumplir ante todo con una calidad sanitaria apta, tanto inmediatamente después de su proceso de tratamiento, como presentar una estabilidad biológica en la red de distribución (Casero-Rodríguez, 2007).

La obtención de agua potable, en su forma tradicional, implica el uso completo o parcial de cuatro sub-procesos denominados coagulación, floculación, sedimentación y filtración. La calidad y los costos del agua obtenida al final del proceso dependen en gran parte de la dosificación del coagulante. Un exceso en la dosificación eleva los costos de producción, mientras que una dosificación por debajo de la requerida puede llevar a la obtención de agua que no cumpla con los parámetros de calidad exigidos por la legislación respectiva y a una operación menos eficiente de la planta. Los métodos de dosificación más utilizados, como son la prueba de jarras y el streaming current detector (SCD), presentan limitaciones en su aplicación. Para el caso de la prueba de jarras se encuentran como limitaciones principales la alta dependencia de la experiencia del operador para su correcto funcionamiento y baja capacidad de respuesta ante cambios bruscos en las características del agua que ingresa a la planta. Por su parte, la dificultad en la parametrización del instrumento, la dificultad en la obtención del punto óptimo de funcionamiento y la necesidad de un mantenimiento frecuente y especializado del equipo se pueden mencionar como las desventajas principales que se desprenden del uso de un streaming current detector para la dosificación de coagulante en el proceso de potabilización de agua (Villarreal-Campos y Caicedo-Bravo, 2013).

2.8. TIPOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Según ACUATECNICA (2016) son estructuras que tienen como fin hacer un tratamiento adecuado al agua para que sea apta para el consumo humano. Existen

unos principios básicos con los que debe cumplir toda tecnología que se use para Tipos de plantas de tratamiento de agua potable y son los siguientes:

1. Se hace una combinación de barreras múltiples para alcanzar bajas condiciones de riesgo.
2. Tratamiento integrado
3. Tratamiento por objetivo, es decir que cada etapa del tratamiento tiene una meta específica relacionada con algún tipo de contaminante.

Por otra parte, existen diferentes tipos de plantas para el tratamiento de agua potable:

- ❖ **Plantas de ciclo completo:** cuentan con los procesos de coagulación, sedimentación, filtración, cloración, sin precisar sobre el tipo de instalación existente para cada proceso. Es el tipo de planta más comúnmente usada en Colombia.
- ❖ **Plantas de filtración en múltiples etapas:** se denomina así a las plantas en donde existe filtración lenta en múltiples etapas.
- ❖ **Plantas de filtración directa:** en donde el agua es llevada directamente a los filtros y enseguida se clora.
- ❖ **Planta de filtración en línea:** se realiza coagulación, filtración y cloración.
- ❖ **Planta compacta:** se denomina así a la planta en la cual se llevan a cabo todos los procesos en un mismo módulo prefabricado.

2.9. PLANTAS PILOTO

Una planta piloto es una planta de proceso a escala reducida de desarrollo empírico de un sistema integrado de tratamiento de agua, diseñada para el fin de obtener agua apta para consumo humano a un bajo costo de operación y mantenimiento. Estas plantas cuentan con una versatilidad de adaptaciones según las características del agua a tratar. Cabe mencionar que se persigue diseñar, construir y operar una planta piloto obteniendo información sobre un determinado proceso físico o químico, que permita determinar si el proceso es técnica y económicamente viable, así como establecer los parámetros de operación óptimos de dicho proceso para el posterior diseño y construcción de la planta a escala industrial (Pavón-Silva, Chávez, y Garrido, 2018).

2.10. PLANTA POTABILIZADORAS DE AGUA

En las plantas convencionales de potabilización de agua –PTAP– que incluyen coagulación, floculación, sedimentación y filtración, los lodos se producen en todos los procesos, excepto en la coagulación. Los coagulantes químicos más utilizados en sistemas de potabilización de agua son las sales de aluminio (i. e. sulfato y policloruro de aluminio) y las de hierro (i. e. cloruro y sulfato férrico) estas sales tienen potencial de reutilización y ofrecen excelentes posibilidades de comercialización (Gutiérrez-Rosero, *et al.*, 2014).

Herrera y Melo (2016), manifiestan que las plantas de tratamiento de agua para el consumo son construidas con el objetivo de dar el servicio a un colectivo sin embargo requieren después de su construcción un mantenimiento preventivo y correctivo. El mantenimiento preventivo comprende el conjunto de actividades ordenadas en el tiempo y con identificación de los recursos necesarios para desarrollarlas, que tienen el propósito de prevenir daños, accidentes o disminución de la eficiencia de los equipos e instalaciones de la planta de tratamiento mientras que el mantenimiento correctivo, consiste en la reparación inmediata y oportuna de cualquier daño que se produzca en las instalaciones y equipos.

La eficacia de una planta de potabilización está asociada con el cumplimiento de los estándares de calidad de agua establecidos, independiente de las variaciones en la calidad de la fuente, para lo cual se deben optimizar los procesos de tratamiento y ajustar los procedimientos operativos (Montoya, *et al.*, 2011).

Los tratamientos de agua para adaptarla a distintos usos con fines específicos juegan un papel muy importante en la actualidad. Son necesarias tecnologías cada vez más confiables, selectivas, eficientes y económicas para que el acceso a la misma sea mayor. Mientras que la cantidad total de agua permanece constante, su demanda es creciente día a día. Este aumento en la demanda, no solo es en cantidad sino también en calidad y la contaminación que las personas producimos en el agua de superficie o subterránea, aumenta en forma alarmante el problema de disponibilidad. La finalidad de las operaciones de tratamiento y potabilización es obtener aguas con las características adecuadas al uso que se les dé, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las

propiedades de las aguas de partida como de su destino final (Perozo-Cuicas y Abreu-Cuadra, 2017).

2.11. NORMATIVAS VIGENTES PARA EL USO Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO

2.11.1. Norma Técnica Ecuatoriana De Agua Potable: Requisitos INEN 1108:2014

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros (cuadro 2.1, 2.2, 2.3).

Cuadro 2. 1. Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas

PARÁMETRO	UNIDADES	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	2,4
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃ ⁻	mg/l	50
Nitritos, NO ₂ ⁻	mg/l	3,0
Plomo, Pb	mg/l	0,01

Cuadro 2. 2. Requisitos Microbiológicos

	Máximo
Coliformes fecales (1): Tubos múltiples NMP/100 ml ó Filtración por membrana ufc/ 100 ml	< 1,1 * < 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/ litro	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/ litro	Ausencia

* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm³ ó 10 tubos de 10 cm³ ninguno es positivo
** < 1 significa que no se observan colonias

2.11.2. Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización.

Cuadro 2. 3. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/l	1,0
Amonio	NH ₄	mg/l	0,05
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio Cianuro (total)	Cd CN-	mg/l mg/l	0,01 0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3 000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	color real	unidades	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2,0
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante			Ausencia
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
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 6mg/l
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Sólidos disueltos totales		mg/l	1 000
Sulfatos	SO ₄ -	mg/l	400
Temperatura		°C	Condición Natural + o - 3 grados
Turbiedad		UTN	100

Fuente: (LIBRO VI ANEXO I NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA).

2.12. PRUEBA DE JARRAS

Según Lorenzo-Acosta (2006) menciona que la prueba de jarra es la técnica más extensamente usada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros. En ella se trata de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio. Existe en el mercado una gran variedad de equipos para pruebas de jarras, pero en toda su versatilidad debe radicar en utilizar una serie de jarras al mismo tiempo y la posibilidad de variación de la velocidad de agitación (r.p.m)

En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos. Entre éstos tenemos:

1. pH
2. Temperatura
3. Concentración de coagulante
4. Secuencia de aplicación de las sustancias químicas
5. Grado de agitación
6. Tiempo de sedimentación

El PH desempeña un papel muy importante en el estudio de los fenómenos de coagulación-floculación, es así como una parte de la carga de las partículas coloidales que han absorbido iones OH^- , queda destruida por un aumento de la concentración de iones H_3O^+ que ocasiona una disminución de la estabilidad de la suspensión coloidal. Preferiblemente el pH debe quedar dentro de la zona correspondiente al mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante usado. Para sales de hierro la zona de pH es mucho más amplia, alcanzándose el mínimo de solubilidad a $\text{pH} > 5$.

El pH del medio en la coagulación tradicional con hidróxido de aluminio ha demostrado que sólo coagula cuando es inferior a 7.4 o superior a 8.5; sin embargo, la eliminación de las materias orgánicas se efectúa mejor en medio ácido (pH inferior a 7.4) o como sucede con el hidróxido férrico que coagula a un pH superior a 6, pero el alto contenido de materia orgánica del agua cruda proporcionará la formación de sales orgánicas de hierro y el agua quedará coloreada. El coagulador férrico está indicado en la coagulación de aguas cuyo pH está comprendido entre 7.0 y 8.0, zona en la que el sulfato de alúmina coagula muy mal. El coagulador

cúprico se utiliza en aguas alcalinas, en las que asegura su decoloración. Este tipo de coagulante posee un poder desodorante muy acentuado y evita el desarrollo de algas en decantadores y filtros.

La temperatura del agua también influye grandemente en la efectividad de la coagulación y en la velocidad de formación del flóculo. Según disminuye la temperatura del agua debe aumentarse la dosis de productos químicos usados para coagular, con el objetivo de lograr o asegurar la formación de flóculos adecuados. El tiempo de mezclado del coagulante en el agua a tratar será el necesario para que el producto utilizado se difunda con la mayor rapidez posible. El tiempo de coagulación es extraordinariamente breve, menos de un segundo y la utilización óptima del coagulante exige que la neutralización sea total antes de que una parte del coagulante haya comenzado a precipitar.

2.13. VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE ABASTECIMIENTO

La valoración de la calidad y de las condiciones de suministro del agua de abastecimiento en los hogares ha sido un tema profundamente tratado la cual incide en valorar la disposición a pagar de los hogares por una determinada mejora, tanto en los países en vías de desarrollo (Frutos, 2010).

2.14. ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Morató, *et al.*, (2006) exponen la disponibilidad del agua es un problema actual y complejo en el que interviene una serie de factores que van más allá del incremento poblacional que demanda cada vez más este recurso para uso del consumo humano, así como para llevar a cabo actividades económicas. El crecimiento urbano-industrial, la sobre explotación y la contaminación de los recursos hídricos han generado conflictos y escasez de agua, afectando de manera significativa a ciudades y localidades (Durán y Torres, 2006).

Un sistema de abastecimiento de agua potable consiste en un conjunto de obras necesarias para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua desde fuentes naturales ya sean subterráneas o superficiales hasta las viviendas de los habitantes que serán favorecidos con dicho sistema. Un correcto diseño del

Sistema de abastecimiento de Agua Potable conlleva al mejoramiento de la calidad de vida, salud y desarrollo de la población. Por esta razón un sistema de abastecimiento de agua potable debe cumplir con normas y regulaciones vigentes para garantizar su correcto funcionamiento (Cárdenas-Jaramillo y Patiño-Guaraca, 2010).

2.15. TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Las características fisicoquímicas, microbiológicas y parasitológicas que determinan la complejidad y costos de tratamiento que los haga aptos para usos como el consumo humano. Uno de los principios que orientan el suministro de agua segura es el concepto de barreras múltiples, que involucra la protección de la fuente, la optimización de los procesos en las plantas de tratamiento de agua, y un adecuado manejo de los sistemas de distribución (Torres, *et al.*, 2010). La selección del proceso de tratamiento del agua es una tarea complicada. Las circunstancias son diferentes para cada instalación del agua y quizás distintas para cada fuente o procedencia usada para la instalación (ver Figura 2.1). La selección de uno o más procesos a utilizar en determinada situación está influida por la necesidad de cumplir los objetivos de calidad reglamentada, el deseo de la instalación y de sus clientes de cumplir los objetivos de calidad del agua como los de aspecto o estética y la necesidad de proporcionar el servicio del agua a bajo costo (Uvidia-Fassler, 2013).

2.15.1. Abastecimiento

Es una estructura civil donde llega el agua desde un cuerpo subterráneo en forma continua, segura y sin disminución de las condiciones hidrológicas, geológicas y ecológicas para su posterior transporte a las siguientes etapas (Orellana-Quinchuela, 2016).

2.15.2. Aireador

La aireación es el tratamiento mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire con el fin de modificar las concentraciones de las sustancias volátiles contenidas en ella. De esta forma, las funciones más importantes de la aireación son:

Transferir oxígeno al agua para aumentar la concentración de oxígeno disuelto.

- ❖ Disminuir la concentración de CO₂.
- ❖ Remover gases como metano, cloro y amoníaco.
- ❖ Oxidar hierro y manganeso.
- ❖ Remover compuestos orgánicos volátiles.
- ❖ Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

La aireación cumple su principal objetivo por medio del arrastre o barrido de las sustancias volátiles provocando un proceso de oxidación de los metales y gases, debido a mezcla turbulenta que ocurrió entre el agua con el aire. El agua aireada es dulce y por ende más agradable al paladar, los aireadores comúnmente más utilizados son los de toberas, cascadas, canales inclinados y aireadores de bandejas (Orellana-Quinchuela, 2016).

2.15.3. Coagulación – floculación

Los procesos de coagulación floculación son ampliamente utilizados en la purificación del agua, el proceso consiste en la adición de un coagulante al agua el mismo que ayuda agrupar las partículas que se encuentra disueltas; formando masas de mayor tamaño que por su tamaño precipitan, dichas masas se conocen con el nombre de flóculos. Una vez que se añade el coagulante floculante es necesario realizar una agitación la misma que será de gran ayuda en la formación de los flóculos (Orellana-Quinchuela, 2016).

El proceso de coagulación floculación es de gran ayuda para:

- ❖ Remoción de la turbiedad orgánica e inorgánica.
- ❖ Remoción del color verdadero y aparente.
- ❖ Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser eliminados por coagulación.
- ❖ Destrucción de algas y plancton en general.
- ❖ Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor.

2.15.4. Sedimentación

El proceso de sedimentación ayuda a la separación de los flóculos formados en la etapa anterior mediante la sedimentación de los mismos en el fondo del tanque.

Los sólidos sedimentados son extraídos por medio de un sistema de drenaje y el agua clarificada es separada hacia otra unidad (Orellana-Quinchuela, 2016).

Las unidades de sedimentación constan de los siguientes componentes:

- ❖ **Zona de entrada.** - Es la estructura hidráulica de transición que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.
- ❖ **Zona de sedimentación.** -Consta de una canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuado para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal en sedimentadores rectangulares y vertical en sedimentadores circulares.
- ❖ **Zona de salida.** -Constituida por un vertedero o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el agua tratada sin perturbar la sedimentación de las partículas sedimentadas.
- ❖ **Zona de recolección de lodos.** - Formada por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, una tubería y una válvula para su evacuación periódica.

2.15.5. Filtros

La filtración consiste en hacer pasar el agua a través de medios filtrantes granulares que pueden ser arena, grava, zeolita o carbón activado con la finalidad de eliminar cualquier tipo de impureza que no pudo ser eliminadas en las etapas anteriores.

Las impurezas que pueden ser eliminadas son: partículas de arcillas, fangos, precipitados de aluminio o hierro utilizados en la coagulación, sustancias coloidales y microorganismos como bacterias, virus y quistes protozoicos (Orellana-Quinchuela, 2016).

2.15.6. Desinfección

La desinfección del agua se refiere a la destrucción de microorganismos patógenos causantes de enfermedades; dentro de los cuales tenemos bacterias, protozoarios, virus y trematodos (Orellana-Quinchuela, 2016).

Las condiciones que debe tener un desinfectante ideal para poder ser usado en plantas de purificación son:

- ❖ Debe ser capaz de destruir los organismos causantes de enfermedades.

- ❖ No debe hacer tóxica al agua o peligrosa para la salud; así como no debe alterar el sabor del agua.
- ❖ Debe ser de fácil obtención, sencillo manejo y bajo costo.
- ❖ Su concentración en el agua debe poderse determinar inmediatamente.
- ❖ Debe dejar su efecto residual para proteger el agua contra posteriores contaminaciones.

Fuente: Los Autores



Figura 2. 1. Diagrama de flujo para un tratamiento convencional

2.16. LEYES Y ORGANISMOS QUE RIGEN Y PROTEGEN EL AGUA

TULSMA (2005) plantea que todas las aguas marítimas, superficiales, subterráneas y atmosféricas del territorio nacional, en todos sus estados físicos, están constituidas para el dominio hídrico público conforme lo definido en la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.

2.17. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

La Constitución de la República del Ecuador (2008) indica en los siguientes artículos sobre los deberes y derechos del agua.

Art. 3.- Son deberes primordiales del Estado: Garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución y en los instrumentos internacionales, en particular la educación, la salud, la alimentación, la seguridad social y el agua para sus habitantes.

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias. El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

1.1. UBICACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” específicamente en la carrera de Ingeniería Ambiental.

La ESPAM-MFL está ubicada en el sitio Limón, del cantón Bolívar, provincia de Manabí. Situada geográficamente entre las coordenadas 0°49`27,9" latitud sur; 80°10'47,2" longitud Oeste (Figura 3.1).

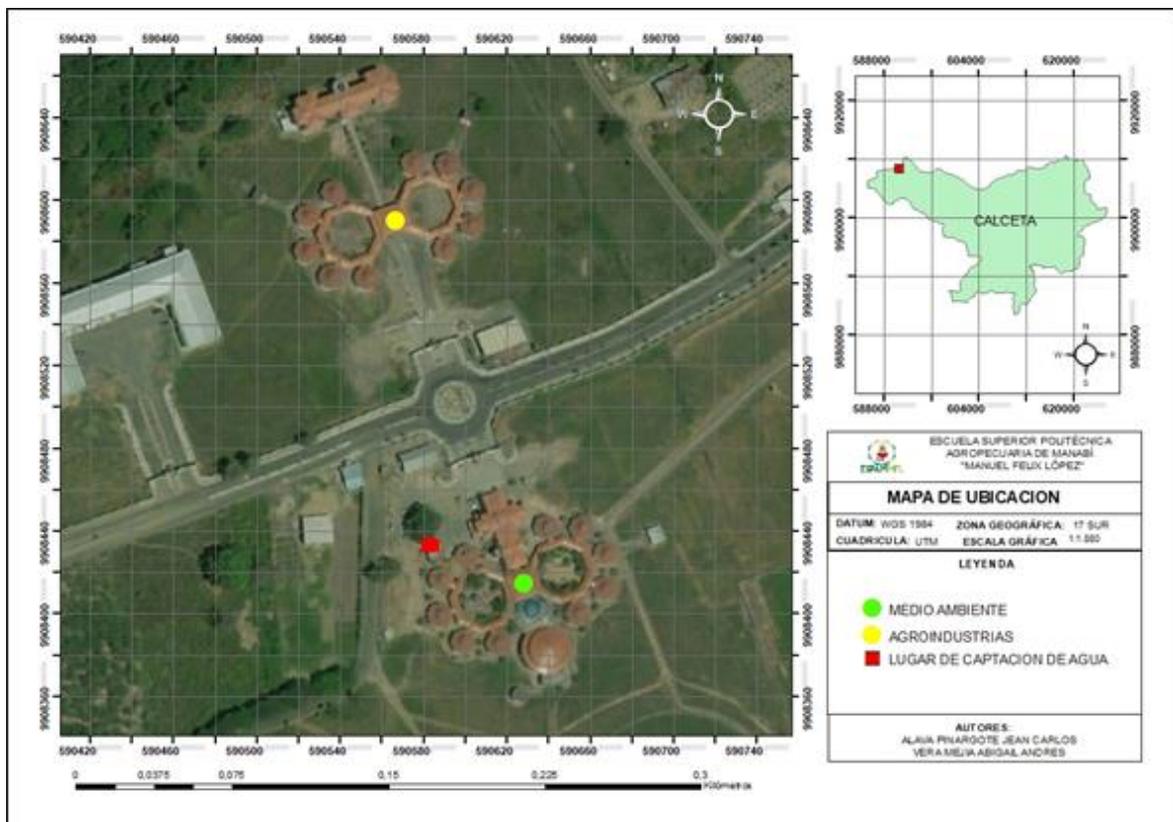


Figura 3. 1. Ubicación del área de estudio

1.2. DURACIÓN

La investigación tuvo una duración de 12 meses a partir del mes de octubre del 2017 hasta el mes de octubre del 2018.

1.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación fue de tipo cualitativa no experimental.

3.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.4.1. MÉTODOS

3.4.1.1. Método analítico

Es el estudio de los hechos, que partió de la descomposición del objeto de estudio en cada una de sus partes para estudiarlas en forma individual (análisis).

3.4.1.2. Método sintético

Se denominó como la integración de las partes para estudiarlas de manera holística e integral (síntesis).

3.4.2. TÉCNICAS

3.4.2.1. Observación Directa

La observación se realizó de manera vital para la caracterización de las muestras y obtener información relevante acompañado de foto documentación y una toma de apuntes sobre cada detalle que se genere.

3.4.2.2. Técnicas estadísticas

Para el procesar los datos y expresar los resultados se utilizará la estadística descriptiva con la distribución de frecuencias como tablas, histogramas o gráficos.

1.4. VARIABLES DE ESTUDIO

1.4.1. Variable Independiente

Diseño de una planta potable

1.4.2. Variable Dependiente

Escala piloto

1.5. PROCEDIMIENTOS

FASE 1.- • CARACTERIZACIÓN DEL AGUA A UTILIZAR PREVIA A LA CAPTACIÓN PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN.

Actividad 1.1. Toma de muestra

Como punto de captación se fijó el pozo de abastecimiento de agua de la carrera de ingeniería ambiental, para lo que se recolectaron las muestras, aplicando las normativas NTE INEN 2169:2013 utilizadas en Agua, Calidad del agua, muestreo y manejo de conservación de muestras en la cual se establecieron criterios en el proceso de recolección de muestras de agua para análisis, se obtuvo una muestra representativa, para ello se utilizaron recipientes esterilizados y protegidos convenientemente, luego que se recolectaron las muestras se procedió mediante análisis químicos, físicos y biológicos, tomando como referencia los siguientes parámetros del TULSMA (cuadro 3.1).

Cuadro 3. 1. Parámetros a considerar para análisis de aguas

Parámetros	
Temperatura	Manganeso
Turbidez	Dureza total
Color	Cloruro
Sólidos disueltos	Hierro
Sólidos totales	
pH	Sulfatos
Amonio	Oxígeno disuelto
Nitritos	Olor sabor
Nitratos	Materia flotante
Coliformes fecales	Coliformes totales

Fuente: (MAE, 2012)

Actividad 1.2. Análisis de Parámetros según la categoría de agua potable del (TULSMA)

Después de obtener la respectiva caracterización del agua, del pozo que abastece de agua a la carrera de ingeniería ambiental se procedió a comparar los resultados de los análisis con los parámetros establecidos dentro del (TULSMA) Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente para saber qué tipo de proceso requerirá la planta potabilizadora de agua a escala piloto, luego este resultado y las comparaciones realizadas se mostrarán en un cuadro par su respectivo argumento de análisis (cuadro 3.2).

Cuadro 3. 2. Libro VI Anexo 1 - Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Amonio	NH ₄	mg/l	0,05
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3 000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	color real	unidades de color	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2,0
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Sólidos disueltos totales		mg/l	1 000
Sulfatos	SO ₄	mg/l	400
Temperatura		°C	Condición Natural + o - 3 grados
Turbiedad		UTN	100

Fuente: (MAE, 2012)

FASE 2.- • DISEÑO DE LA PLANTA POTABLE A ESCALA PILOTO EN LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL ESPAM-MFL

Actividad 2.1. Determinación de las dosis de químicos y otros parámetros del agua a través de la prueba de jarras

Se utilizó para determinar las dosis de un coagulante sobre un agua, con cualquier tipo de turbidez, sometiéndola a 4 dosis diferentes, en búsqueda de la más propicia en remoción de turbidez.

Actividad 2.2. Definición las medidas y procesos de la planta potabilizadora

Con la obtención de información sobre la construcción de plantas potabilizadoras se definieron los parámetros y medidas que dispuso la planta a elaborar. El diseño

de la planta piloto se tomará como guía y referencia la investigación realizada por Herrera y Melo (2016) una vez definido las respectivas mediciones que requerirá la planta potabilizadora se deriva a revisar qué tipos de procesos logrará el prototipo.

❖ AIREADOR

Se estableció que la operación de aireación se realizaría por medio de un aireador de bandeja múltiple.

Cuadro 3. 3. Parámetros de Diseño de Aireador de Bandejas

AIREADOR DE BANDEJA					
Autores, entidades	carga superficial	Área de bandeja	Numero de bandeja	Espaciamientos de bandeja	Referencia
	[m ³ /(m ² .dia)]	[m ²]	Un	[m]	
RAS 2000	<100	0,5 a 2 por cada 1000m ³ de capacidad	3 a 5	0,3 a 075	Ministerio de desarrollo económico reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 Bogotá p c. 32
Jairo Romero	<100	0,05 a 0,15 por L/s de agua tratada	3 a 9	0,3 a 075	Romero Rojas, Jairo Alberto, purificación del agua Bogotá 2000 p 35

Para el diseño de la torre de aireación se tomó en cuenta la metodología de Cárdenas y Medina (2017) (cuadro 3.3), quienes emplean una relación de igualdad entre los valores del caudal de diseño. La relación está dada en la siguiente expresión:

Caudal

Q_D = caudal

CH= carga hidráulica

Área total del Aireador

$$A_T = \frac{Q_D}{CH} \quad [3.1]$$

Donde:

A_T = Área total del aireador

Q_D = Caudal de diseño

C = Carga hidráulica

Longitud de cada bandeja

$$L_B = \sqrt{A_T * n} \quad [3.2]$$

Donde:

L_B = Longitud de la bandeja

A_B = Área de bandeja

Así también el espesor de las bandejas será de: 0,12 m; la separación entre bandejas de: 0,25 m; y con la finalidad de que el proceso sea más eficiente, sobre las bandejas se colocará carbón activado de 0,05 m de espesor, valores tomados de Cárdenas y Medina (2017).

Tiempo de exposición

$$t_{eA} = \left(\sqrt{\frac{2 * H_{EB}}{g}} \right) * NB \quad [3.3]$$

Donde:

t_{eA} = Tiempo de exposición

H_T = Altura total de la torre

N_B = Número de bandejas

g = Gravedad

Número de orificios

Para determinar el número de orificios que tendrá cada bandeja se toma en consideración que son bandejas cuadradas de 0,30 m de cada lado. Además, el diámetro de los orificios es de 0,5 cm y la separación entre orificios es de 3 cm valores tomados de Cárdenas y Medina (2017). Obteniéndose por tanto 8 orificios

por cada lado, dando 64 agujeros en total por bandeja, con un borde libre de 2,5 cm por cada lado.

Área de cada orificio

$$A_O = \frac{Nb * \pi * D^2}{4} \quad [3.4]$$

Donde:

A_o = Área del orificio

D² = Diámetro del orificio

π = Valor de Pi

Volumen sobre la bandeja

$$V_B = \frac{Q_D}{A_O} \quad [3.5]$$

Donde:

A_o = Área del orificio

Q_D = Caudal de diseño

V_B = Volumen sobre la bandeja

Caudal sobre cada bandeja

$$Q_B = L * A_O * \sqrt{2 * g * H_{H_2O}} \quad [3.6]$$

Donde:

Q_B = Caudal sobre cada bandeja

L = Lado de la bandeja

A_o = Área de cada orificio

H_{H₂O} = Altura de agua sobre las bandejas

❖ FLOCULADOR

Para el diseño de floculación o sedimentador de alta tasa de placas planas es necesario considerar las siguientes ecuaciones:

Distancia total recorrida

$$L = v * t \quad [3.7]$$

Donde:

v = Velocidad inicial.

t = Tiempo de retención.

Volumen de agua a mezcla

$$V = Q * t \quad [3.8]$$

Donde:

V = Volumen de agua a mezclar

Q = Caudal a tratar.

Área transversal requerida

$$a = \frac{v}{L} \quad [3.9]$$

Donde:

a = área transversal.

Profundidad de la lámina de agua

$$d = \frac{a}{sb} \quad [3.10]$$

Donde:

d = Profundidad del agua

sb = Separación entre baffles

Profundidad del tanque

$$alturtotal = d + bl \quad [3.11]$$

Donde:**bl** = borde libre**Espacio libre entre tanques**

$$St = 1.5 * Sb \quad [3.12]$$

Donde:**St** = Separación entre tabiques**Longitud efectiva**

$$Longitud\ efectiva = ancho\ útil - St \quad [3.13]$$

Donde:

El ancho útil es supuesto y depende netamente del dimensionamiento en planta que se desee dar a la planta.

Números de canales requeridos

$$N = \frac{L}{Sancho\ útil} \quad [3.14]$$

Donde:**N** = Número de canales.

Longitud total del floculador

$$L_t = N * S_b + (N - 1) * S \quad [3.15]$$

Donde:

L_t = Longitud total.

s = espesor de las láminas

Perdidas por fricción

Según Manning

$$h_f = \frac{(n*V)^2 * L}{R^{4/3}} \quad [3.16]$$

Donde:

h_f = Perdidas por fricción.

n = Numero de Manning.

R = Radio Hidráulico

Perdidas adicionales en el tanque

$$h = \frac{3+(N-1)*v^2}{2*g} \quad [3.17]$$

Donde:

h = Perdidas adicionales en el tanque.

h = Gravedad

Pérdidas totales

$$H = h_f + h \quad [3.18]$$

Donde:

H = Pérdidas totales en el floculador

Gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{g \cdot H}{\vartheta \cdot t}} \quad [3.19]$$

Donde:

G = Gradiente de velocidad.

ϑ = Viscosidad absoluta.

G = Gravedad

t = Tiempo de retención

El gradiente es un parámetro fundamental del diseño, para floculadores hidráulicos se recomiendan gradientes entre 10 y 100 s⁻¹.

Número de Camp

$$Gt = G * t \quad [3.20]$$

El gradiente debe estar entre 10.000 y 100.000 y es un valor adimensional

❖ FILTRACIÓN

Las principales características de un filtro lento son:

Tasa de filtración: 120m/d

Medio filtrante: arena, zeolita y grava

Duración carrera: 12 horas

Perdida de carga: 30 cm

Drenaje: Falso fondo

$$n = 0.044 * (Q)^{\frac{1}{2}} \quad [3.21]$$

Donde:

n = Número de filtros

Q = Caudal diario

Caudal unitario

$$qu = \frac{Q}{n} \quad [3.22]$$

Donde:

qu = Caudal unitario

Q = Caudal diario

Área Superficial

$$As = \frac{qu}{Cs} \quad [3.23]$$

Donde:

As= Área Superficial

Cs = Tasa de filtración

❖ DESINFECCIÓN**Dimensionamiento Tanque de Cloración**

$$V_{tanque} = Q * T \quad [3.24]$$

Donde:**Q:** caudal**Tr:** Tiempo de retención**Altura del tanque**

$$H_{tanque} = \frac{V_{tanque}}{A} \quad [3.25]$$

Donde:**A:** área

Calculo del peso del Hipoclorito de Sodio

$$P = Q * d \quad [3.26]$$

Donde:

P: peso del cloro en (g/h)

Q: Caudal del agua a clorar en (m³ /h)

d: Dosificación adoptada en g/m³

Calculo del peso del Producto Comercial

$$Pc = \frac{P*1000}{r} \quad [3.27]$$

Donde:

P: Peso del producto comercial en g/h

r: % de cloro que contiene el producto comercial

Calculo de la demanda horaria de la solución

$$qs = \frac{Pc*1000}{c} \quad [3.28]$$

Donde:

qs: demanda horaria de la solución en (L/h)

Actividad. - 2.3. Construcción de la planta piloto de purificación de agua

La construcción se montará con las medidas y ecuaciones que se realizarán en las actividades anteriores utilizando planchas de vidrio y materiales metálicos

Actividad. - 2.4. Realización de análisis del agua después de pasar por los procesos de la planta

Una vez obtenido el proceso del agua en la planta a escala piloto se someterán a análisis para conocer sus bondades y realizar la comparación donde se aplicarán las normativas NTE INEN 2169:2013 en la cual se establecen criterios en el proceso

de recolección de muestras de agua para análisis, se debe obtener una muestra representativa, y así en el laboratorio mediante análisis químicos, físicos y biológicos, obtener los resultados tomando referencia de los parámetros de las normas del Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN), y así determinar si es apta para el consumo humano.

FASE 3.- • ESTIMACIÓN DE COSTOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO ESCALA PILOTO

Actividad 3.1. Valoración Económica del prototipo

Se elaboró un cuadro de costos de materia prima, mano de obra y materiales empleados en la construcción del prototipo de la planta potable, necesaria para dar a conocer el bajo costo con el que se desarrolló la planta, lo que da a conocer las facilidades para la ejecución del prototipo a escala mayor en lugares donde no existe sistema de abastecimiento de agua potable incluso en la carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LA CAPTACIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN

Mediante los criterios establecidos se efectuó la toma de muestra según los procedimientos de la norma NTE INEN 2169:2013 obteniendo la muestra de agua del sistema de Bombeo que abastece a la Carrera de Ingeniería Ambiental obteniendo los siguientes parámetros:

Cuadro 4. 1. Parámetros de muestra de agua del Sistema de Bombeo de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la ESPAM-MFL (anexo 8).

					LMP - DE - TULSMA		
ÍTE M	PARÁMETROS	MÉTODO	UNIDADES	RESUL TADOS	Expresa do Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
1	TEMPERATURA	POTENCIÓMETRO	°C	25,5		°C	Condición Natural + o - 3 grados
2	TURBIDEZ	ESPECTROFOTOMÉTRICO	UTN	<1		NTU	100
3	COLOR	ESPECTROFOTOMÉTRICO	Pt/Co	<25	color real	mg/l	100
4	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	CONDUCTIVIMETRO	mg/l	500		mg/l	1000
5	pH	POTENCIÓMETRO	-	6,65	PH	mg/l	6-9
6	AMONIO	VOLUMÉTRICO	mg/l	0,2	NH ₄	mg/l	0,05
7	NITRITOS	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	0,108	N-Nitrito	mg/l	1,0
8	NITRATOS	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	0,14	N-Nitrato	mg/l	10,0
9	MANGANESO	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	0,23	Mn	mg/l	0,1
10	DUREZA TOTAL	VOLUMÉTRICO	mg/l CaCO ₃	220	CaCO ₃	mg/l	500
11	CLORURO	VOLUMÉTRICO	mg/l	21	Cu	mg/l	250
12	HIERRO	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	0,01	Fe	mg/l	1,0
13	SULFATOS	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	233	SO ₄ ⁻	mg/l	400
14	OXIGENO DISUELTO	OXIMETRÍA	mg/l	1,6	O.D	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
15	OLOR SABOR	OBSERVACIÓN	-----	PRESENC IA DE OLOR Y SABOR		mg/l	Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
16	MATERIA FLOTANTE			AUSENCI A			AUSENCIA
17	COLIFORMES TOTALES	Método estándar de fermentación en tubos múltiple "9221 B"	NMP/100ml	300	NMP/100ml	mg/l	3000
18	COLIFORMES FECALES	Método estándar de fermentación en tubos múltiple "9221 C"	NMP/100ml	40	NMP/100ml	mg/l	600

ALTO	4
MEDIO	3
BAJO	11

De acuerdo a los parámetros obtenidos en el estudio (cuadro 4.1), revisados bajo el régimen del TULSMA se muestra que el parámetro de Manganeso se encuentra

sobre el valor del límite permisible de 0,23 mg/l cuando el permitido es de 0,1, según McFarland y Dozier (2006) un elevado contenido de manganeso puede darle mal olor al agua, además puede contener bacterias de manganeso que se alimentan de esta agua, no causan problemas de salud, pero sí forman baba café-negra en los tanques de los inodoros i/o tapar los sistemas de agua. Otros de los parámetros que se encontró fuera del rango fue el Olor-Sabor se encontró un olor notorio en la recolección de muestras por lo que se consideró fuera de lo normal, la presencia de estos dos parámetros se debe a la falta de oxígeno tal como hace referencia en el cuadro 4.1. El oxígeno disuelto está por debajo de los límites máximos permisible.

El amonio sobrepasó el límite permisible con 0,2 NH₄ mg/l cuando el límite permisible no debe sobrepasar 0,05 mg/l esto incide de acuerdo a Pis-Ramírez, *et al.*, (2015) indican que el amonio es tóxico en su forma no ionizada, causando efectos adversos en la osmorregulación y en la oxigenación lo que ocasiona cambios patológicos en órganos y tejidos, especialmente branquias e intestino.

Los sólidos disueltos totales (TDS) se encontraron en término medio de contaminación de 500 mg/l, aun así se encuentran dentro del límite máximo permisible de 1000 mg/l por lo que es considerado la materia en una muestra de agua, más pequeñas de 2 micrones (2 millonésimas de un metro), según Sigler y Bauder (2012) no pueden ser removido por un filtro tradicional. Se consideran básicamente la suma de todos los minerales, metales y sales disueltos en el agua y es un buen indicador de la calidad de agua. Además, que son clasificados como un contaminante secundario que en niveles elevados proporciona al agua una apariencia turbia y disminuye el sabor en ésta. Además, ocasionan irritación gastrointestinal al beber ésta agua. También pueden interferir con equipos de tratamientos. El tratamiento puede lograrse por ósmosis reversa o destilación.

La dureza total se encuentra en escala media de 220 mg/l CaCO₃, mientras que el límite permisible es de 500 mg/l. De acuerdo a Julián-Soto (2010) La dureza permanente es producida por sales más fijas como los cloruros (Cl⁻), sulfatos (SO₄²⁻), encontrando que la dureza total es la suma con la dureza temporal y que se acostumbra representarla en función de los bicarbonatos de calcio y de magnesio. Como se mencionó anteriormente, la dureza es causada por iones metálicos divalentes que bien pueden ser calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), estroncio (Sr²⁺),

fierro (Fe^{2+}) y aniones como bicarbonato (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}), cloruros (Cl^-), nitratos (NO_3^-) y silicatos. Las aguas que contienen mayor cantidad de bicarbonatos de calcio y de magnesio, representa la principal forma de alcalinidad, y en algunos casos, es equivalente a la dureza carbonatada o total, que es igual a la temporal, o que produce incrustaciones o almacenamientos leves que se pueden remover mediante inyecciones de aire o agua a presión.

El sulfato muestreado se muestra en término medio en la escala con 233 mg/l cuando el límite máximo permisible es de 400 mg/l de SO_4^{2-} . Severiche y González (2012) expresan que los sulfatos en el agua pueden tener su origen en el contacto de ella, con terrenos ricos en yesos, así como por la contaminación con aguas residuales industriales; el contenido de estos no suele presentar problemas de potabilidad en las aguas de consumo humano, pero contenidos superiores a 300mg/L pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños. Se sabe que los sulfatos de sodio y magnesio tienen acción laxante, por lo que no es deseable un exceso de los mismos en las aguas de consumo.

4.2. DISEÑO A ESCALA PILOTO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA

Para el diseño de la planta piloto se aplicó el “Test de Jarras” para establecer la dosis óptima necesaria en la capacidad de remoción de turbidez de la planta, por lo que se analizaron dos muestras diferentes de aguas con presencia de turbiedad (cuadros 4.2, 4,3 y gráficos 4.1, 4,2):

- ❖ La primera muestra se obtuvo del río Carrizal con una turbidez inicial de 4 NTU a las cuales se le aplicaron pruebas con distintas concentraciones, en la cual se comprobó que la dosis óptima fue de 0,20 g de sulfato de aluminio.

Cuadro 4. 2. Turbiedad final para cada jarra analizada en la muestra 1

Dosis	0,05	0,1	0,2	0,4
Turbiedad Final	3	3	2	4

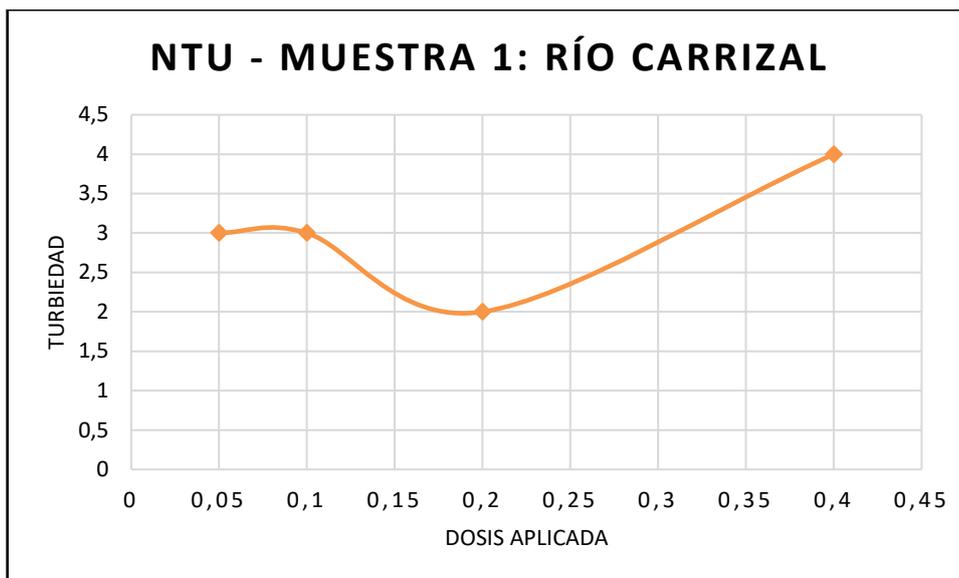


Gráfico 4. 1. Curva de turbiedad, respecto a la dosis de coagulante aplicada de la muestra 1

- ❖ En la segunda muestra se preparó un agua sintética con una turbiedad inicial de los 250 NTU, donde se comprobó que la dosis óptima fue de 1,5 g de sulfato de aluminio.

Cuadro 4. 3. Turbiedad final para cada jarra analizada en la muestra 2

Dosis	0,5	1	1,5	2
Turbiedad Final	9	8	4	5

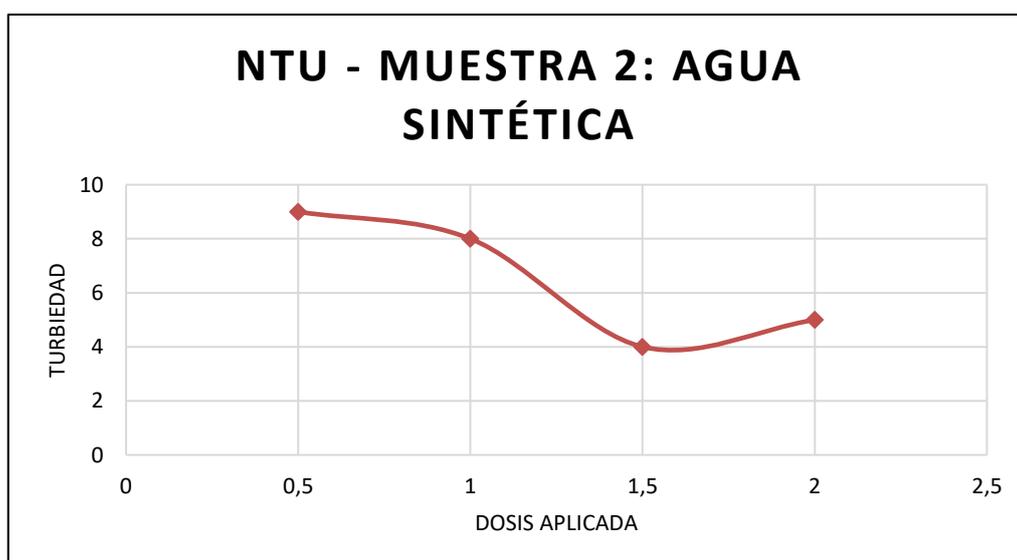


Gráfico 4. 2. Curva de turbiedad, respecto a la dosis de coagulante aplicada de la muestra 2

Cabe mencionar que la turbidez del agua subterránea a tratar mediante la planta potable a escala piloto fue de 3 NTU, lo que expresa que se encuentra por debajo

de los límites permisibles del TULSMA y obliga a no aplicar ningún tipo de coagulante en el proceso de sedimentación.

A continuación, se presenta el diseño a escala piloto de acuerdo a los parámetros a tratar en base de la toma de muestra de agua inicial del agua de la Carrera de Ingeniería Ambiental.

4.2.1. DISEÑO DE AIREADOR

Para el diseño de la torre de aireación se tomó en cuenta la metodología de Cárdenas y Medina (2017) quienes emplean una relación de igualdad entre los valores del caudal de diseño (anexo 5). La relación está dada en la siguiente expresión:

$$Qd_a = Qd_{a'} = Qd_{a''}$$

$$Qd_a = 0,04 \text{ L/s}$$

$$Qd_{a'} = 0,00004 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Qd_{a''} = 3,6 \text{ m}^3/\text{día}$$

Donde cualquier valor para el caudal diario es válido

a) Caudal

$$QD = 3,6 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$CH = 120 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{día}}$$

b) Área total del Aireador

$$QD = 3,6 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$CH = 120 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{día}}$$

$$n = 3$$

$$A_T = \frac{Q_D}{C} \quad A_T = \frac{3,6 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{120 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{día}}}$$

$$A_T = 0,030 \text{ m}^2$$

$$A_T = 0,030 \text{ m}^2 \times \frac{100^2 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2}$$

$$A_T = 300 \text{ cm}^2$$

$$A_B = \frac{A_T}{n} \quad A_B = \frac{0,030 \text{ m}^2}{3} \quad A_B = 0,01 \text{ m}^2$$

$$A_B = 0,01 \text{ m}^2 \times \frac{100^2 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2}$$

$$A_B = 100 \text{ cm}^2$$

c) Longitud de la bandeja

$$L_B = \sqrt{A_T * n} \quad L_B = \sqrt{(0,030 \text{ m}^2) * 3}$$

$$L_B = 0,30 \text{ m}$$

$$L_B = 0,30 \text{ m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$

$$L_B = 30 \text{ cm}$$

d) Altura de la torre

$$H = 1,5 \text{ m}$$

e) Tiempo de exposición

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$t_{eA} = \left(\sqrt{\frac{2 \times H_{EB}}{g}} \right) * N_B \quad t_{eA} = \sqrt{\frac{2 \times 0,25 \text{ m}}{9,82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} * 3$$

$$t_{eA} = 0,677 \text{ s}$$

f) Altura entre bandejas

$$H_{EB} = 0,25 \text{ m}$$

g) Numero de bandejas

$$n = 3$$

h) Área de cada orificio

$$D = 0,005 \text{ m}$$

$$D = 0,005 \text{ m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \times \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \quad \boxed{D = 5 \text{ mm}}$$

$$\pi = 3,1416$$

$$A_O = \frac{Nb \times \pi \times D^2}{4} \quad A_O = 0,00006 \text{ m}^2$$

$$A_O = \frac{(3) \times (3,1416) \times (0,005 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_O = 0,00006 \text{ m}^2 \times \frac{100^2 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} \times \frac{10^2 \text{ mm}^2}{1 \text{ cm}^2}$$

$$\boxed{A_O = 0,6 \text{ cm}^2}$$

Velocidad del agua sobre la bandeja

$$Q_D = 0,00004 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A = 0,00006 \text{ m}^2$$

$$V_B = \frac{Q_D}{A} \quad V_B = \frac{0,00004 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,00006 \text{ m}^2} \quad \boxed{V_B = 0,68 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

i) Caudal sobre cada bandeja

$$L_B = 0,30 \text{ m}$$

$$A_O = 0,00006 \text{ m}^2$$

$$H_{H_2O} = 0,25 \text{ m}$$

$$Q_B = L \times A_O \times \sqrt{2 \times g \times H_{H_2O}}$$

$$Q_B = (0,3 \text{ m}) \times (0,00006 \text{ m}^2) \times \sqrt{2 \times \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \times (0,25 \text{ m})}$$

$$\boxed{Q_B = 0,000039 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

Cuadro 4. 4. Resumen con los resultados de los cálculos obtenidos

Cuadro resumen de resultados del diseño			
Parámetro		Valor	Unidades
Caudal	QD	3,6	m ³ /día
		0,00004	m ³ /s
Carga hidráulica	CH	120	m ³ /m ² x día
Altura de la torre	H	1,5	m
Número de bandejas	n	3	-----
Altura entre bandejas	H _{EB}	0,25	m
Gravedad	g	9,8	m/s ²
Área total del Aireador	A _T	0,03	m ²
Área total de la bandeja	A _B	0,01	m ²
Altura de la bandeja	---	0,12	m
Borde libre de la bandeja	----	2,5	cm por cada lado
Longitud de cada bandeja	L _B	0,3	m
Tiempo de exposición	t _{eA}	0,678	m/s
Número de orificios	# orif	36	-----
Área de cada orificio	A _o	0,00006	m ²
Velocidad del agua sobre la bandeja	V _o	0,679	m/s
Caudal sobre cada bandeja	Q _B	0,00004	m ³ /s

4.2.2. DISEÑO DEL FLOCULADOR DE FLUJO HORIZONTAL

Los parámetros iniciales para el diseño de un floculador de tipo horizontal son el tiempo de retención y la velocidad promedio a lo largo del recorrido, por lo cual para el presente diseño y considerando que es una planta piloto se definieron los siguientes parámetros iniciales:

- ❖ **Velocidad:** 0,055 m/s
- ❖ **Tiempo de retención:** 5 minutos

Partiendo de estos datos y conociendo el caudal de diseño se procede a dimensionar cada parte que compone el floculador tal como se muestra a continuación (figura 4.1.), (anexo 6):

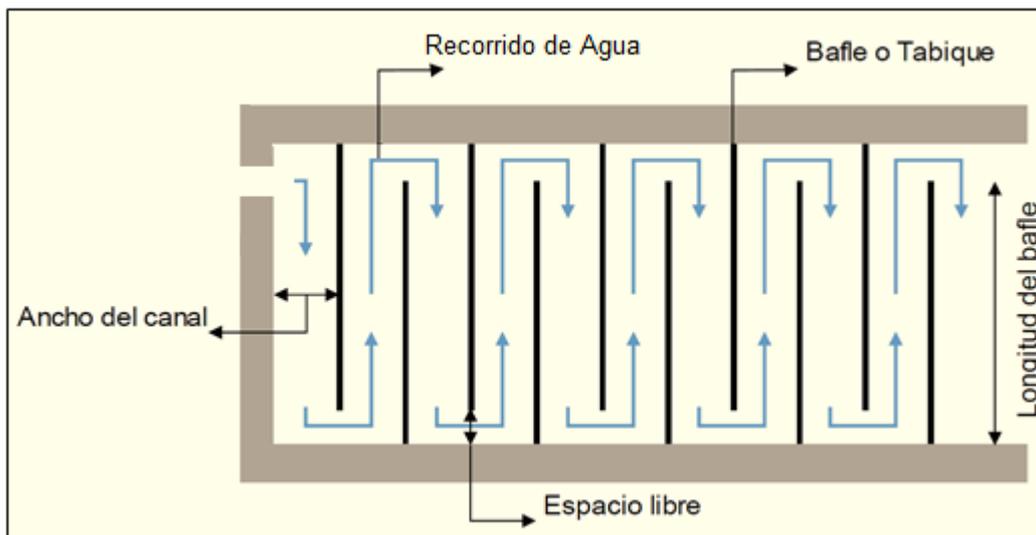


Figura 4. 1. Partes fundamentales del floculador vista en planta

Distancia total recorrida

$$L = V * t * 60 = 0,055 \text{ m/s} * 5 \text{ min} * 60 = 16,50 \text{ m} = 17 \text{ m}$$

Volumen de agua a mezclar

$$V = Q * t * 60 = 0,00010 \text{ m}^3/\text{s} * 5 \text{ min} * 60 = 0,030 \text{ m}^3$$

Área transversal requerida

$$a = \frac{V}{L} = \frac{0,030 \text{ m}^3}{17,00 \text{ m}} = 0,00176 \text{ m}^2$$

Profundidad de la lámina de agua

Para determinar la profundidad de la lámina de agua, es necesario definir en primer lugar un espaciamiento entre baffles, el cual para el presente diseño será de 8 cm.

$$\text{Separación entre baffles} = 0.080 \text{ m}$$

$$d = \frac{a}{s} = \frac{0,00176 \text{ m}^2}{0,080 \text{ m}} = 0.022 \text{ m} = 2.20 \text{ cm}$$

Profundidad del tanque



Borde libre = 0,15 m

Altura total = $d + bl = 0,172 \text{ m} = 0,17 \text{ m}$

Como consta para dimensionar el floculador es necesario permitir un borde libre, que en este caso fue de 15 centímetros logrando así una altura total de 17 centímetros que se aproximan a 20 no obstante en el diseño las láminas tendrán una altura útil de 17 centímetros y las paredes de 20.

Espacio libre entre tabiques

$S_t = 1,5 * s_b = 1,5 * 0,050 \text{ m} = 0,075 \text{ m} = 8,00 \text{ cm}$

Longitud efectiva

Ancho útil (Supuesto) = $1,60 \text{ m}$

Longitud efectiva (l) = Ancho útil - $S_t = 1,52 \text{ m}$

El ancho útil hace referencia a la longitud que debe tener la lámina, por lo cual considerando lo descrito en el título 4.5 se tendría que las dimensiones de las láminas internas son de 1.52m x 0.17m.

Número de canales requeridos

$$N = \frac{L}{l} = \frac{17 \text{ m}}{1,52 \text{ m}} = 11,18 = 11$$

Longitud total del floculador

$$L_T = N * S_b + (N-1) * s$$

Donde s , es el espesor de las paredes = 3 mm

$$L_T = 20 * 0,050 \text{ m} + (20-1) * 0,003 \text{ m} = 1,057 \text{ m} = 1,060 \text{ m}$$

La longitud total del vertedero es de 1.06 metros es decir que las dimensiones generales de la caja del floculador serán de 1.60m x 1.06m, considerando solo medidas internas y teniendo en cuenta que las láminas internas poseen un espesor de 3 milímetros.

De este modo ya se obtiene el dimensionamiento en planta del tanque Floculador tal como (Figura 4.2):

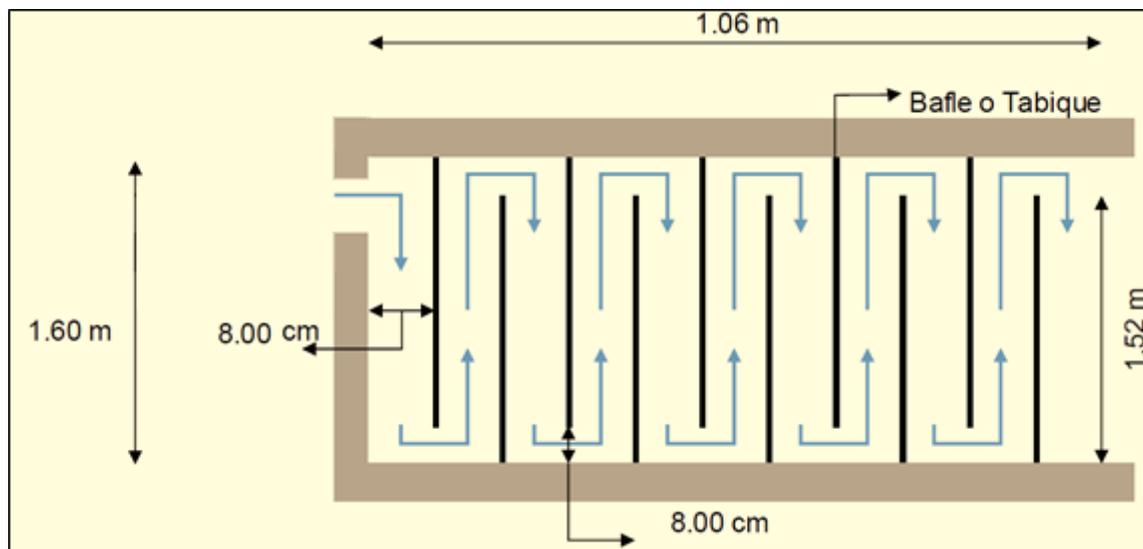


Figura 4. 2. Dimensionamiento del floculador vista en planta

Ahora bien, considerando que el recorrido que se hace a lo largo del tanque, se calculan las pérdidas generadas, para diseñar el perfil longitudinal.

Pérdida por fricción en el tanque

Para el n de Manning se recurrió a los diversos valores que se encuentran en la bibliografía, encontrando diversos valores que podrían ser aplicados considerando que el vidrio no está definido como material para canales.

Cuadro 4. 5. Valores de n de Manning

Tipo de canal	Material	Mínimo	Normal	Máximo
Conducto cerrado parcialmente llenos	Metal – Latón liso	0,009	0,010	0,013
	Vidrio	0,009	0,010	0,013
	Concreto bien terminado	0,011	0,012	0,014
Canales desarmables o revestidos	Metal liso sin pintar	0,011	0,012	0,014
	Concreto Terminado con Llana metálica	0,011	0,013	0,015

Si se considera el promedio de los valores normales para los diversos tipos de canales especificados en el (cuadro 4.5)., se obtiene un promedio de 0.012. No obstante, de las experimentaciones realizadas a lo largo de la carrera en el laboratorio de rugosidades en canales, desarrollados en la clase de Hidráulica y laboratorio, se puede considerar que el valor más acertado es 0.012 (cuadro 4.6)

para canales en vidrio, considerando que las paredes del canal evaluado en el laboratorio eran de vidrio y poseían un fondo liso.

Cuadro 4. 6. Cálculo de n de Manning para canal con lecho liso

PARÁMETROS DE DISEÑO						
A (área m ²)	0,0048	0,0037	0,0032	0,0028	0,0028	0,0024
P (perímetro m)	0,1993	0,1723	0,1593	0,1500	0,1503	0,1400
Q (caudal m ³ /s)	0,00243	0,00250	0,00247	0,00252	0,00218	0,00242
Q medio (m ³ /s)	0,00242					
R (radio hidráulico m)	0,02395	0,02143	0,01992	0,01867	0,01870	0,01714
R ^{2/3}	0,08309	0,07715	0,07348	0,07038	0,07045	0,06648
g (Coef. coriolis)	1,000054796					
S ^{1/2} (m/m)	0,07071	0,1	0,12247	0,14142	0,15811	0,17321
n (Coef. Manning)	0,012	0,012	0,012	0,012	0,013	0,011
n Promedio	0,012					

Pérdida adicional en el tanque

$$h = \frac{3(N-1)v^2}{2g} = \frac{3(20-1)0,010}{2 * 9,8} = \frac{0,57}{19,62} = \boxed{0,029}$$

Pérdida total

$$H = h_f + h = 0,017 + 0,029 = \boxed{0,046 \text{ m}}$$

Gradiente de velocidad

$$G = \left(\frac{g * H}{v * t} \right)^{1/2} = \left(\frac{9,81 * 0,046}{1,04E - 06 * 300} \right)^{1/2} = \boxed{38,30 \text{ s}^{-1}}$$

El gradiente debía, además, está en el rango recomendado para floculadores hidráulicos que esta entre 10 y 100 s-1.

Numero de camp

$$Gt = G * t = 38,30 \text{ s}^{-1} * 5 \text{ min} * 60 = \boxed{11490}$$

De manera general se recomienda que el número de Camp se encuentre entre 10000 y 100000 para el caso de estudio dio 11490 por lo cual cumple un requisito de diseño.

Perfil longitudinal del floculador

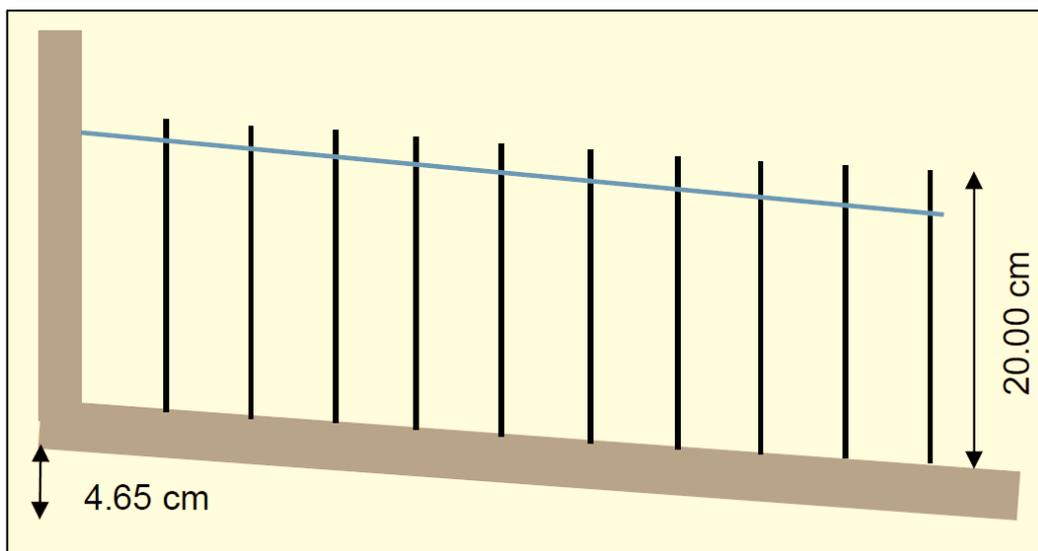


Figura 4. 3. Dimensionamiento de floculador vista en perfil

Para evitar el estancamiento del agua, y garantizar que la velocidad se mantenga debe dejarse una caída que para el caso es de 4,65 centímetros. A continuación, se presenta el diseño del floculador en tres dimensiones, para así esquematizar el diseño resultante (Figura 4.3, 4.4 y 4.5).

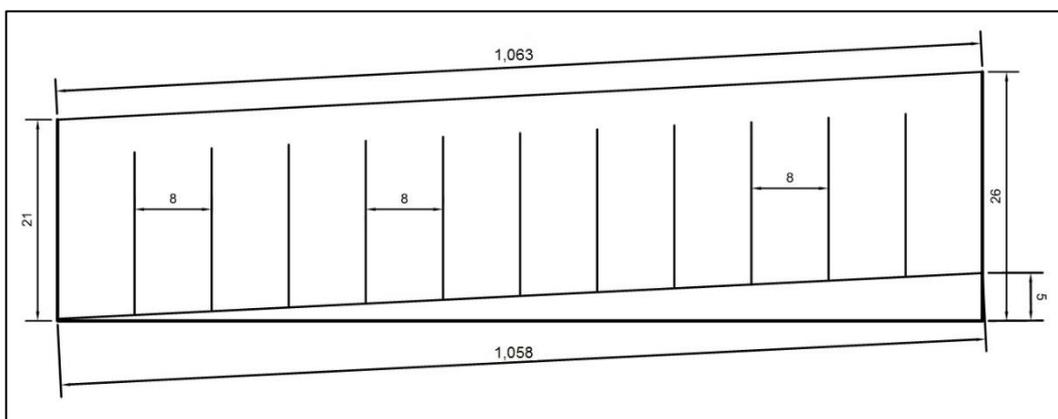


Figura 4. 4. Vista lateral del floculador

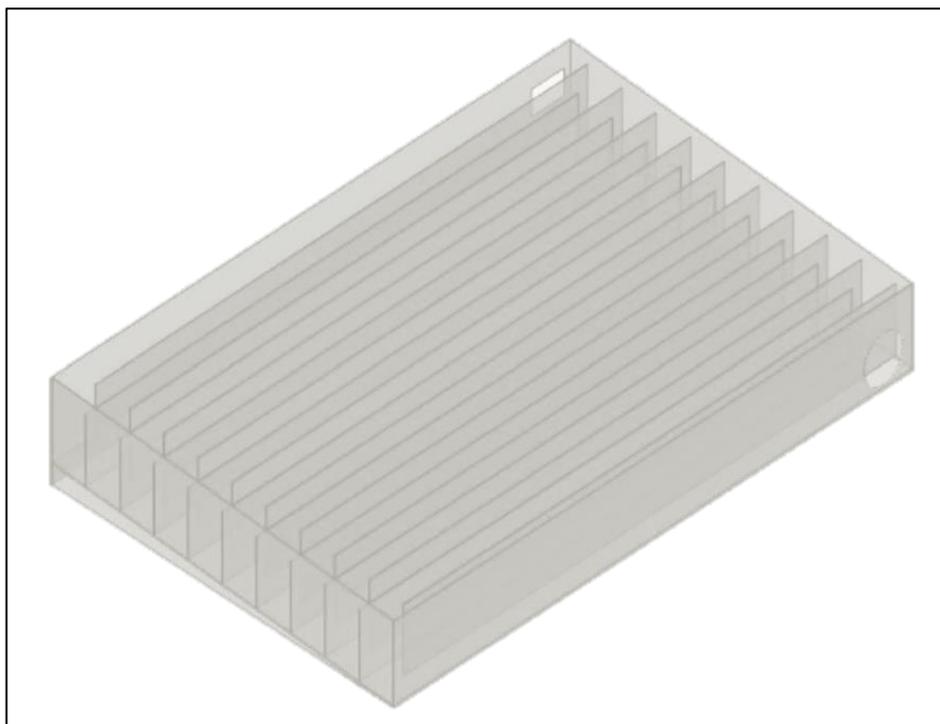


Figura 4. 5. Vista en isométrico floculador horizontal

Cuadro 4. 7. Resumen de resultados del diseño del floculador

Parámetro	Valor	Unidades
Distancia total recorrida	17	m
Volumen de agua a mezclar	0,030	m ³
Área transversal requerida	0,00176	m ²
Profundidad de la lámina de agua	2,20	cm
Altura total de Profundidad del tanque	0,17	m
Borde libre de Profundidad del tanque	0,15	m
Espacio libre entre tabiques	8	cm
Longitud efectiva ancho útil	1,60	m
Longitud efectiva de la lámina	1,52	m
Número de canales requeridos	11	----
Longitud total del floculador	1,060	m
Pérdida adicional en el tanque	0,029	----
Pérdida total	0,046	m
Gradiente de velocidad	38,30	s ⁻¹
Número de camp	11490	----

4.2.3. DISEÑO DEL FILTRO RÁPIDO DE ARENA

La metodología empleada para el diseño del filtro rápido de arena para la planta de potabilización de agua a escala piloto es tomada de (Larrea, 2015) (Ávila y Moreno, 2016), el diseño de este filtro de agua fue basado en una conexión directa al resto de procesos antes planteados en el diseño de la planta potabilizadora de agua, el funcionamiento del filtro está distribuido de la siguiente manera, el líquido vital se filtra para entrar en contacto con la primera capa como lo es la arena de 0.30 mm de diámetro inmediatamente el agua sigue filtrándose a través de la zeolita de 3 mm de diámetro y por último pasa por la capa soporte como lo es la grava de ¼. (anexo 7).

Número de filtros

Para calcular el número de filtros necesario, se usará la ecuación de Morrill y Wallace (1934).

$$Q \text{ día} = 8,64 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$n = 0,0044 * (Q)^{1/2} = 0,044 * (8,64 \text{ m}^3/\text{d})^{1/2} = \boxed{0,129 = 1}$$

De esta manera se determina que con un filtro es suficiente.

Caudal Unitario

$$q_u = \frac{Q}{n} = \frac{8,64 \text{ m}^3/\text{d}}{1000\text{m}} = \boxed{8,64\text{m}^3/\text{d}}$$

El caudal unitario es igual al caudal diario debido a que solo es un filtro.

Área superficial requerida

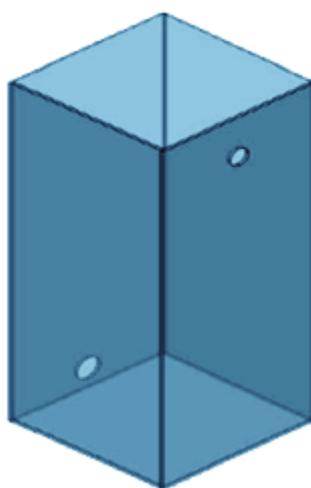
$$A_s = \frac{q_u}{C_s} = \frac{8,64 \text{ m}^3/\text{d}}{240.00 \text{ m}/\text{d}} = 0,036\text{m}^2 = \boxed{0,040 \text{ m}^2}$$

De esta manera si se quiere un diseño cuadrado el lado de la cámara será de 0.40 metros

Cuadro 4. 8. Composición de un filtro rápido de arena

Estructura u composición de un filtro de zeolita	
Materiales	Cantidad
Arena de 0,30 mm de diámetro	10 cm
Zeolita de 3 mm de diámetro	10 cm
Grava de ¼ de diámetro	10 cm

De esta manera se concluye el diseño de la planta con los planos de diseño, quedan como anexo al presente documento (figura 4.6).

**Figura 4. 6.** Vista en isométrico filtro rápido de arena y falso fondo**Cuadro 4. 9.** Resumen de resultados del diseño del filtro

Parámetro	Valor	Unidades
Número de filtros	0,129 = 1	-----
Caudal unitario	8,64	m^3/d
Área superficial requerida	0,040	m^2

4.2.4. DESINFECCIÓN

Una vez terminada la etapa de filtración, el afluente sigue a la etapa de cloración, cuyo caudal es de 150 l/h; la desinfección es directa y se realiza con la adición de hipoclorito de calcio, para conocer su concentración debemos basarnos en los datos del siguiente cuadro:

Aguas turbias	1,5 mg/L
----------------------	----------

Aguas claras	0,3 mg/L
---------------------	----------

En este caso, una vez realizados los análisis correspondientes y conociendo que el agua a tratar no es turbia en lo absoluto optaríamos por los 0,3 mg/L, sin embargo, al provenir de una fuente subterránea, debemos considerar que el agua está contaminada, por tanto, la mejor opción en este caso específico es el de dosificar 1,5mg/L.

Dimensionamiento Tanque de Cloración

$$V_{\text{tanque}} = 0,184 \text{ m}^3$$

Altura del tanque

$$H_{\text{tanque}} = 0,78 \text{ m}$$

Calculo del peso del Hipoclorito de Sodio

$$P = 0,15 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 1,5 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 0,22 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

Calculo del peso del Producto Comercial

$$P_C = \frac{0,22 \frac{\text{g}}{\text{h}} * 1000}{5\%} = 4,4 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

Calculo de la demanda horaria de la solución

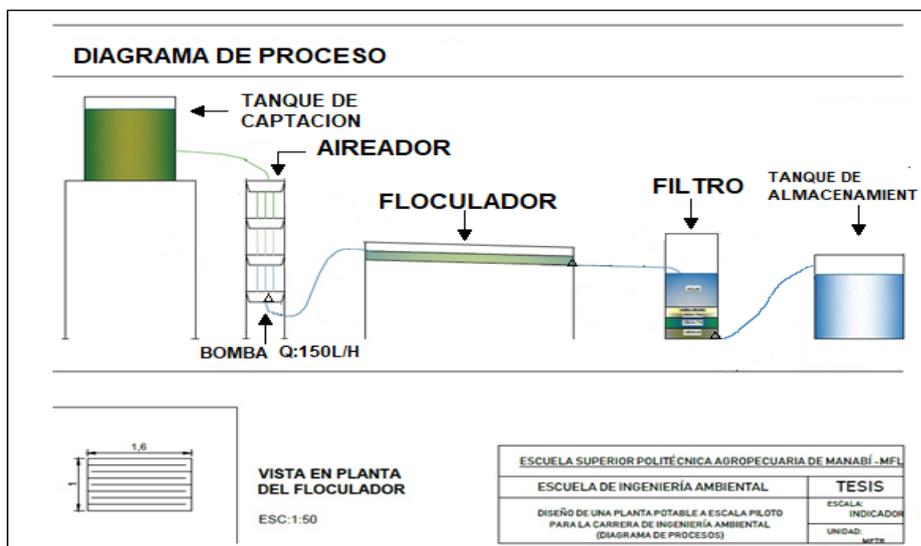
$$q_S = \frac{4,4 \frac{\text{g}}{\text{h}} * 100}{1} = 440 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

$$q_S = 440 \frac{\text{g}}{\text{h}} * 1 \frac{\text{l}}{\text{kl}} * \frac{1}{1000\text{g}} = 0,44 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Cuadro 4. 10 Resumen de resultados de la desinfección

Parámetro	Valor	Unidades
Dimensionamiento Tanque de Cloración	0,184	m ³
Altura del tanque	0,78	m
Calculo del peso del Hipoclorito de Sodio	0,22	$\frac{g}{h}$
Calculo del peso del Producto Comercial	0,44	$\frac{g}{h}$
Calculo de la demanda horaria de la solución	0,44	$\frac{l}{h}$

Se construyó el prototipo de la planta piloto de potabilización según los materiales y medidas establecidos anteriormente (Figura 4.7), también fue desarrollada en base a las necesidades de la planta, con un caudal de 150 l/h de agua a tratarse; El diseño consintió en un tanque de abastecimiento de 120 litros de capacidad de almacenamiento, un aireador de 1,50 m de altura con 3 bandejas y 5 cm de lecho de contacto de carbón activado, floculador horizontal de 1,60 m x 1,00 m con un tiempo de retención de 20 min, luego es dirigido a un filtro rápido de arena que cuenta con medios filtrantes de arena de 0,30 mm, zeolita de 3 mm de diámetro y graba de ¼ de diámetro y por último para la deposición final un tanque de 120 litros de almacenamiento donde se lleva a cabo el proceso de desinfección directa y se realiza con la adición de hipoclorito de calcio (anexo 1, 2, 3 y 4).

**Figura 4. 7.** Esquema del sistema de tratamiento a escala piloto

Los resultados obtenidos del análisis del agua después de pasar por los procesos de la planta, fueron comparados con la Norma Técnica Ecuatoriana de agua potable: Requisitos INEN 1108:2014 son los siguientes para cumplir el agua potable de consumo:

Cuadro 4. 11. Características físicas, químicas y microbiológicas del agua procesada (anexo. 9, 10 y 11).

ITEM	PARÁMETROS	MUESTRA ANÁLISIS MEDIANTE PROTOTIPO		PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES	LMP DE NORMA INEN – 1108:2014			
		AGUA CRUDA	AGUA TRATADA Y CLORADA		UNIDAD	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo o permitido
1	TEMPERATURA	25,5	25,2		°C			
2	TURBIDEZ	4	3	25%	NTU		NTU	5
3	COLOR	30	<15	50%	Pt/Co	color real	Pt/Co	15
4	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	100	0,43	99%	mg/l	PPM		
5	pH	7	7	-	-	PH		
6	AMONIO	0,50	0,25	50%	mg/l	NH ₄		
7	NITRITOS	2,01	0,66	75%	mg/l	N-Nitrito	mg/l	3,0
8	NITRATOS	1,05	0,50	48%	mg/l	N-Nitrato	mg/l	50
9	MANGANESO	0,32	0,07	78%	mg/l	Mn		
10	DUREZA TOTAL	230	220	4%	mg/l CaCO ₃	CaCO ₃		
11	CLORURO	22,27	21	6%	mg/l	Cu		
12	HIERRO	<1	AUSENCIA	99%	mg/l	Fe		
13	SULFATOS	43	40	7%	mg/l	SO ₄ ⁻		
14	OXIGENO DISUELTO	3,9	4,9	25%	mg/l	O.D		
15	OLOR SABOR	PRESENCIA	AUSENCIA	99%			-----	no objetable
16	MATERIA FLOTANTE	AUSENCIA	AUSENCIA					
17	COLIFORMES TOTALES	300	AUSENCIA	99%	NMP/100ml	NMP/100ml		
18	COLIFORMES FECALES	40	<1	99%	NMP/100ml	NMP/100ml		<1.1*
19	DETERMINACIÓN DE CLORO LIBRE		0,4		mg/l		mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
20	CLORO TOTAL		0,6		mg/l		mg/l	
EFICIENCIA PROMEDIO DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA				60%				

Tras la elaboración de los diseños de la planta de tratamiento y la construcción de esta, se evaluó el desempeño y eficiencia del tratamiento al cual se somete el agua, se utiliza la fórmula de eficiencia de remoción para el tratamiento de aguas residuales.

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} * 100$$

E = Eficiencia de remocion [%].

S_o = Carga contaminante de entrada.

S = Carga contaminante de salida.

Al finalizar las pruebas empleadas en el laboratorio, comparando valores obtenidos con los parámetros caracterizados (cuadro 4.11) inicialmente se pudo constatar la corrección de cinco parámetros en relación de la norma INEN – 1108:2014 implementando los siguientes sistemas: La aireación es el proceso mediante el cual se incrementa el área de contacto del agua con el aire inyectando un 25 % de oxígeno disuelto “agua sin tratar 3,9 mg/l” y “agua tratada y clorada 4,9 mg/l” en el agua, facilitando el intercambio de gases y sustancias volátiles y a su vez remueve sustancias tales como el hierro y el manganeso (Guerrero-Bermeo, 2015). Además, el aireador cuenta con un lecho de contacto que es carbón activado, encargado de distribuir los materiales aglutinantes simples. El agua generalmente es suministrada desde la parte superior de esta torre, donde cae y aumenta el área de contacto.

Bogarín (2013) manifiesta que el carbón activado presenta un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna, junto a la naturaleza química de los átomos de carbono, conforma la propiedad de atraer y atrapar de manera preferencial ciertas moléculas del fluido que lo rodea. Proporciona excelentes resultados en la eliminación de rastros de cloro, mal olor, microorganismos y patógenos como virus y bacterias, mejora el sabor y color del agua, retiene una amplia gama de químicos como pueden ser combustibles (AguaSistec, 2012).

De acuerdo a los resultados obtenidos se pudo constatar que se redujo en el agua tratada y clorada los parámetros de color al 50% siendo el (lím. máx. per. de 15 Pt/Co) “agua sin tratar 30 Pt/Co” y “agua tratada y clorada <15 Pt/Co”, el olor y sabor obtuvieron el 99% de remoción (lím. máx. per. NO OBJETABLE) “agua sin

tratar PRESENCIA” y “agua tratada y clorada AUSENCIA”, los Coliformes Fecales se eliminaron el 99% (lím. máx. per. $<1.1^* \text{ NMP}/100\text{ml}$) “agua sin tratar 40 NMP/100ml” y “agua tratada y clorada AUSENCIA NMP/100ml”, Asimismo disminuyó al 99% la presencia de Coliformes totales “agua sin tratar 300 NMP/100ml” y “agua tratada y clorada AUSENCIA NMP/100ml”, los sulfatos se disminuyeron un 7% “agua sin tratar 43 mg/l” y “agua tratada y clorada 40 mg/l” a pesar que estos parámetros no se encuentran dentro de la normativa empleada.

Debido a que no presentaba una turbidez alta no se utilizó ningún tipo de coagulante, pero el floculador es el proceso donde las partículas se unen unas a otras para formar partículas mayores que pueden separarse por sedimentación o filtración. Logrando su precipitación, aclarando el agua y eliminando la turbiedad y minerales no recomendables para el consumo humano como hierro que proporciona al agua un sabor desagradable y cloro que se aplica mayormente como un desinfectante para eliminar o remover agentes patógenos (Borras, 2010). Es importante mencionar que en este proceso se evidenció la formación de flóculos debido al recorrido que tuvo el agua por los canales del floculador manteniendo la gradiente de velocidad, tiempo de retención en el mismo. De acuerdo a los datos obtenidos la turbiedad disminuyó un 25% (lím. máx. per. 5 NTU) “agua sin tratar 4 NTU” y “agua tratada y clorada 3 NTU”.

En el último proceso de denominado filtración se llevó a cabo con la eliminación de las partículas coloidales contribuyendo a la eliminación del material suspendido (Anda-Valades, 2018), cuyo sistema se conformó: Arena 0,30 mm de diámetro encargada de retirar contaminantes mediante absorción, corrigiendo problemas de turbidez y color, así también como tratamiento para eliminar Giardia y Cryptosporidium, bacterias y virus (Ruiz-Sánchez, 2013), zeolita de 3 mm de diámetro y la graba de 1/4 posee propiedades como un absorbente natural debido a su alto grado de hidratación, mantiene una densidad baja y conserva un gran volumen de vacíos al deshidratarse, es un captador de alta capacidad, reteniendo partículas de hasta 5 micras, sus propiedades de intercambio del catión neutralizan ciertos elementos (CarboTecnica, 2018).

La activación del lecho se consigue mediante el lavado con solución de cloruro de sodio al 0,5 %, o este proceso se le denomina dosificación, de esta manera se logra eliminar los iones de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), que son los principales causantes de la dureza del agua, ya que esta sustancia tiene la propiedad de absorber dichos elementos, debido a que sus bases son permutables. De esta manera, en el proceso del ablandamiento o rectificación, el sodio de zeolita pasa a la solución en forma de carbonato, sulfato o cloruro, debido a que el calcio y magnesio del agua son absorbido por la zeolita (Ruiz-Sánchez, 2013).

De acuerdo a los resultados obtenidos: el cloruro se mantuvo similar con un 6% mínimo de remoción “agua sin tratar 22,27 mg/l” y “agua tratada y clorada 21 mg/l”, a la par los sulfatos en un 7% “agua sin tratar 43 mg/l” y “agua tratada y clorada 40 mg/l”. Igualmente se redujo en un 78% el manganeso “agua sin tratar 0,32 mg/l” y “agua tratada y clorada 0,07 mg/l”, asimismo los sólidos disueltos totales se removieron en un 99% “agua sin tratar 100 PPM” y “agua tratada y clorada 0,43 PPM”, Dureza Total “agua sin tratar 230 mg/l CaCO_3 ” y “agua tratada y clorada 220 mg/l CaCO_3 ”, el Amonio se separó en un 50% “agua sin tratar 0,50 mg/l” y “agua tratada y clorada 0,25 mg/l”, los Nitritos con 75% (lím. máx. per. de 3 mg/l) “agua sin tratar 2,01 mg/l” y “agua tratada y clorada 0,66 mg/l”, los Nitratos se erradicaron en 48% (lím. máx. per. de 50 mg/l) “agua sin tratar 2,01 mg/l” y “agua tratada y clorada 0,50 mg/l” Por lo que se establece que el sistema de tratamiento implementado a escala piloto es eficiente en un 60% en la remoción de los contaminantes (grafico 4.3) y se la califica apta para el consumo humano tomando como referencia a los parámetros de la normativa INEN – 1108:2014 analizados en la investigación.

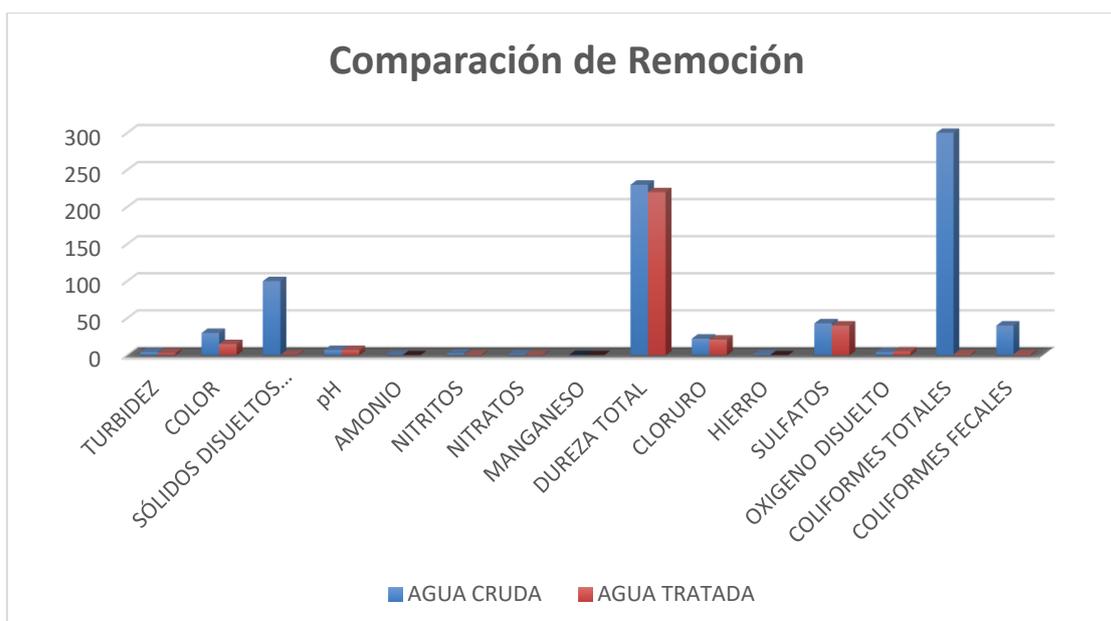


Gráfico 4. 3. Comparación de remoción de contaminantes en el agua cruda vs agua tratada.

4.3. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO A ESCALA PILOTO

Cuadro 4. 12. Costo de Inversión de montaje

Cantidad	Unidades	Artículo	Precio Unitario	Precio Total
1	-----	Construcción de Aireador(materiales metálicos galvanizado & mano de obra)	60,00	60,00
1	-----	Construcción de Floculador y Filtro (láminas de vidrio de 4mm y 6mm & mano de obra)	140,00	140,00
1	-----	Construcción de base metálica para el tablero de floculador	40,00	40,00
1	-----	Construcción de tablero de madera para asiento del floculador	15,00	15,00
3	-----	Tubos de silicón	3,00	9,00
1	-----	Tanque plástico de 100 litros	10,00	10,00
5	kg	Carbón activado	3,00	15,00
20	kg	zeolita	1,00	20,00
20	kg	Arena de 0,30 mm	0,25	5,00
20	kg	Graba de 1/4	0,25	5,00
5	m	Manguera de 1/4	0,40	2,00
3	-----	Bombas de pecera (caudal 150 L/H)	8,35	25,05
TOTAL				346,00

ANÁLISIS PRESUPUESTARIO

El requerimiento presupuestario para la construcción de la planta potabilizadora se valoró en 346,00 dólares americanos con una desvalorización de 6% anual y un tiempo de vida útil de 5 años pudiendo procesar un caudal mínimo de 150L/H y máximo 350L/H.

Resulta económicamente factible para desarrollar este tipo de proyectos en lugares que no cuentan con suministros de agua potable ayudando así a la población a prevenir enfermedades gastrointestinales por la presencia de agentes patógenos en el agua.

La planta potable fue diseñada con el propósito de comprobar su eficiencia al tratar agua específicamente del pozo de abastecimiento de la carrera de Ingeniería Ambiental, en la cual se trataron 500 litros de agua cruda en una parada obteniendo resultados favorables, por lo tanto, no pudimos establecer el costo mensual del proceso de potabilización.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En base a los análisis físico – químico y microbiológico para la caracterización del agua subterránea del pozo de la carrera de Ingeniería Ambiental, la mayoría de los parámetros analizados están dentro de los criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización (TULSMA, LIBRO VI ANEXO I), con excepción de el Amonio “muestra de agua de pozo: 0,2 mg/l” y el “Límite máximo permitido: 0,05 mg/l”, el manganeso “muestra de agua de pozo: 0,23 mg/l” y “Límite máximo permitido: 0,1 mg/l” y Oxígeno Disuelto“ muestra de agua de pozo: 1,6 mg/l” y el “Límite máximo permitido: >6 mg/l”. Parametros que estaban excediendo el limite maximo permisible ademas fue notoria la presencia de Olor y Sabor, por lo tanto se pudo determinar la calidad del agua como poco aceptable y requería un tratamiento de purificación convencional.
- De los resultados de caracterización y de las pruebas de trazabilidad del agua de alimentación se procedió a realizar el diseño de ingeniería para el sistema de tratamiento el cual consta de los siguientes procesos: Tanque de abastecimiento de 120 litros de capacidad de almacenamiento, torre de bandejas de aireación con carbón activado como lecho de contacto, floculador de flujo horizontal, filtro rápido de arena, zeolita y graba de ¼ y por ultimo un tanque de 120 litros de capacidad de almacenamiento donde se lleva a cabo el proceso de desinfección.

El diseño de la planta se efectúa con base a la remoción de contaminantes cual consiguió en un 60% la eficiencia total del prototipo frente a contaminantes como el Amonio, Manganeso, Olor Sabor además del aumento del oxígeno disuelto, diseñada para tratar un caudal de 150 L/H, pudiendo trabajar con caudales hasta 350 L/H, se comprobó a nivel laboratorio y se puede garantizar un agua de buena calidad y apta para el consumo humano, en base a los resultados de caracterización final, que, al compararlos con los valores obtenidos en la caracterización inicial del agua

de alimentación, indican una reducción de los valores tomando como referencia la norma AGUA POTABLE REQUISITOS. NTE INEN 1108:2014.

- Se establecieron los materiales más convenientes para la construcción de la planta, teniendo en cuenta economía, resistencia, duración, recomendaciones de RAS 2000 e interactividad de materiales, el costo de los materiales, materias primas y mano de obra de la construcción de planta potable a escala piloto para la carrera de ingeniería ambiental ESPAM-MFL fue valorado en 346,00 dólares americanos lo cual resulta económicamente factible para desarrollar este tipo de proyectos en lugares que no cuentan con suministros de agua potable ayudando así a la población a prevenir enfermedades gastrointestinales por la presencia de agentes patógenos en el agua.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es necesario utilizar como línea base la normativa de AGUA POTABLE REQUISITOS. NTE INEN 1108:2014. Para garantizar con mayor seguridad en la calidad del agua que está siendo tratada.
- Se debe efectuar de manera periódica análisis físico- químicos y microbiológicos, además del Test de jarras previo al tratamiento para establecer la dosis óptima necesaria de coagulante para la remoción de turbidez del agua cruda en la planta, tanto en la fuente de captación, y en el tanque de almacenamiento con el objetivo de obtener una base de datos, los mismos que nos ayudaran a identificar algún tipo de alteración en la composición del agua y evitar problemas con las personas que la consuman.
- Se recomienda implementar el proyecto en lugares remotos que carezcan de agua potable debido a su bajo costo de implementación y funcionamiento además de obtener óptimos resultados el mejoramiento de la calidad del agua.
- Para mejorar la planta en su proceso de potabilización se sugiere añadir un ablandador de agua debido a la dureza presente en aguas subterráneas.

BIBLIOGRAFÍA

- ACUATECNICA. (14 de Jun de 2016). Tipos de plantas de tratamiento de agua potable. Recuperado el 14 de Jun de 2018, de <http://acuatecnica.com/tipos-plantas-tratamiento-agua-potable/>
- AguaSistec. 2012. Filtro de carbón activado. En Productos de tratamiento de agua y aguas residuales (pág. 2). Recuperado el 22 de Oct de 2018, de <http://www.aguasis-tec.com/filtro-de-carbon-activado.php>
- Agudelo, C., y Ruth, M. (2005). El agua, recurso estratégico del siglo XXI . Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 23. Recuperado el 20 de Enero de 2018, de <http://www.redalyc.org>
- Anda-Valades, L. 2018. Proceso de filtración del agua. México: Iagua. Recuperado el 23 de Oct de 2018, de <https://www.iagua.es/blogs/luis-anda-valades/hablemos-antracita-fundamental-proceso-filtracion-agua>
- Ávila, I., y Moreno, M. 2016. Diseño, propuesta e implementación de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva en la población del casco urbano de la inspección de san Antonio de Anapoima. En Universidad Libre. Facultad de Ingeniería. Instituto de posgrados especialización en gerencia ambiental . Bogotá. D.C. Col.
- Bogarín, C. 2013. Carbon activado para la remoción de metabolitos algales en planta potabilizadora. En Jornadas regionales sobre problemática de Floraciones Algales en Fuentes de agua Potable (págs. 1-22). Laboratorio central - Panpin115. Obtenido de http://www.cofes.org.ar/descargas/relas/2_jornada/2_Aguas_de_Corrientes_Corrientes_2013.pdf
- Bonilla, B. L., Carranza-Estrada, F. A., Flores-Tensos, J. M., Ángeles-González, C., Arias, A. Y., y Chávez-Sifontes, J. M. 2010. Metodología analítica para la determinación del índice de Calidad del Agua (ICA). En M. Springer, & J. M. Sermeño-Chicas (Edits.), Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanosk y SEDI/AICD (págs. 1-19). San Salvador.
- Borras, X. 2010. Sustancias para el tratamiento de aguas para el consumo humano. Interempresas. Recuperado el 22 de Oct de 2018, de <http://www.interempresas.net/Agua/Articulos/45745-Sustancias-para-el-tratamiento-de-aguas-para-el-consumo-humano.html>
- Briñez, K. G., Guarnizo, J. C., y Arias, S. A. 2012. Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima Revista Facultad Nacional de Salud Pública. Facultad Nacional de Salud Pública, 30(2), 175-182.
- CarboTecnica. 2018. Zeolita Natural. Recuperado el 23 de Oct de 2018, de <https://www.carbotecnica.info/producto/medio-zeolita-natural-filtrante/>

- Cárdenas-Jaramillo, D. L., y Patiño-Guaraca, F. E. 2010. Estudios y diseños definitivos del sistema de agua potable de la comunidad de Tutucán, Cantón Paute, provincia del Azuay. Abastecimiento de agua. En Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Civil (págs. 1-206). Universidad de Cuenca. Facultad de Ingeniería Civil. Recuperado el 24 de Sept de 2018, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/725/1/ti853.pdf>
- Carpio-Clemente, L., Campos-Marcos, M., y Bibiano-Mendoza, L. 2015. Gestión y usos del agua desde la perspectiva de la mujer. El caso del municipio de Tecoaapa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(1), 59-66. Recuperado el 27 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263139243008>
- Casero-Rodríguez, D. 2007. Potabilización del agua. Módulo IV: Abastecimientos y Saneamientos Urbanos. En E. (. Negocios), Master en Ingeniería Mediambiental y Gestión del Agua 2007/2008 (págs. 1-144). Obtenido de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45471/componente45469.pdf
- Castro, M. L. 1997. "Contribuciones al manejo de los recursos hídricos en América latina", en Acondicionamiento del agua para bebida, conferencia. CIRA, Facultad de Ingeniería. Facultad de Ingeniería UAEM, 1-9. Recuperado el 05 de Enero de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10401806>
- Chulluncuy-Camacho, N. C. 2011. Tratamiento de agua para consumo humano. *Revista Ingeniería Industrial*(29), 153-170. Recuperado el 27 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428495008>
- Comisión Nacional del Agua. 2007. manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada, Formato html. Recuperado el 12 de Nov de 2017, de www.cna.gob.mx
- Constitución de la República del Ecuador. 2008. Artículos del Agua. Recuperado el 12 de Nov de 2017, de http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.PDF
- Del Villar, A. 2010. Los precios de los servicios del agua. Un análisis prospectivo de demanda sobre los usos domesticos. *Revista Estudios de Economía Aplicada*, 28(2), 333-355. Recuperado el 27 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30120357005>
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas. 2014. ONU-DAES. El Derecho Humano al agua y al saneamiento . Recuperado el 21 de Oct de 2017, de http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- Díaz, C., García, D., y Solís, C. 2000. Abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales por medio de un sistema de colección lluvia-planta potabilizadora. *Revista Ciencia Ergo*, 7(2), 1-7. Obtenido de

Abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales por medio de un sistema de colección lluvia- planta potabilizadora

- Durán, J., y Torres, A. 2006. Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. 7(36), 1-9. Recuperado el 10 de Enero de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13803605>
- El Diario. 2011. Agua potable y saneamiento. Recuperado el 2018 de Oct de 04, de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/210319-agua-potable-y-saneamiento/>
- Escalona, L., Espitia, M., y García, L. (Julio-Diciembre de 2009). Descripción y caracterización del sector agua potable en Venezuela Cayapa. Revista Venezolana de Economía Social, 9(18), 9-31. Recuperado el 28 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62213207002>
- Espinosa-Paz, T. M., y Rodríguez, C. (Diciembre de 2016). Nota técnica: Índice de calidad del agua (ICA), de los ríos Aroa y Yaracuy de los estados de Falcón y yaracuy, en Venezuela. Revista INGENIERÍA UC, 23(3), 381-386. Recuperado el 28 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70748810015>
- Espinoza, T. M., y González, V. (Septiembre-Diciembre de 2009). Factibilidad de la implementación de desinfección por ozono para la potabilización del agua en la planta de tratamiento potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga de la ciudad de Valencia, estado Carabobo. Revista INGENIERÍA UC, 16(3), 51-57. Recuperado el 28 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70717551008>
- FAO. 2013. Captación y almacenamiento del agua lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. 2-22.
- Fernández, C. 2012. El agua: Un recurso esencial. Recuperado el 02 de Enero de 2018, de <http://www.redalyc.org>
- Frutos, P. 2010. Valoración de la calidad del agua de abastecimiento: medidas defensivas frente a disposición a pagar por su mejora. Revista Urban Public Economics Review(13), 34-65. Recuperado el 28 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50417023003>
- García, A. 2011. Proyecto educativo sobre consumo de agua segura dirigido a las familias de la comunidad los Tillales parroquia Sucre. Recuperado el 2017 de Oct de 25, de <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/2057/1/104T0020.pdf>
- González-Cabrera, O., Ruiz-Pérez, T., Claro-Pérez, M., Pérez-Pino, N. M., Pérez-Gálvez, G., y Collazo-Alfonso, L. 2014. Estudio de patentes sobre tecnologías para tratamiento de agua y el agua residual. Revista Transinformação, 26(3), 339-347. Recuperado el 27 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=384340897010>

- Guerrero-Bermeo, V. G. 2015. Diseño definitivo de la alternativa óptima de una planta de tratamiento de agua potable en la región costa. En UTMACH, Trabajo práctico del examen complejo previo a la obtención del título ingeniero civil (págs. 1-30). Machala, El Oro: Unidad Académica de Ingeniería Civil. Carrera de Ingeniería Civil. Recuperado el 22 de Oct de 2018, de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/4985/1/TTUAIC_2015_IC_CD0042.pdf
- Gutiérrez-Rosero, J. A., Ramírez-Fajardo, Á. I., Rivas, R., Linares, B., y Paredes, D. (Julio-Diciembre de 2014). Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25), 13-27. Recuperado el 28 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75039185001>
- Herrera, D., y Melo, A. 2016. Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de agua potable de la Universidad Católica. Colombia: Programa de Ingeniería Civil.
- Historia y Biografías. (29 de Jun de 2016). Condiciones para el agua sea potable características y propiedades. Recuperado el 14 de Jun de 2018, de Las propiedades que debe reunir el agua potable: https://historiaybiografias.com/condiciones_agua_potable/
- Jaramillo, J. 2015. Diseño de una planta de tratamiento de agua potable para la parroquia monterrey cantón la concordia, Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas. Santo Domingo, Ecuador. Recuperado el 2017 de Oct de 25, de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4100/1/96T00284%20UDCTFC.pdf>
- Jouravlev, A. 2004. Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI. Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas. Recuperado el 14 de Jun de 2018, de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6440/S047562_es.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Julián-Soto, F. (Abril-Junio de 2010). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *XI(2)*, 167-177. Recuperado el 17 de Jul de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40412515004>
- Larrea, C. 2015. Aplicación de un filtro de Zeolita para potabilización del agua a nivel domiciliario en el sitio la Palestina, cantón El Guabo, provincia de El Oro. En Universidad Técnica de Machala. Ecuador.
- Lenntech.es. 2006. Calidad del agua. 1. Recuperado el 2018 de Enero de 2018, de <http://www.lenntech.es/homeesp.htm>
- LIBRO VI ANEXO I NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA. (s.f.). En M. d. Ambiente, TULSMA (Vol. III, págs. 295 - 296). Recuperado el 14 de Jun de 2018, de <http://www.compe>

tencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/05NOR2015-ACUERDO083BY097A.pdf

- Lorenzo-Acosta, Y. 2006. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XL(2), 10-17. Recuperado el 05 de Oct de 2018, de http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664_002.pdf
- Martínez, M. 2006. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 08 de Enero de 2018, de <http://www.snet.gob.sv/estudios/uploads/calculolCA.pdf>
- Martínez-Moctezuma, L. 2006. El agua y los recursos naturales como representación en los libros de textos mexicanos, 1882-1920. Revista Mexicana de Investigación Educativa, 11(30), 847-866. Recuperado el 27 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14003007>
- McFarland, M. L., y Dozier, M. C. 2006. Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso. Cooperativa de Texas Extensión. El Sistema Universitario Texas A&M, 2(4), 1-6. Recuperado el 12 de Jul de 2018, de <https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/l5451sironandman.pdf>
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C. H., y Escobar, J. C. 2011. Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. Revista EIA(16), 137-148. Recuperado el 27 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149222630010>
- Morato, J., Subirana, A., Gris, A., Cameiro, A., y Pastor, R. 2006. Tecnología Sostenible para la potabilización y tratamiento de aguas. . Revista Colombiana Antioquia, 3(1), 19-29.
- Najul, M., y Blanco, H. 2014. Estrategias de mejora continua en plantas potabilizadoras Venezolanas. Facultad de Ingeniería U.V.C.
- Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo. 2017. Plan Nacional del Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida de Ecuador. Recuperado el 24 de Sept de 2018, de <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-nacional-de-desarrollo-2017-2021-toda-una-vida-de-ecuador>
- ONU. 2009. Declaración sobre la calidad del agua. Organización de las Naciones Unidas, 1-2. Recuperado el 01 de Enero de 2018, de <http://www.unwater.org>
- Orellana-Quinchuela, M. F. 2016. Diseño de sistema de tratamiento de agua potable para la comunidad de Bellavista Cantón Colta. En Trabajo de titulación presentado en el grado académico de Ingeniería Química de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (págs. 1-137). Riobamba, Ecuador. Recuperado el 14 de Jun de 2018, de <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/6455/1/96T00343.pdf>
- Palomino-Rojas, Y., Matallana, A., y Ramirez, Y. 2016. Procesos unitarios para potabilización de agua. Centro de Desarrollo Agroempresarial y Turístico de

- Huila . SENA. Obtenido de <https://prezi.com/2ozaex0fb4ek/procesos-unitarios-para-potabilizacion-de-agua/>
- Pavón-Silva, T. B., Chávez, C., y Garrido, H. S. 2018. Planta potabilizadora para pequeñas comunidades. Centro Interamericano de Recursos del Agua CIRA, 1-12. Recuperado el 24 de Sept de 2018, de http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/trat_agua/peru/mexapa027.pdf
- Pavón-Silva, T. B., Chávez, C., y Garrido-Hoyos, S. 2007. Planta potabilizador para pequeñas comunidades. En Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química (págs. 1-12). México. Recuperado el 14 de Jun de 2018, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/peru/mexapa027.pdf>
- Perozo-Cuicas, J. R., y Abreu-Cuadra, R. L. (Abril de 2017). Evaluación de la electrocoagulación en el tratamiento de agua potable. Revista Química Viva, 16(1), 56-69. Recuperado el 27 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86351157005>
- Pis-Ramírez, M. A., Delgado-Miranda, G., Pozo-Escobar, M., Núñez-Hernández, M., Medell-Gago, M., Rico-Izquierdo, O., . . . Manuel-Alvarez, Z. 2015. Caracterización del agua y sedimento de una estación de cultivo de *Claria gariepinus* en Cuba. (V. Organización, Ed.) Revista Electrónica de Veterinaria REDVET, 16(9), 1-8. Recuperado el 12 de Jul de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63641785004>
- Reglamento Ley Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua. 2015. Cuencas Hídricas. Recuperado el 12 de Nov de 2018, de <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/REGLAMENTO-LEY-RECURSOS-HIDRICOS-USOS-Y-APROVECHAMIENTO-DEL-AGUApdf.pdf>
- Román-Jiménez, A. R., Mendoza-Briseño, M. A., Velásquez-Martínez, A., Martínez-Méñez, M. R., Torres-Rojo, J. M., y Ramírez-Maldonado, H. 2011. Usos y riesgos del agua en la cuenca de Antigua, Veracruz, México. Revista Madera y Bosques, 17(3), 29-48. Recuperado el 27 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61722838002>
- Ruiz-Sánchez, C. I. 2013. Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para la parroquia San Isidro del cantón Guano. En Tesis de grado. Previo a la obtención del título de Ingeniero Químico. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Ingeniería Química (págs. 1-138). Riobamba, Ecuador. Recuperado el 23 de Oct de 2018
- Saenz-Roldan, L. F. 2013. Diseño del sistema de tratamiento y reutilización del agua residual en la planta de lácteos Oasis. En Tesis de grado. Ingeniero Químico de la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (págs. 1-181). Riobamba, Ecuador.
- Sánchez, S. 2015. Diseño de una planta de potabilización de agua para la parroquia matriz situada en el cantón Penipe en la provincia de Chimborazo. Recuperado el 2017 de Oct de 25, de

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/1209%20UDCTFC.pdf>

3456789/4708/1/96T003

- SENAGUA. 2017. Objetivos. Secretaria Nacional del Agua. Recuperado el 12 de Nov de 2017, de <http://www.agua.gob.ec/objetivos/>
- SENET. 2005. Índice de Calidad de Agua General ICA. Sistema Nacional de Estudios Territoriales. Recuperado el 20 de Enero de 2018, de Índice de Calidad de agua general ICA
- Severiche, C. A., y González, H. 2012. Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado. *Revista Ing. USBMed*, 3(2), 6-11. Recuperado el 17 de Jul de 2018, de <http://web.usbmed.edu.co/usbmed/fing/v3n2/v3n2a1.pdf>
- Sigler, A., y Bauder, J. 2012. Alcalinidad, pH, Sólidos Disueltos Totales. En *Well Educated. Educación en el Agua de Pozo*, (pág. 1). Universidad Estatal de Montana Programa de Extensión en Calidad de Agua Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales. Northern Plains & Mountains. Recuperado el 17 de Jul de 2018, de http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf
- Torres, P., Cruz, C. H., Patiño, P., Escobar, J. C., y Pérez, A. (Diciembre de 2010). Aplicación de índices de calidad de agua - ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Revista Ingeniería e Investigación*, 30(3), 86-95. Recuperado el 28 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64316140007>
- Torres, P., Hernán, C. C., y Patiño, P. J. (Julio-Diciembre de 2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión Crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94. Recuperado el 28 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75017199010>
- TULSMA. 2005. Aguas. Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Recuperado el 20 de Enero de 2018, de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA+-+R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>
- Uvidia-Fassler, J. E. 2013. Optimización de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Chambo. En Tesis de grado previo a la obtención de Ingeniero Químico de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (págs. 1-79). Riobamba, Ecuador. Recuperado el 14 de Jun de 2018, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3203/1/96T00237.pdf>
- Villarreal-Campos, C. A., y Caicedo-Bravo, E. (Diciembre de 2013). Técnicas de Inteligencia Computacional Aplicadas a Modelos de Estimación de Coagulante en el Computacional Aplicadas a Modelos de Estimación de Coagulante en el. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de*

Antioquia(69), 205-215. Recuperado el 28 de Jun de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43029812016>

ANEXOS



Anexo 1: Aireador de la planta piloto



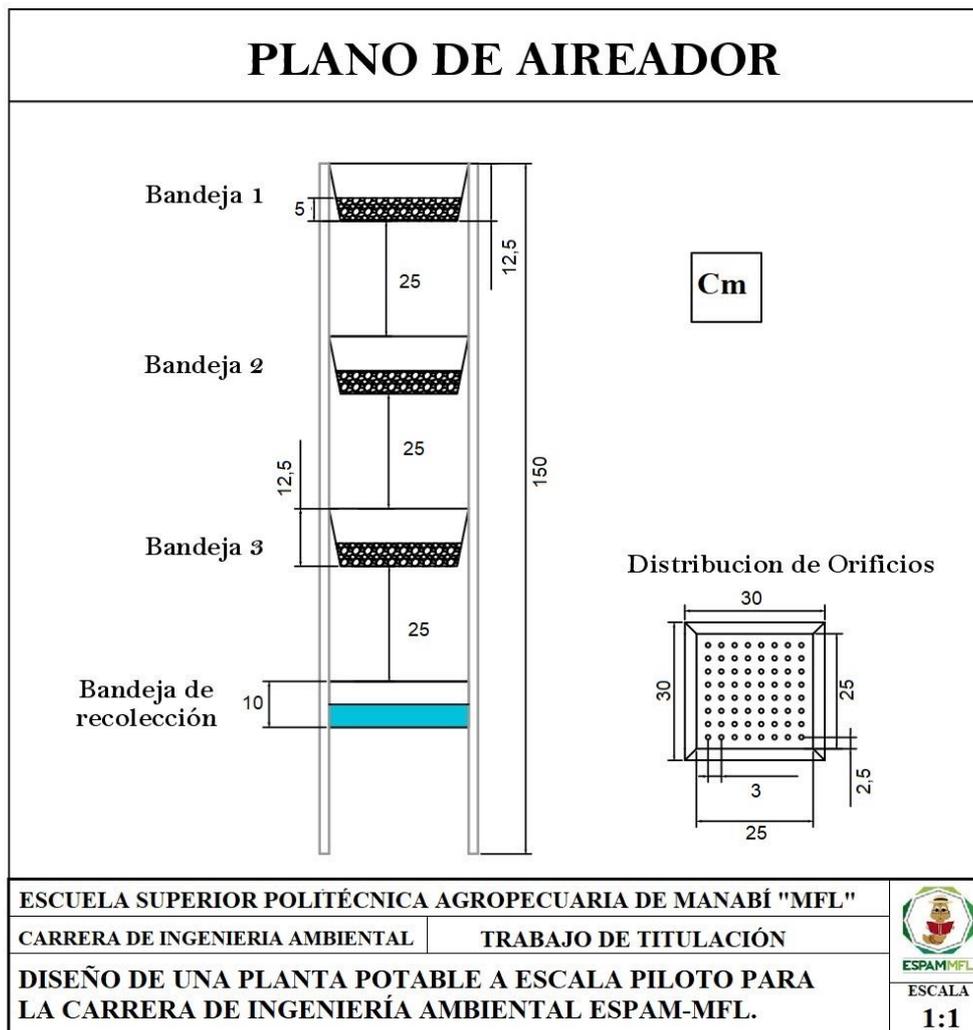
Anexo 2: Floculador de la planta piloto



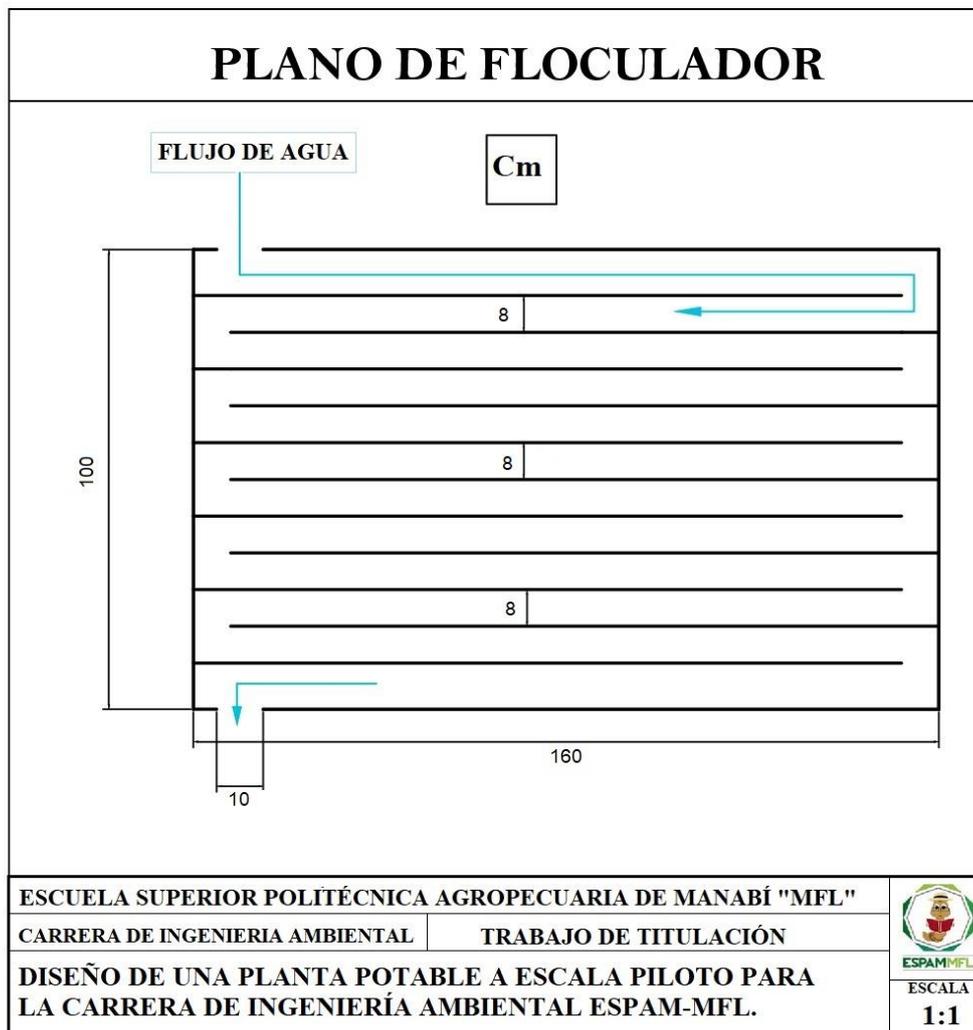
Anexo 3: Filtros de la planta piloto



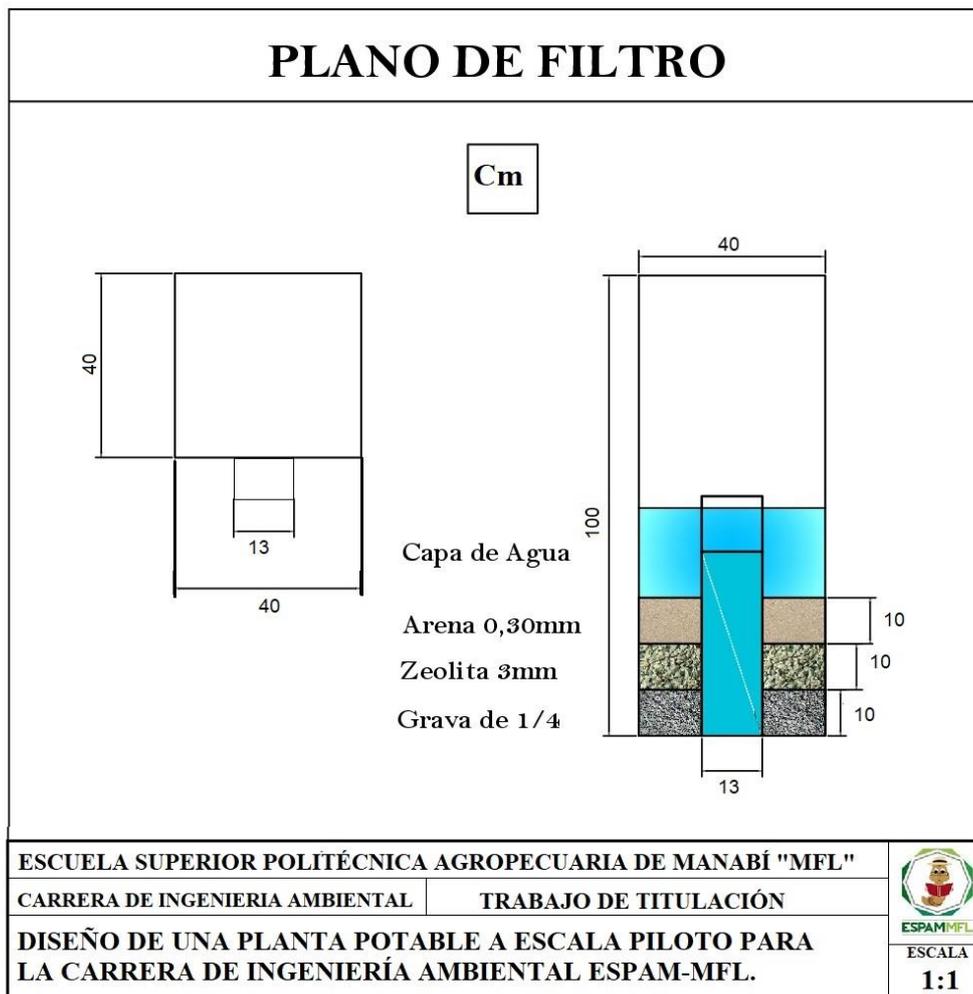
Anexo 4: Planta en escala piloto



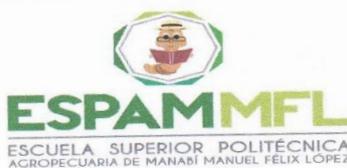
Anexo 5: Plano de Torre de Bandejas de Aireación



Anexo 6: Plano de Floculador de Flujo Horizontal



Anexo 7: Plano de Filtro Rápido de Arena



LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL Y SUELOS

Calceta, 04 de Mayo 2018

CERTIFICACION

Por medio de la presente certifico que los egresados de la carrera de ingeniería ambiental, **ALAVA PINARGOTE JEAN CARLOS** y **VERA MEJIA ABIGAIL ANDRES** realizaron análisis físicos-químicos a una muestra de agua cruda para caracterización de la fuente de abastecimiento (Temperatura, Turbidez, Color, Solidos Disueltos Totales, pH, Amonio, Nitritos, Nitratos, Manganeso, Dureza Total, Cloruro, Hierro, Sulfatos, Oxígeno Disuelto, Olor y Sabor, Materia Flotante) para ejecutar la tesis: **DISEÑO DE UNA PLANTA POTABLE A ESCALA PILOTO PARA LA CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL ESPAM-MFL.**

ÍTEM	PARÁMETROS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
1	TEMPERATURA	POTENCIÓMETRO	°C	25,5
2	TURBIDEZ	ESPECTROFOTOMÉTRICO	NTU	<1
3	COLOR	ESPECTROFOTOMÉTRICO	Pt/Co	<25
4	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	CONDUCTIVIMETRO	mg/l	500
5	PH	POTENCIÓMETRO	-	6,65
6	AMONIO	VOLUMÉTRICO	mg/l	0,2
7	NITRITOS	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	0,108
8	NITRATOS	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	0,14
9	MANGANESO	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	0,23
10	DUREZA TOTAL	VOLUMÉTRICO	mg/l CaCO ₃	220
11	CLORURO	VOLUMÉTRICO	mg/l	21
12	HIERRO	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	0,01
13	SULFATOS	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	233
14	OXÍGENO DISUELTO	OXIMETRÍA	mg/l	1,6
15	OLOR Y SABOR	OBSERVACIÓN	-	PRESENCIA DE OLOR Y SABOR
16	MATERIA FLOTANTE	OBSERVACIÓN	-	AUSENCIA

Análisis que se realizaron bajo la supervisión del personal técnico del laboratorio, desempeñándose de forma satisfactoria.

Particular que me suscribe a usted para los fines legales pertinentes.

Atentamente


ING. FABIAN PENARRIETA MACÍAS
 TÉCNICO



Anexo 8: Análisis Físico-químico a muestra de agua cruda para la caracterización



LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL Y SUELOS

Calceta, 10 de Octubre 2018

CERTIFICACIÓN

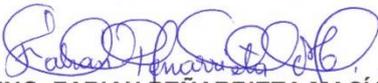
Por medio de la presente certifico que los egresados de la carrera de ingeniería ambiental, **ALAVA PINARGOTE JEAN CARLOS** y **VERA MEJIA ABIGAIL ANDRES** realizaron análisis físicos-químicos a una muestra de agua cruda (Temperatura, Turbidez, Color, Solidos Disueltos Totales, pH, Amonio, Nitritos, Nitratos, Manganeseo, Dureza Total, Cloruro, Hierro, Sulfatos, Oxígeno Disuelto, Olor y Sabor, Materia Flotante) para ejecutar la tesis: **DISEÑO DE UNA PLANTA POTABLE A ESCALA PILOTO PARA LA CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL ESPAM-MFL.**

ÍTEM	PARÁMETROS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
1	TEMPERATURA	POTENCIÓMETRO	°C	25,5
2	TURBIDEZ	ESPECTROFOTOMÉTRICO	NTU	4
3	COLOR	ESPECTROFOTOMÉTRICO	Pt/Co	30
4	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	CONDUCTIVIMETRO	mg/l	100
5	PH	POTENCIÓMETRO	-	7
6	AMONIO	VOLUMÉTRICO	mg/l	0,50
7	NITRITOS	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	2,01
8	NITRATOS	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	1,05
9	MANGANESO	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	0,32
10	DUREZA TOTAL	VOLUMÉTRICO	mg/l CaCO ₃	230
11	CLORURO	VOLUMÉTRICO	mg/l	22,27
12	HIERRO	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	<1
13	SULFATOS	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	43
14	OXÍGENO DISUELTO	OXIMETRÍA	mg/l	3,9
15	OLOR Y SABOR	OBSERVACIÓN	-	PRESENCIA DE OLOR Y SABOR
16	MATERIA FLOTANTE	OBSERVACIÓN	-	AUSENCIA

Análisis que se realizaron bajo la supervisión del personal técnico del laboratorio, desempeñándose de forma satisfactoria.

Particular que me suscribe a usted para los fines legales pertinentes.

Atentamente


ING. FABIAN PEÑARRIETA MACÍAS
 TÉCNICO



Anexo 9: Análisis Físico-químico a muestra de agua cruda previa al tratamiento



LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL Y SUELOS

Calceta, 10 de Octubre 2018

CERTIFICACIÓN

Por medio de la presente certifico que los egresados de la carrera de ingeniería ambiental, **ALAVA PINARGOTE JEAN CARLOS** y **VERA MEJIA ABIGAIL ANDRES** realizaron análisis físico-químicos a una muestra de agua tratada y clorada (Temperatura, Turbidez, Color, Sólidos Disueltos Totales, pH, Amonio, Nitritos, Nitratos, Manganeso, Dureza Total, Cloruro, Hierro, Sulfatos, Oxígeno Disuelto, Olor y Sabor, Materia Flotante) para ejecutar la tesis: **DISEÑO DE UNA PLANTA POTABLE A ESCALA PILOTO PARA LA CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL ESPAM-MFL.**

ÍTEM	PARÁMETROS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
1	TEMPERATURA	POTENCIÓMETRO	°C	25,2
2	TURBIDEZ	ESPECTROFOTOMÉTRICO	NTU	3
3	COLOR	ESPECTROFOTOMÉTRICO	Pt/Co	<15
4	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	CONDUCTIVIMETRO	mg/l	0,43
5	PH	POTENCIÓMETRO	-	7
6	AMONIO	VOLUMÉTRICO	mg/l	0,25
7	NITRITOS	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	0,66
8	NITRATOS	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	0,50
9	MANGANESO	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	0,07
10	DUREZA TOTAL	VOLUMÉTRICO	mg/l CaCO ₃	220
11	CLORURO	VOLUMÉTRICO	mg/l	21
12	HIERRO	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	AUSENCIA
13	SULFATOS	ESPECTROFOTOMÉTRICO	mg/l	40
14	OXÍGENO DISUELTO	OXIMETRÍA	mg/l	4,9
15	OLOR Y SABOR	OBSERVACIÓN	-	AUSENCIA
16	MATERIA FLOTANTE	OBSERVACIÓN	-	AUSENCIA

Análisis que se realizaron bajo la supervisión del personal técnico del laboratorio, desempeñándose de forma satisfactoria.

Particular que me suscribe a usted para los fines legales pertinentes.

Atentamente


ING. FABIAN PENARRIETA MACIAS
TÉCNICO



Anexo 10: Análisis Físico-químico a muestra de agua Tratada y Clorada

REPÚBLICA DEL ECUADOR

**ESPAMMFL**
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
 AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ
 Ley 2006 – 49 Suplemento R.O. 298 – 23 – 06 - 2006
 CALCETA – ECUADOR


REPORTE DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		Página 1 de 1	
CLIENTE:	Álava Pinargote Jean Carlos Vera Mejía Abigail Andrés	Nº DE ANÁLISIS:	2
DIRECCIÓN:	CALCETA		
TELÉFONO:	0969428543	Fecha de recibido:	15/10/2018
NOMBRE DE LA MUESTRA:	Agua de la carrera de Ingeniería Ambiental	Fecha de análisis:	15/10/2018
CANTIDAD RECIBIDA:	1	Fecha de reporte:	19/10/2018
TIPO DE ENVASE:	Recipiente de plástico de 1000 ml de capacidad	Fecha de muestreo:	15/10/2018
OBSERVACIONES:	El laboratorio no se responsabiliza por la recolección y el traslado de las muestras.	Método de muestreo:	NTE INEN 1529-2
OBJETIVO DEL MUESTREO:	Control de calidad	Responsables del muestreo:	Investigadores

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PRUEBAS SOLICITADAS	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO
AGUA DEL ABASTECIMIENTO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL DE LA ESPAM	Determinación de Coliformes totales	NMP/100ml	<1,1	Método estándar de fermentación en tubos múltiple "9221 B y 9221 C"
	Determinación de Coliformes fecales	NMP/100ml	<1,1	

Nota:

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas y, no para otros productos.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe.

Ing. Auxilia Anchundia López.

TÉCNICO DEL LAB. DE MICROBIOLOGÍA AMBIENTAL ÁREA AGROINDUSTRIAL



OFICINAS CENTRALES:
 10 de agosto No. 82 y Granda Centeno
 Telef: 593 05 685156 Telefax: 593 05 685134

www.espam.edu.ec
rectorado@espam.edu.ec

CAMPUS POLITÉCNICO CALCETA
 Sitio El Limón
 Telef: 593 05 686103

Anexo 11: Análisis Microbiológico a muestra de agua Tratada y Clorada