



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
PIRHUA

# DISEÑO DE UN PROTOTIPO COMPACTO POTABILIZADOR DE AGUA SUPERFICIAL CON INDEPENDENCIA ENERGÉTICA

Yrinna Benites-Otero

Piura, marzo de 2019

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas

Benites, Y. (2019). *Diseño de un prototipo compacto potabilizador de agua superficial con independencia energética* (Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**Diseño de un prototipo compacto potabilizador de agua superficial con independencia energética**

**Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Industrial y de Sistemas**

**Yrinna Gisella Benites Otero**

Asesor: MSc. Eduardo Sánchez Ruiz  
Co-asesor: MSc. José Hugo Fiestas Chevez

Piura, marzo 2019

*Deseo agradecer a Dios;  
A mis padres Carlos e Yrinna;  
A mi hermano Carlos Noé y;  
A mi tía Vilma Esther,  
Por su incondicional apoyo brindado durante el desarrollo de mi vida profesional.*

## **Prólogo**

El desabastecimiento del agua potable, probablemente una de las más nefastas consecuencias que dejó el Niño Costero último, fue el escenario ideal para el desarrollo de un prototipo compacto que potabilice agua superficial que ayude a mitigar esta necesidad fundamental.

Las características de este prototipo permitirán convertir el agua de ríos, lagunas y canales, en agua potable, mediante una serie de procesos que, en su conjunto, logran construir un mecanismo eficaz de tratamiento de agua.

Asimismo, su diseño compacto y pequeño permite que una flexibilidad y transporte muy valioso en términos de tiempo. Además está decir que los beneficios económicos, medioambientales y, sobre todo, salubres son increíblemente ventajosos para la población en cualquier situación de emergencia.

El mérito de esta innovación ha sido posible gracias al convenio entre Innóvate Perú, la Universidad de Piura y la empresa Embotelladora del Norte E.I.R.L, quienes gracias al financiamiento del Fondo de Investigación y Desarrollo para la Competitividad lograron capitalizar esta idea en un prototipo real.

Deseo concluir esta breve página agradeciendo profundamente a las diferentes personas que hicieron posible este esfuerzo de investigación. Entre ellas se encuentran: Eduardo Sánchez, Jorge Echevarría, Hugo Fiestas y Juan García. ¡Gracias!

## **Resumen**

El desabastecimiento de agua potable fue una característica recurrente después del fenómeno El Niño Costero en 2017. En esta tesis, la Universidad de Piura, en asociación con la empresa Embotelladora del Norte E.I.R.L., productora de agua de mesa SPRING, e Innóvate Perú, desarrollaron un proyecto compacto, de un metro cúbico de dimensiones, que potabilice agua superficial. Las características diferenciales de este prototipo es su diseño de fácil armado, mantenimiento y transporte, y que, además, tiene independencia energética ya que utiliza energía solar. El prototipo compacto fue diseñado con nueve filtros de diferentes tamaños para quitar todos los elementos patógenos que puedan afectar a la calidad de la misma. Para comprobar la correcta desinfección del agua tratada, se tomaron pruebas de esta a la entrada y salida de la planta, en las cuales se evaluaron los parámetros de calidad aceptados, arrojando resultados positivos que superaron las expectativas. Cabe señalar que la cantidad de agua tratada bajo estas condiciones alcanza para abastecer a 100 familias por día, convirtiéndose en una opción de abastecimiento en situaciones de riesgo.

**Palabras clave:** agua potable, prototipo de potabilización, prototipo compacto, desabastecimiento de agua, planta de tratamiento de agua, El Niño Costero, agua de mesa.

## Índice

Prólogo.....	i
Resumen.....	ii
Introducción .....	1
1 Capítulo 1 .....	3
1.1 La accesibilidad global al agua potable.....	3
1.1.1 El agua potable en América Latina y el Perú.....	6
1.1.2 Situación del agua en Piura.....	8
1.2 El fenómeno El Niño.....	10
1.2.1 Consecuencias en la infraestructura pública .....	13
1.2.2 Consecuencias en la salud pública.....	13
1.3 ¿Qué hacer? o ¿qué hacen? .....	15
1.3.1 La inversión como promotor de proyectos de agua potable .....	16
2 Capítulo 2.....	19
2.1 Términos y definiciones relevantes.....	19
2.1.1 Agua potable, agua de mesa y agua natural .....	19
2.1.2 Sobre las sustancias más usadas .....	20
2.2 Tecnologías de potabilización.....	20
2.3 Plantas de potabilización rápida.....	25
2.3.1 Casos de éxito .....	25
2.4 Marco normativo .....	27
2.4.1 El sistema HACCP para pequeñas empresas .....	29

2.4.2	El Codex Alimentarius.....	31
3	Capítulo 3.....	33
3.1	Empresa Embotelladora del Norte E.I.R.L. ....	33
3.1.1	Historia.....	33
3.1.2	Dirección jerárquica de la empresa.....	34
3.2	Proceso actual de producción del agua “Elite Spring” .....	34
4	Capítulo 4.....	41
4.1	Lineamientos de la investigación .....	41
4.2	Caracterización del agua fuente .....	43
4.3	Diseño sanitario e hidráulico.....	46
4.3.1	Operaciones unitarias.....	46
4.3.2	Propuestas de diseño.....	50
4.3.3	Funcionamiento.....	51
4.3.4	Cálculo de la potencia de la bomba .....	52
4.4	Diseño electromecánico .....	57
4.4.1	Componentes.....	58
4.4.2	Estructura metálica de soporte del sistema de filtros.....	59
4.4.3	Estructuras de paneles de sistema fotovoltaico.....	60
4.4.4	Planos.....	60
4.5	Implementación.....	61
4.5.1	Adecuación de instalaciones .....	61
4.5.2	Instalación de bomba periférica .....	61
4.5.3	Instalación de filtros.....	62
4.5.4	Colocación de la lámpara UV .....	66
4.5.5	Instalación de paneles fotovoltaicos .....	68
4.5.6	Pruebas de funcionamiento .....	69
4.5.7	Especificaciones técnicas.....	71

5	Capítulo 5.....	73
5.1	Presupuesto de inversión.....	73
5.2	Pruebas de validación.....	74
5.2.1	Pruebas de calidad e inocuidad.....	74
5.2.2	Pruebas de consumidores.....	75
5.3	Rendimiento del sistema actual versus el prototipo.....	76
6	Conclusiones y recomendaciones.....	79
7	Referencias bibliográficas.....	81
8	Anexos.....	87

## Introducción

A lo largo de los años, la necesidad primaria e indispensable del acceso al agua potable se ha incrementado vertiginosamente debido al crecimiento de la población. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) una persona consume como mínimo 50 litros de agua al día, la que utiliza como bebida y recurso de aseo (RPP noticias, 2017).

En los últimos años, pocas o ningunas autoridades han dado una solución eficiente y duradera al desabastecimiento de agua en la región. Algunas zonas de las provincias de Talara y Paita cuentan con sólo dos horas de agua potable diarias (Ogallo, 2008). Asimismo, el porcentaje de cobertura de saneamiento básico es escaso en las zonas de periferia urbanas en Piura: por ejemplo, según el INEI en 2010, de las cerca de 73 mil viviendas carentes de agua y saneamiento, el 72% de ellas pertenecen al área urbana y el 28% al área rural.

Por otro lado, la EPS GRAU, empresa responsable de la distribución de agua potable de Piura, realiza cortes inesperados del servicio; dejando desabastecidas a distintas zonas de la región durante tiempos desmesurados (Diario Correo, 2016). Además, esta agua “pseudo potable” que EPS GRAU ofrece a la población piurana no es apta para el consumo humano (El Comercio, 2009). Por estas razones, los usuarios se ven obligados a recurrir a otras alternativas para satisfacer sus necesidades de agua potable, como comprarla embotellada. Sin embargo, ante el escaso control por parte de las autoridades competentes en el rubro, las empresas de agua embotellada que no cumplen el mínimo de calidad exigido han proliferado el mercado con una oferta deliberadamente engañosa y barata, que, sumado al desmesurado impacto ambiental, generan en su conjunto una competencia desleal con la que es prácticamente imposible luchar.

Según cifras del INEI actualizadas a marzo del presente año 2018, el acceso a agua por red pública en la región Piura es de 85.9%. Lo que ubica a nuestra región en un lamentable tercio inferior. La crisis de abastecimiento se agudiza al considerar que este número disimula la realidad de asentamientos humanos y pueblos jóvenes, donde la población debe suplirse de formas alternativas que no garantizan que sean aptas para el consumo humano y que resultan aún más costosas (El Comercio, 2009).

Las primeras instalaciones de plantas compactas fueron ejecutadas en EE. UU en los años 90 y desde entonces se han seguido replicando en varios países de América latina con bastante éxito como Colombia y Ecuador.

En los últimos años han surgido investigaciones para abastecer de agua potable a la Región Piura. Caminati (2013) propone un sistema de tratamiento de agua para consumo humano y su distribución en el campus Piura de la Universidad de Piura. En esta misma universidad, Seminario (2015) documenta la producción de agua de mesa por osmosis inversa

para autoabastecimiento. También, Lossio (2012) diseña un sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro pobladores rurales y lo implementa en el distrito de Lancones, Sullana.

Si bien algo se ha avanzado, todavía se puede notar un retraso en la investigación de nuevas tecnologías de potabilización de agua; por ello, esta tesis pretende contribuir a la promoción de este campo, promoviendo el triángulo virtuoso entre gobierno, empresa y universidad.

El programa Innóvate Perú del Ministerio de la Producción surge como una suerte de salvador para atender esta y otras problemáticas que aquejan al país a través de los concursos de innovación que promueve. Precisamente así es como adviene esta tesis, que es parte del proyecto que la Universidad de Piura y la empresa Embotelladora del Norte E.I.R.L, llevaron a cabo para el desarrollo de una nueva alternativa de potabilización de agua que abarate los costos de producción de esta y permita hacer frente a la demanda de la región.

Esta investigación incluye el diseño sanitario, diseño mecánico y diseño energético de un prototipo (medidas aproximadas de un metro cúbico) potabilizador de agua superficial, que se abastecerá de un sistema de auto suministro utilizando energía renovable (solar fotovoltaica), reduciendo el impacto ambiental e incrementando la sostenibilidad de las operaciones de la empresa.

El proyecto se desarrollará en las instalaciones de la empresa Embotelladora del Norte E.I.R.L. que cuenta con un área de 250 m<sup>2</sup>, ubicada en el distrito de Marcavelica de la provincia de Sullana. La metodología que se utilizará para desarrollar la presente tesis será primero el estudio de calidad de la fuente de agua, del canal Biaggio Arbulu, en donde el Instituto hidráulico de UDEP, acreditado ante INACAL, realizará estudios completos (físicoquímicos y microbiológicos) de calidad de esta agua para garantizar el funcionamiento del prototipo de potabilización, analizando e interpretando los parámetros de conductividad eléctrica, pH, turbidez, sólidos totales disueltos, temperatura, cloro residual y presencia de algas.

Luego, para el diseño se mostrarán las ventajas y características más relevantes del prototipo, desde el punto de vista del diseño sanitario, pasando por el mecánico e incluyendo el diseño eléctrico. El prototipo, además de mejorar las características del agua tratada, tiene como componente de innovación, ser una planta potabilizadora compacta, portátil y auto suministrada utilizando energía renovable (solar fotovoltaica) y que cumple con todas las exigencias requeridas garantizando así un líquido recurso de excelente calidad.

# Capítulo 1

## Marco contextual

El primer capítulo comprende tres aspectos importantes que, en su conjunto, forman un preámbulo necesario para la comprensión de esta tesis. Se abarcará la situación del acceso al agua potable en Piura, Perú y en el mundo; el problema del fenómeno “El niño” de 2017; y se concluye con los principales problemas que aquejan a la región y algunas alternativas de financiamiento para solucionarlos.

### 1.1 La accesibilidad global al agua potable

La inmensa mayoría del agua residente en el planeta es salada (97.5%), tan solo el 2.5% restante es agua dulce; de la cual el 70% se encuentra en los glaciares y capas polares, el 30% es agua subterránea, y solo el 1% es la que se encuentra en la atmósfera y corre por los lagos, y ríos (Consejo Consultivo del Agua, 2011).

A pesar que la proporción pueda parecer impresionante, ha sido suficiente para que los humanos puedan sobrevivir; pues éstos consumen una cantidad relativamente pequeña de esta.

En 2003, la Organización Mundial de la Salud (OMS) señaló que una persona necesita consumir entre 50 a 100 litros de agua al día para que el riesgo de afectar su salud sea mínimo, pues en una cantidad menor la persona podría sufrir de alteraciones afectando su salud (Howard & Bartram, 2003). Lo que los investigadores sugieren en pocas palabras es que para que las personas estén sanas necesitan agua; más específicamente, necesitan tener acceso a ella.

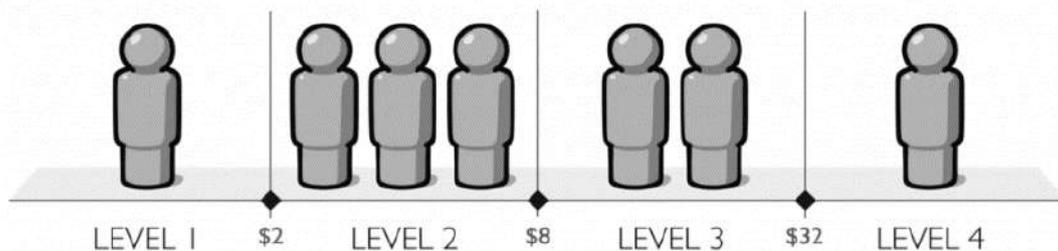


Figura 1. Representación de la población global según sus ingresos.

Fuente: (Rosling, 2018)

Para hacer una imagen general y dar magnitudes reales del contexto que encierra al tema, convendrá inicialmente echar un vistazo a los números a nivel global. La colección de estos

datos es un esfuerzo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y sus organismos especializados como la OMS y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, por sus siglas en inglés), quienes se asisten a su vez de la cooperación de los países asociados y sus instituciones locales; como el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el Perú.

De acuerdo con la ONU (2018), aproximadamente 1.8 mil millones de los 7 mil millones de personas en todo el mundo utilizan una fuente de agua potable que está contaminada por restos fecales. Este número guarda relación con la clasificación que hace el prestigioso médico y estadístico sueco Hans Rosling (2018) de la población mundial según sus ingresos diarios (véase la figura 1), según la cual se puede distinguir que cerca de mil millones de personas viven con menos de dos dólares al día (cada símbolo representa mil millones de personas).

“En 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible, una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás” (ONU, 2018). En la figura 2 se resumen los diecisiete objetivos propuestos al 2030. El alcance de estos está ramificado en metas específicas, de las cuales se destaca el sexto objetivo denominado “Agua Limpia y Saneamiento” el cual sintetiza su misión en garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento global.



Figura 2. Objetivos de desarrollo sostenible para 2030.

Fuente (ONU, 2018)

Las líneas de acción del enfoque contemplan -como antes ya se ha mencionado- el gran impacto de la escasez de este recurso. La ONU comenta al respecto:

*“La sequía afecta a algunos de los países más pobres del mundo, recrudece el hambre*

y la desnutrición. Esa escasez de recursos hídricos, junto con la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado repercuten en la seguridad alimentaria, los medios de subsistencia y la oportunidad de educación para las familias pobres en todo el mundo” (ONU, 2018).

Es justo también resaltar los avances en esta materia en los últimos años (véase figura 3), donde algunos países africanos (puntos celestes) han mejorado notablemente su cobertura de agua potable; por ejemplo, Malí y Marruecos lograron en quince años mejorar su accesibilidad<sup>1</sup> a fuentes de agua en 25% y 19%, respectivamente (Gapminder, 2017). La tendencia del progreso ha sido mundial: todos los países han mejorado en accesibilidad al agua potable en el último quinquenio.

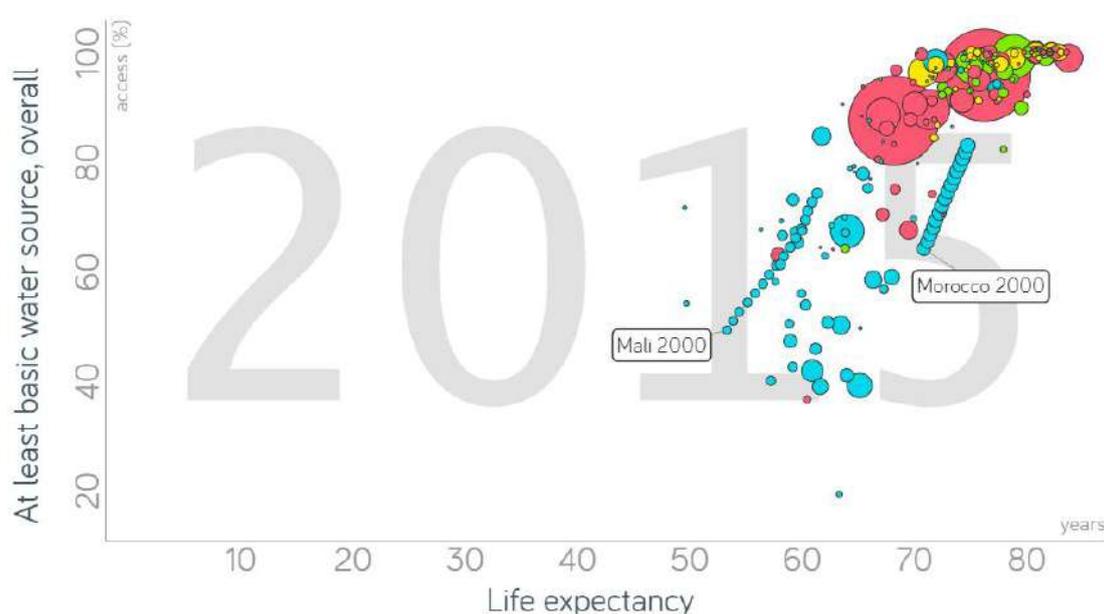


Figura 3. Cobertura de acceso básico de agua potable por esperanza de vida en 2000 y 2015.  
Fuente: (Gapminder, 2017). Elaboración propia.

Dentro de la mayoría de países hay una brecha entre las zonas rurales y las urbanas, donde las primeras, en general, presentan menor cobertura del servicio básico de agua potable, esto unido a la falta igualmente proporcionada de saneamiento expone la vulnerabilidad de este

<sup>1</sup>Gapminder (2017) define la accesibilidad al agua potable como el porcentaje de personas que usan al menos servicios básicos de agua. Este indicador abarca tanto a las personas que utilizan servicios básicos de agua como a aquellos que utilizan servicios de agua gestionados de forma segura. Los servicios básicos de agua potable se definen como agua potable de una fuente mejorada, siempre que el tiempo de recolección no exceda los 30 minutos para un viaje de ida y vuelta. Las fuentes de agua mejoradas incluyen agua entubada, pozos perforados o pozos tubulares, pozos cavados protegidos, manantiales protegidos y agua empacada o entregada.

grupo frente a enfermedades; como se señaló en párrafos arriba: hay una correlación entre el acceso al agua y el ingreso diario familiar.

Así como el continente Africano y el resto del mundo, América Latina tampoco ha sido ajena a esta tendencia global. La situación del acceso al agua potable ha mejorado sobremanera; tema que se expondrá inmediatamente.

### 1.1.1 El agua potable en América Latina y el Perú

América Latina y el Caribe son sin lugar a dudas una de las partes del globo más dulces. Y, no solo por la amabilidad, calidez y dulzura de su gente, sino por las inmensas reservas de agua dulce de las que son poseedoras; pues, la región cuenta con aproximadamente el 31% de las fuentes de agua potable en el mundo, y posee -además- la cobertura más alta de agua potable de las regiones en desarrollo (94%) (El País, 2015).

Asimismo, la bonanza económica ha colocado a Latinoamérica, hasta el 2014, en el tercer lugar si apelamos al índice de PIB *per cápita* en dólares estadounidenses actuales, luego de Norteamérica y el grupo formado por Europa y Asia Central (véase la figura 4).

PIB per cápita (dólares estadounidenses actuales)

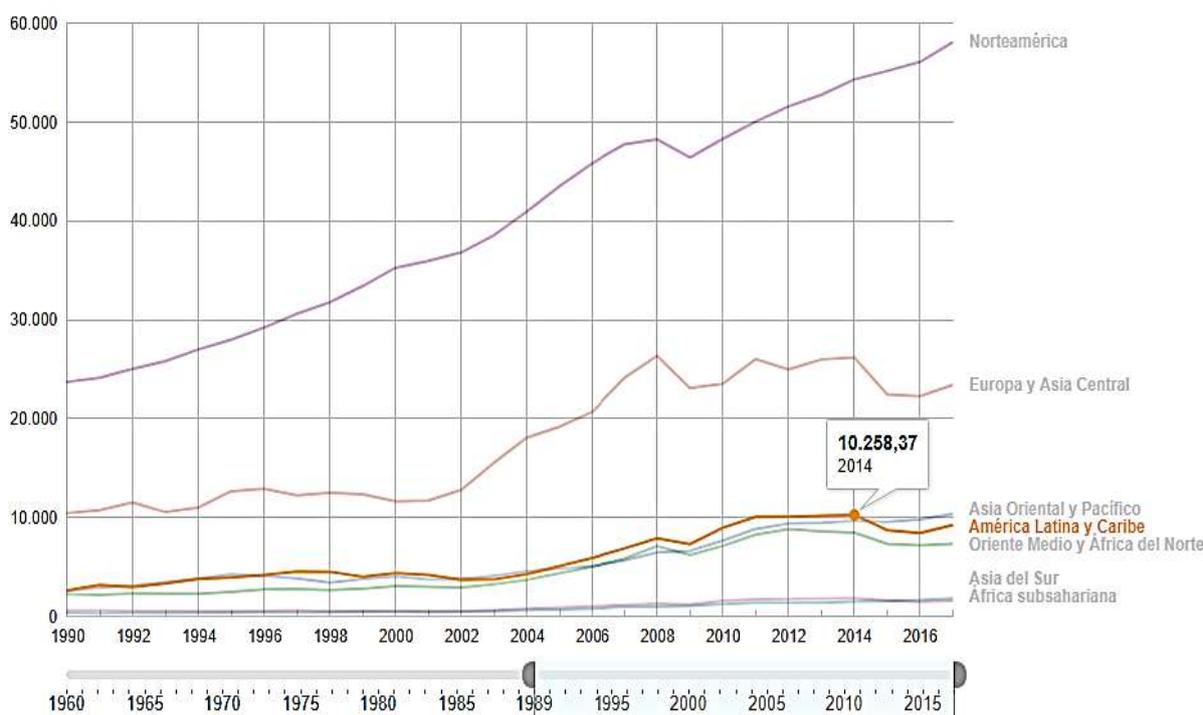


Figura 4. PBI *per cápita* en dólares estadounidenses actuales por año.

Fuente: (Banco Mundial, 2018). Elaboración propia.

Esto ha favorecido el desarrollo de proyectos de infraestructura de agua y saneamiento mediante financiamientos millonarios de bancos de alto nivel. A saber, el

financiamiento del Banco Mundial permitió que algunas estrategias de famoso *Water Sanitation Program* (WSP) se tornaran realidad. Al inicio del milenio, éstas se centraron primero en los países más pobres de la región como Bolivia, Ecuador, Perú, Honduras, Paraguay, y Nicaragua (WSP, 2006); y actualmente se encuentran trabajando también con el resto de países.

Debido a esto, el desarrollo en infraestructura de servicios se ha visto beneficiado, y, hoy, un referente es Paraguay, cuyo índice de cobertura de agua potable ha incrementado del 75% al 99% en tan solo quince años (ONU, 2018).

No obstante, las cosas todavía no marchan a pedir de boca. El diario internacional *El País* lo informa como sigue:

*“Los índices de cobertura varían ampliamente entre países y entre las zonas rurales y urbanas de un mismo país. Por ejemplo, en Uruguay más del 96 por ciento de la población cuenta con acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas, frente a menos de la mitad de la población en Bolivia (46 por ciento) y casi la cuarta parte (24 por ciento) en Haití. Aproximadamente 37 millones de personas carecen de acceso a agua potable, y casi 110 millones no tienen acceso a saneamiento. Los países con el menor acceso al agua potable de América Latina son: Haití, República Dominicana, Nicaragua, Ecuador, Perú y Bolivia”* (El País, 2015).

Yendo al contexto peruano, según el último informe publicado por INEI en marzo del 2018, el Perú presenta una cobertura de agua para consumo humano proveniente de red pública (dentro de la vivienda, fuera de la vivienda, pero dentro del edificio o pión de uso público) de 89%. Este porcentaje logrado se divide en 94% en área urbana y 72% del área rural (INEI, 2018).

Por otro lado, el Gobierno actual ha implementado una nueva Política Nacional de Saneamiento que acuña como objetivos la cobertura, calidad y sostenibilidad de los servicios de saneamiento (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017).

Con esta planificación se busca que para el 2021 las zonas rurales tengan un 84% de acceso básico a agua mejorada. Otro de los puntos que la administración enfatiza es incrementar el tratamiento de aguas residuales que actualmente solo representa el 15%, vertiendo la mayoría restante a los ríos, lagos o directamente al mar (Diario Correo, 2017).

Ítem más: en 2016, la financiación de los proyectos de parte del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) al Gobierno Peruano ascendió a US\$ 1,500 millones, de los cuales el 20% estuvo destinado a proyectos de agua y saneamiento. A esto se le sumaron otros US\$ 100 millones del gobierno español, por lo que el monto en aquel año fue de US\$ 400 millones para este tipo de proyectos.

Si bien el progreso es notable tanto en Perú como en Latinoamérica y el mundo en general, aún no es suficiente; todavía hay un enorme derrotero por recorrer para poder llevar agua de buena calidad a todas las personas en el globo. A saber.

En el caso peruano, por ejemplo, especialistas apuntan a una “paradoja” de la distribución del agua en el Perú, debido a que en la costa vive el 63% de la población, pero solo existe el 2% del total de agua dulce disponible. En tanto, la selva, con el 10% de la población, tiene una disponibilidad de 97% de agua dulce del país (Gestión, 2016).

Esto trae consigo varias dificultades para un acceso fácil, cómodo y seguro. Solo en la capital, más de 700 mil personas no cuentan con una conexión domiciliaria de agua potable, y a nivel nacional urbano se encuentran en la misma situación más de 2.7 millones (Sunass, 2015). Y, aunque el promedio de la continuidad del servicio de agua es de 18 horas, gran parte de las personas que sí tienen (una conexión domiciliaria), sufren el desabastecimiento paulatino a lo largo del día, que en 16% de los hogares solo la reciben de una a cinco horas diarias (El Comercio, 2015).

Si a esto se le suma que, según una encuesta del Instituto Integración, realizada en 19 de los 24 departamentos del Perú, el 30% cree que recibe agua poco o nada saludable. Y no se equivocan del todo: datos muestran que el 30 % de los hogares del sector urbano recibe agua sin el tratamiento adecuado de cloro, mientras que el 20 % de las tuberías de agua ya cumplió su ciclo de uso. Esto se corrobora al analizar que el agua que llega al domicilio es todavía apta, pero se contamina dentro del predio (El Comercio, 2015).

Los expertos señalan que, por ejemplo, en el ámbito urbano de Lima, cerca del 55% de la población consume agua de calidad, mientras que en la zona rural es solo el 1.5%. Si esto pasa en la capital la cual se encuentra en la costa, ¿qué se espera en la sierra y selva?

El panorama se agrava cuando ocurren catástrofes como desastres naturales o siniestros. A decir del año pasado, 2017, en el cual el fenómeno de El Niño Costero azotó al país -sobre todo al norte- las interrupciones se hicieron mucho más visibles aún. Más de mitad de las conexiones de las conexiones de agua potable y alcantarillado en Tumbes y Piura se vieron afectadas, y en Tumbes y La Libertad las lluvias dañaron casi la tercera parte de la infraestructura (El Comercio, 2017). Véase el apartado 1.2.

Como se intentó exponer más arriba, el problema no es el agua, sino más bien la infraestructura necesaria para hacerla accesible a la población. Para tener una idea de lo que acontece en el departamento de Piura, vea el lector lo que se precisa a continuación.

### 1.1.2 Situación del agua en Piura

Para bien -o para mal- el caluroso, seco y soleado departamento de Piura (al menos en la costa) abraza el mismo patrón global y nacional: las cosas han mejorado, pero todavía hay -como diría Vallejo- muchísimo qué hacer.

Piura se ubica en la vigésima posición (véase la figura 5) respecto de la población que consume agua proveniente de red pública en todo el Perú, con un porcentaje que no supera la media de 89.4% (el promedio piurano es 85.9%). Además, la tendencia supone que en la zona rural (no se encontraron datos) la cobertura sea mucho menor.

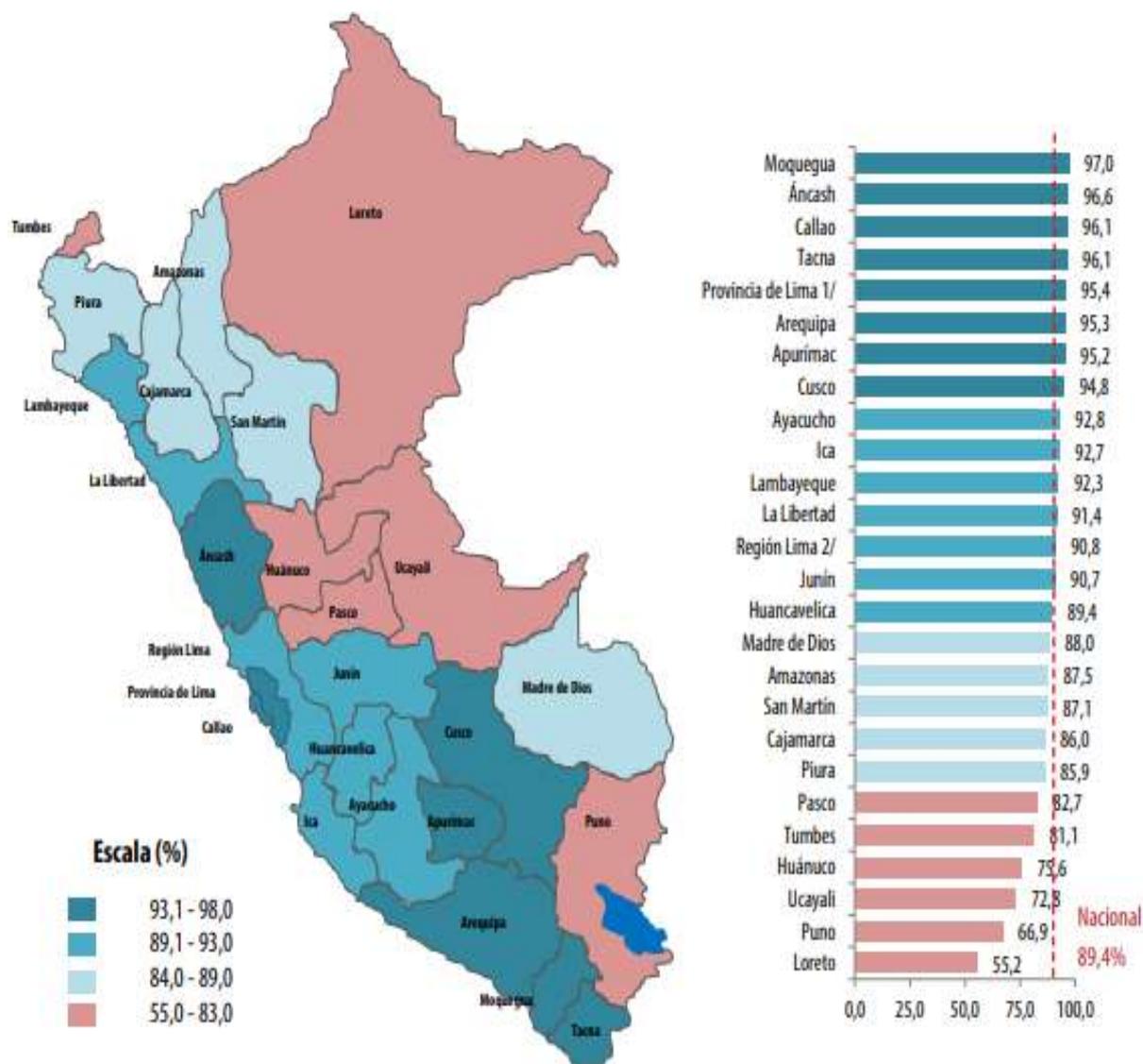


Figura 5: Población que consume agua proveniente de red pública por departamento.  
Fuente: (INEI, 2018)

La meta de alcanzar una cobertura completa es el primer paso para dar este derecho a los pobladores, pero a medida que las fuentes de donde se extrae el agua sean más contaminadas como en los casos de la costa peruana, los estándares deben irse haciendo más exigentes.

En cuanto a la calidad del agua, Piura en comparación con las otras regiones del Perú queda otra vez en este aspecto en una pésima decimosexta posición. El agua de mejor cloración pertenece a la provincia Constitucional del Callao 74,6%, le sigue los departamentos de Tacna (72,7%), Provincia de Lima (64,0%), Moquegua (60,6%), Madre de Dios (54,4%) y Arequipa (47,6%). Por otro lado, los departamentos con menor cobertura son Apurímac, Lambayeque, Cajamarca, Amazonas y Pasco, entre otros (INEI, 2018).

## 1.2 El fenómeno El Niño

Un evento desastroso afectó el norte del Perú en 2017 causando graves daños que contribuyeron al desabastecimiento de agua potable; por lo que es preciso adentrar a describirlo.

En 1867, Antonio Raimondi, sufriendo las inclemencias del temporal en Magdalena de Cao, al noroeste de Trujillo, dijo:

*“[...] que fue tan copioso que dio lugar a que el agua corriese por las calles, fenómeno rarísimo en la costa del Perú... sea lo que fuere, lo cierto es que este fenómeno fue seguido de un cambio de la dirección de la corriente marina, de una elevación en la temperatura del mar, de una mortandad en los peces cuyos cadáveres eran arrojados en cantidad a la playa [...]”* (Ministerio del Ambiente, 2014)

Para los países del litoral del océano pacífico como Perú y Ecuador, “El Niño” está asociado al incremento de la temperatura superficial del agua del mar (TSM) que trae como primer efecto la aparición de lluvias intensas (Ministerio del Ambiente, 2014).

El estudio moderno divide el Pacífico Ecuatorial central en cuatro cuadrantes que se limitan de la siguiente forma, siendo los más estudiados los sectores Niño 3 y Niño 3.4 (véase figura 6.)

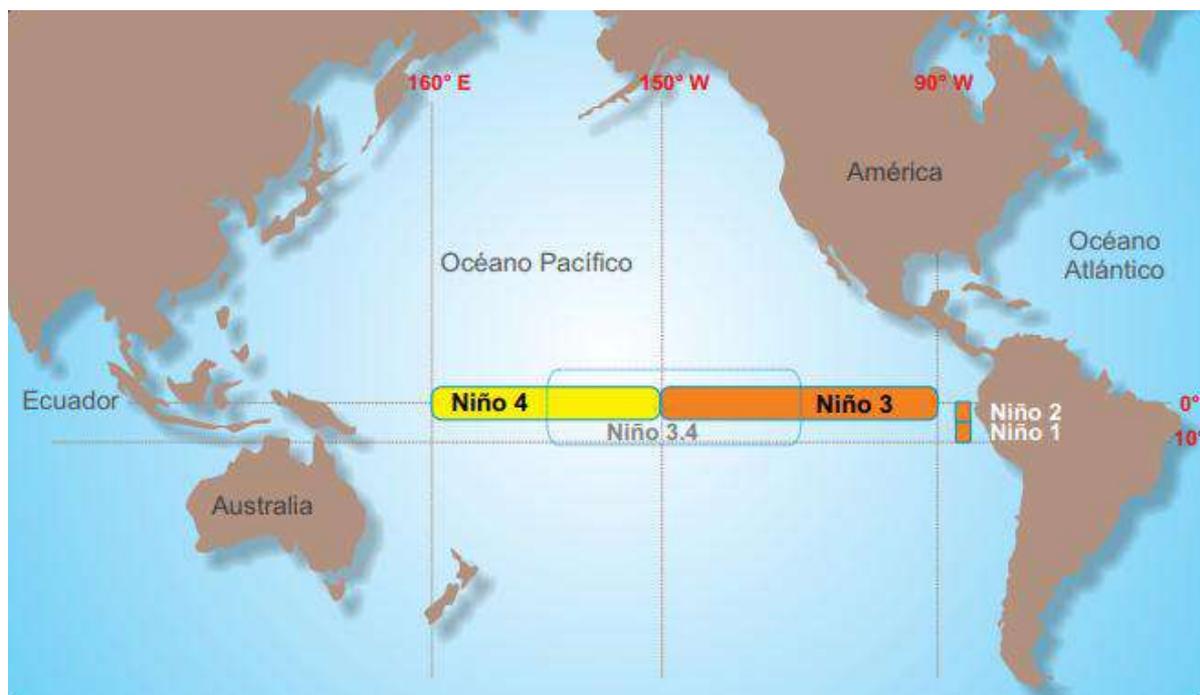


Figura 6. Cuadrantes de estudio del FEN.

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2014)

El crecimiento de las regiones norteñas de Perú desde hace más de un siglo se ha desarrollado sin prestar atención a esta necesidad de convivir con los desastres naturales. Sin embargo, la arqueología ha demostrado la significancia de estos desastres en la migración y cosmovisión de las culturas precolombinas. El periodo moderno para quienes estudian la

climatología comienza en 1925, cuando un ‘Meganiño’ destruyó la costa norte peruana (Vila, 2017).

Un hito en la observación del clima recién llegaría al país en 1965, cuando se instalaron las estaciones meteorológicas e hidrológicas, que permiten, registrar e ir conociendo desde entonces más sobre el comportamiento del fenómeno (Vila, 2017).

Desde entonces los episodios que se presentaron corresponden a los años 1982-1983, del 1997-1998 y el último el 2017; el primero casi tan fuerte como el del 1925 y que damnificó a un millón trescientas personas con un saldo de 500 fallecidos y 3 mil millones de dólares en pérdidas. Y el segundo con un saldo de 3 mil millones y medio de dólares en pérdidas materiales y 366 fallecidos (Vila, 2017).

El Niño costero 2017 es catalogado por la Comisión multisectorial encargada del estudio nacional del fenómeno “El Niño” (2017), instalada por decreto supremo, como un evento climático extremo, posicionado como el tercer más intenso luego de los dos ya mencionados. Su veredicto es claro al afirmar que queda aún mucho por conocer y comprender sobre los mecanismos físicos que lo modulan para mejorar su predicción mencionando también una mayor inversión en investigación

Los últimos meses del año 2016 advirtieron con una intensa sequía y altas temperaturas el fenómeno del siguiente año (se alcanzaron un pico de 39°C en Chulucanas, llegando a 37.4°C en Piura, con una sensación térmica de 40°C) y hubo variaciones en la TSM (véase figura 7). A estos acontecimientos, le sucedieron abruptamente copiosas lluvias al terminar enero, que dejaron un saldo de 800,000 personas entre damnificadas y afectadas e infraestructura vial, sanitaria y educativa inundadas (El Comercio, 2017).

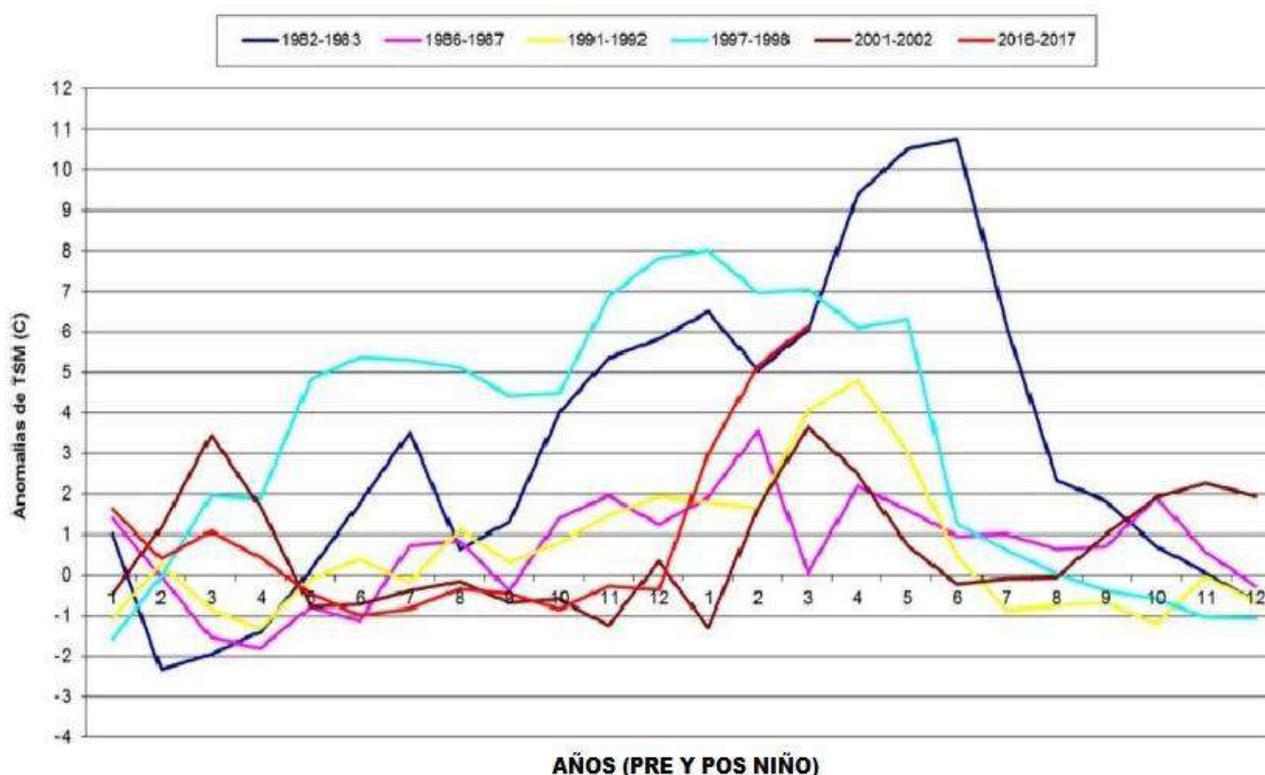


Figura 7. Anomalía actual de la TSM en Paita con al de eventos de El Niño pasados.

Fuente: (Belletich, La anomalía promedio de la temperatura del mar sigue en 6 grados, 2017)

Evaluando los efectos que atañen a esta investigación, las circunstancias descritas fueron catalizadores para una variedad de problemas que son esquematizados por la Organización Panamericana de la Salud (2002) en la figura, realizado como documento sumario del impacto del FEN 1998-1999 en Ecuador.

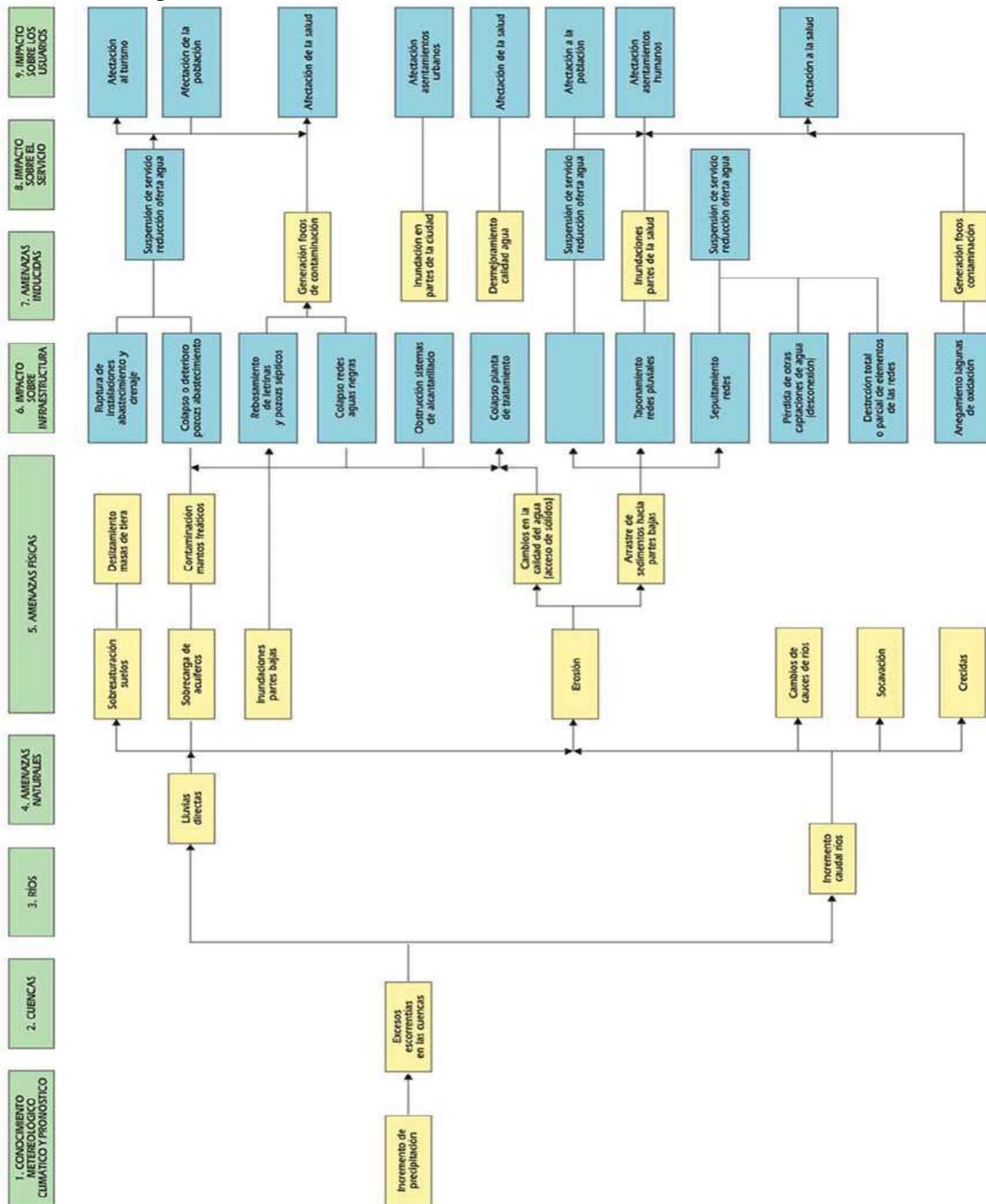


Figura 8. Esquema de perjuicios a efecto del FEN en Ecuador  
 Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2002)

### 1.2.1 Consecuencias en la infraestructura pública

La ciudad de Piura pagó el precio de carecer de un sistema de drenaje pues en algunas zonas los desagües se colmaron debido a que los pobladores y personal de limpieza de la municipalidad arrojaban aguas de lluvias hacia los buzones (esta incluía en su arrastre lodo y otros residuos sólidos), lo que provocaba que el sistema de alcantarillado se deteriorara, colapsara y al final generara afloramientos de aguas servidas en las vías públicas (EPS Grau SA, 2017).

En la figura 9 se puede apreciar una avenida del centro de la ciudad totalmente inundada, en un comentario brindado en una revista universitaria, el ingeniero argentino Gerardo Botasso comentó:

*“Los materiales, las tecnologías y el proceso constructivo utilizado son inadecuados. Asimismo, se aprecia un diseño muy malo o nulidad de diseño tecnológico; y no existe control de calidad”* (Belletich, 2017).



Figura 9. Avenida principal de la ciudad inundada.

Fuente: (Belletich, 2017)

### 1.2.2 Consecuencias en la salud pública

Para las regiones de Piura y Tumbes el dengue se presenta como un problema constante en los veranos. Nuestra población se ve expuesta a este mal debido a que debe almacenar agua para su consumo básico, lo que lleva a los ciudadanos a incurrir en formas poco saludables de almacenaje (Passport Health Global, 2018). Este contexto se recrudeció hasta un punto crítico, y solicitó la acción urgente de las autoridades sanitarias.

El Centro nacional de epidemiología, prevención y control de enfermedades, del Ministerio de Salud peruano publicó en 2018 un resumen estadístico de su labor. Como se puede observar en la figura inmediata, el periodo de lluvias del FEN y sus meses siguientes desencadenaron el mayor brote de casos de dengue de los últimos años.

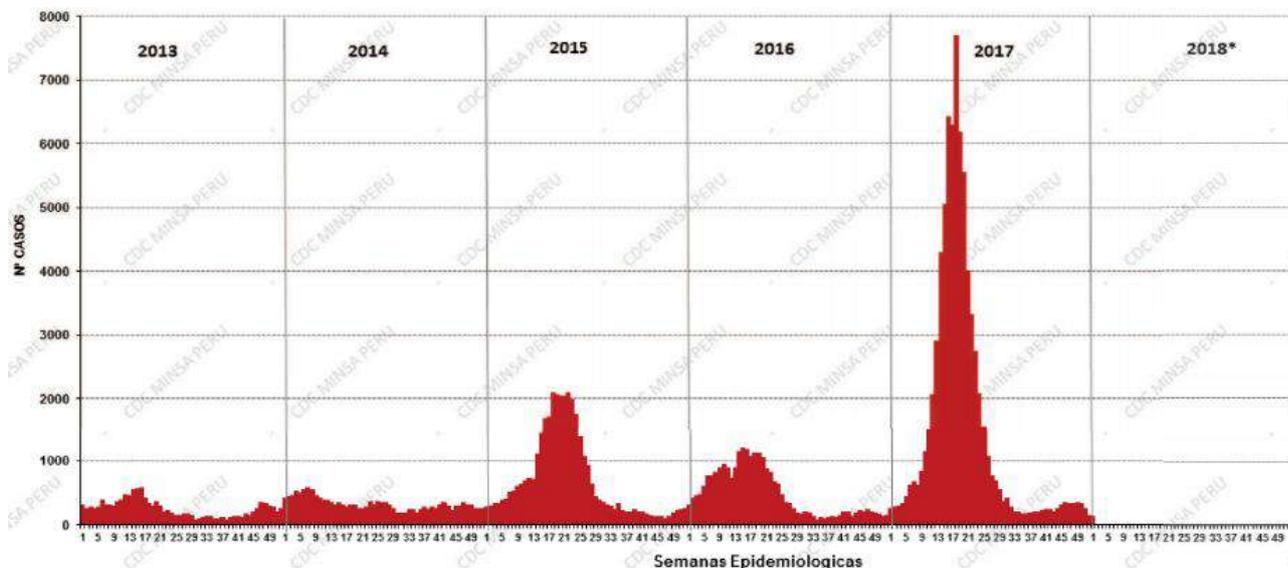


Figura 10. Número de casos de dengue 2013 – Actualidad.  
 Fuente: (Ministerio de Salud, 2018)

Considerando el número de casos reportados por departamentos, el 78.22% de ellos se focalizan en Madre de Dios, Ucayali, Loreto, Amazonas y Piura. Siendo este último quien en último año reportó una cifra astronómica que sumó 48 675 casos, ocurriendo el punto máximo en la segunda semana de abril con 7 722 incidencias.

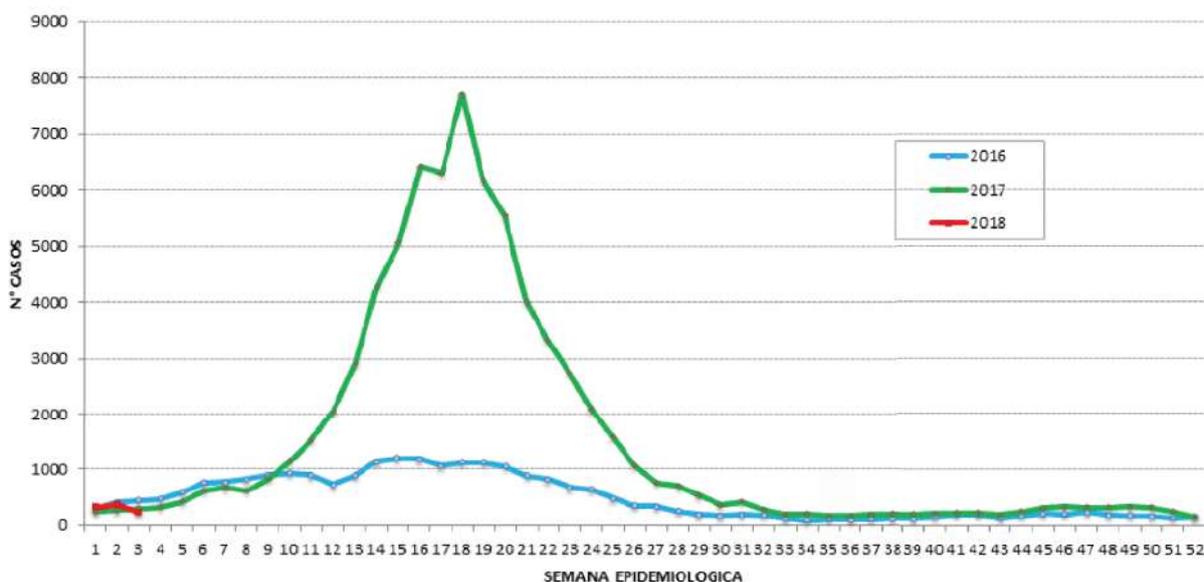


Figura 11. Número de casos de dengue por semana epidemiológica.  
 Fuente: (Ministerio de Salud, 2018)

Las recomendaciones para la prevención sugieren evitar, o cambiar el agua superficial para consumo (Perú 21, 2017). Las lluvias en zonas como Catacaos o Cura Mori dejaron a su paso enormes charcos imposibles de drenar en medio de la ciudad. En otros lugares como Sullana, los servicios de agua potable eran recortados incrementando el almacenaje del recurso.

Finalmente, el saldo al final de abril del 2017, fue de más de 40 mil damnificados, cerca de 35 mil afectados, 16 fallecidos, 39 heridos y 3 desaparecidos (INDECI, 2018).

### 1.3 ¿Qué hacer? o ¿qué hacen?

Para responder esta pregunta primero se debe enfatizar la realidad más próxima, esto es Piura: se tiene que resumir las principales características antes expuestas enfocadas en el contexto peruano. A saber:

- Existen políticas y proyectos nacionales para llegar a una cobertura integral del acceso al agua potable y alcantarillado;
- existe un alto porcentaje de cobertura de agua potable en el país: 89%, más al alto en zonas urbanas. En Piura es del 86%;
- solo el 15% de las aguas residuales se trata; lo que motiva la contaminación por el vertimiento de ésta en los ríos, lagos y mares;
- el 63% de la población habita en la costa donde solo se encuentra el 2% del total de agua en el Perú;
- 2.7 millones de personas carecen de conexión domiciliaria de agua potable;
- el promedio de la continuidad del servicio de agua es de 18 horas;
- 16% de hogares solo se recibe agua de una a cinco horas diarias;
- el 55% de la población de la zona urbana de Lima consume agua de calidad, en la zona rural solo el 1.5%;
- Piura no tiene una buena cloración en el agua potable, o lo que es lo mismo, el agua no es de buena calidad;
- el 30% de las personas creen que el agua que reciben no es salubre; y
- por último, toda la región (y buena parte de la costa) se vio afectada por el desabastecimiento de agua en los meses del Niño costero.

Con estos datos (unos mejores, otros peores y unos más inaceptables), la pregunta que surge inmediatamente es qué hacen los peruanos/piuranos para satisfacer sus necesidades básicas del agua potable. La respuesta está a la vuelta de la esquina, más cerca y más habitual que nunca.

Con la prosperidad económica de los últimos 30 años y el aumento adquisitivo que esto supuso en el peruano de a pie, no tuvieron más alternativa que comprarla. Los más suertudos, embotelladas, y los menos, en cisternas o mediante los “aguateros” que, aunque informales, representan la respuesta a un menester y clamor fundamental.

Incluso algunas empresas reportaban en los meses de inundaciones del pasado año, que los consumidores -sobre todo de mayores ingresos- adquirieron hasta 20 botellones para sus

familias en autoservicios, generando desabastecimiento en varios establecimientos comerciales (Gestión, 2017). Y ahora, más de un año después, que las cosas han vuelto relativamente a la normalidad, los usuarios continúan recurriendo a otras alternativas para satisfacer sus necesidades de consumo hídrico

No obstante, ante el escaso control por parte de las autoridades competentes en el rubro, las empresas de agua embotellada que no cumplen el mínimo de calidad exigido han proliferado el mercado con una oferta deliberadamente engañosa y barata, que, sumado al desmesurado impacto ambiental, generan para las “buenas empresas” una competencia desleal con la que es prácticamente imposible luchar. Este tema puntual se tocará más adelante.

### 1.3.1 La inversión como promotor de proyectos de agua potable

La mirada de las organizaciones no ha estado opacada ante la evidente problemática nacional. Si bien, el país ha mejorado, todavía quedan problemas grandes que atender. Un ejemplo de ello, es que el Gobierno junto algunos bancos internacionales y organizaciones independientes, tienen en su agenda temas relacionados al acceso al agua y alcantarillado entre sus prioridades.

Estos proyectos de agua cobran mucha relevancia por la cantidad de factores y agentes en juego, donde están involucradas todas las instancias de gobierno desde el nacional hasta el local (Autoridad Nacional del Agua, 2018). Estos recursos financieros destinados son utilizados para distintas acciones y planes relacionados a:

- Acciones de conservación y protección de recursos hídricos.
- Cubrir servicios de entrega, sea el caso de agua potable o de irrigación.
- Cubrir acciones de tratamiento de aguas residuales.
- Inversiones para balancear la oferta y la demanda en términos tanto de espacio como de tiempo.
- Financiar bienes públicos tales como la protección de la gente contra eventos extremos (inundaciones, sequías).
- Para cubrir el financiamiento de los Planes de Gestión de Recursos Hídricos de Cuencas en aquellas donde se dispone de este importante instrumento de gestión.

A continuación, se expondrán brevemente algunos de los mecanismos financieros del Estado referidos a este tipo de proyectos:

#### **Obras por Impuestos.-**

Una financiación puesta en ejercicio hace varios años es el mecanismo de Obras por Impuestos (OxI). Esta opción tiene cada vez mejor aceptación debido al beneficio evidente para ambas partes. Los gobiernos regionales aceleran la ejecución de proyectos con la capacidad de gerencia privada y la empresa (generalmente grande o mediana) logra reducir legalmente sus impuestos mejorando al mismo tiempo su reputación con el público ofreciendo buen trabajo (Autoridad Nacional del Agua, 2018).

### **Fondo para la Inclusión Económica en Zonas Rurales – FONIE.-**

El Fondo para la Inclusión Económica en Zonas Rurales (FONIE) es un importante instrumento de la Estrategia de Desarrollo e Inclusión Social titulado “Crecer para Incluir”, que permitirá dotar de agua y saneamiento, caminos vecinales, electrificación y telecomunicaciones a millones de peruanos que viven en los distritos más pobres de nuestro país, procurando que las obras lleguen de manera simultánea (Autoridad Nacional del Agua, 2018).

### **Fondo de Promoción a la Inversión Pública, Regional y Local – FONIPREL.-**

El Fondo de Promoción a la Inversión Pública Regional y Local (FONIPREL), es un fondo concursable, cuyo objetivo principal es cofinanciar Proyectos de Inversión Pública (PIP) y estudios de pre inversión orientados a reducir las brechas en la provisión de los servicios e infraestructura básica, que tengan el mayor impacto posible en la reducción de la pobreza y la pobreza extrema en el país. (Autoridad Nacional del Agua, 2018).

Las fuentes de financiamiento antes mencionadas están diseñadas para ser articuladas con los organismos locales y de esta forma con toda la estructura regional y nacional de gobierno. Sin embargo, es preocupante la ineficiencia que acompaña el desempeño de estos proyectos.

En 2016, el titular del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, comentó que de los 11 600 millones asignados a proyectos de este tipo solo se invirtieron un 57%, principalmente debido a que el 55% de estos proyectos presenta problemas en la calidad de los expedientes técnicos (El Comercio, 2016).

Todo esto intensifica los problema presentados en el punto anterior, lo cual obliga a los usuarios a recurrir a otras alternativas para satisfacer sus necesidades, o sea, comprar agua embotellada. No obstante, ante el escaso control por parte de las autoridades competentes, las empresas de agua embotellada que no cumplen el mínimo de calidad exigido han proliferado. Esta situación genera competencia desleal, pues se trata de empresas que cobran precios muy bajos y se aprovechan de la sensibilidad al precio de los consumidores.

Entonces, ¿qué pasaría si una persona o una pequeña empresa decide poner en marcha una solución al agua potable?

Para ello existen fuentes de financiamiento alternativas. El Ministerio de la Producción creó el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (Innovate Perú) en 2014 como Unidad Ejecutora del Ministerio de la Producción, con autonomía económica, administrativa, financiera y técnica (Ministerio de la Producción, s.f).

Este programa busca incrementar la productividad empresarial a través del fortalecimiento de los actores del ecosistema de la innovación (empresas, emprendedores y entidades de soporte) y facilitar la interrelación entre ellos con el

objetivo de promover el desarrollo de soluciones innovadoras a problemas sociales específicos a través de proyectos de I+D+i (Ministerio de la Producción, s.f).

Los fondos que propone Innóvate Perú se obtienen en convocatorias específicas en las que se valora con prioridad las soluciones sociales y sostenibles, basándose - como el nombre indica- en la innovación (Ministerio de la Producción, 2017). Estos son alcanzables a emprendedores, pequeñas empresas e instituciones de conocimiento que deseen desarrollar proyectos en beneficio del país, sobre todo en sectores más urgentes, como el del agua potable.

Es precisamente en uno de estos fondos donde esta investigación tuvo cabida, en conjunto con una empresa distribuidora de agua y una universidad local, para desarrollar un nuevo prototipo de potabilización de agua.

## Capítulo 2

### Marco Teórico

En el segundo capítulo se abordan, primero, algunos términos y definiciones relevantes; luego, el proceso de potabilización de agua; y, más adelante, se describen casos exitosos de plantas de tratamiento rápido de agua; y, finalmente, el marco normativo que regula este rubro.

#### 2.1 Términos y definiciones relevantes

A continuación se explicarán las definiciones de algunos términos que el autor considera importantes. Asimismo, se abarcarán diferencias y actualizaciones del uso de los mismos.

##### 2.1.1 Agua potable, agua de mesa y agua natural

Existen algunas diferencias entre los términos más comunes asociados a la comercialización de agua, lo cuales se expresan de forma de indiscriminada muchas de las veces.

El agua de mesa no necesariamente es de origen natural. Es una mezcla de agua potable y/o agua mineral y agua salada, y puede contener sales minerales como suplemento. Por ejemplo, el cloruro de sodio, cloruro de calcio, además de carbonato de sodio y ácido carbónico.

Debido a que el agua de mesa no está vinculada a una fuente específica, esta puede ser embotellada en cualquier lugar. También suele ser vendida a granel, o en bidones dispensadores. Ésta a diferencia del agua mineral o de manantial, no necesita una aprobación especial de parte de las autoridades (Gerolsteiner, 2018).

La denominación *spring*, por otro lado, es como el idioma inglés llama al agua de manantial. Este tipo de agua se obtiene de depósitos subterráneos y como el agua mineral debe ser embotellada directamente en el lugar de extracción, no tiene mayores exigencias que las que se aplica al agua potable.

Solo el agua mineral natural, muy popular en Alemania (con un consumo de 135 litros por habitante) requiere un permiso especial para su venta. El origen de esta agua también está en depósitos subterráneos los cuales son protegidos de la polución. Su nivel natural de mineralización es constante y la hace una opción nutricionalmente beneficiosa (Gerolsteiner, 2018).

### 2.1.2 Sobre las sustancias más usadas

En cuanto lo referido al proceso de potabilización que se verá en el apartado 2.4., se comentan lo siguiente.

Solo tres formas de tratamiento están permitidas para embotellar el agua: *De-ironed*, desulfuración y la extracción de ácido carbónico, y posterior adición de dióxido de carbono (Gerolsteiner, 2018).

El término *de-ironed* (quitar hierro) significa que el hierro es extraído del agua mineral y no del cuerpo del consumidor por efecto de beberla, como es erróneamente concebido. El contenido de hierro de forma natural en muchas aguas minerales es extraído por métodos naturales, como la aireación y separación por filtros de arena. El hierro se solidifica por el contacto con el oxígeno, formándose en el agua pequeñas escamas de color rojo. Debido a estas razones estéticas es que deben ser extraídos manteniendo los reglamentos tanto para el agua mineral como de mesa. Luego de este proceso, la calidad del agua no se ve afectada en ningún aspecto. Desde el 2004, las legislaciones no requieren a las empresas señalar que se ha realizado este proceso en sus etiquetas.

El término *de-sulfurized* (quitar azufre) también merece una aclaración. Debido a que un alto contenido de azufre afectaría el olor y sabor del agua, el azufre puede quitarse del agua por simple aireación antes de ser embotellada. El agua que presenta usualmente compuestos de azufre proviene de rocas de yeso. Éste suele señalar como contenido de sulfato en el etiquetado (Gerolsteiner, 2018).

Por otro lado, el uso del ácido carbónico es bastante común. El ácido carbónico es un ácido débil que se forma de la mezcla del dióxido de carbono y agua. Se encuentra en la naturaleza procedente de las formaciones volcánicas. Luego al subir a la superficie impregna el agua de los manantiales, que a su vez luego se recoge como agua mineral natural.

El ácido carbónico aumenta la capacidad del agua de lixiviar minerales de la roca. El ácido carbónico en la botella no solo proporciona al agua mineral su sabor típicamente refrescante, sino que también evita que se apague naturalmente. El ácido carbónico tiene un efecto secundario conservador y mata las bacterias, que precisa su uso en el agua de mesa (Gerolsteiner, 2018).

Además del natural descrito antes, hay opciones en la industria como, por ejemplo, el ácido carbónico industrial. Este ácido se produce al quemar combustibles fósiles durante la combustión de la cal o durante la síntesis de amoníaco. También se obtiene a través de la fermentación, y es un subproducto del proceso de fermentación biológica para producir alcohol.

## 2.2 Tecnologías de potabilización

Para cumplir con los objetivos esbozados al inicio de este capítulo, es conveniente hablar sobre las tecnologías de potabilización de agua para consumo humano vigentes. Tarea que ahora se expondrá brevemente.

La calidad del recurso hídrico usado para las funciones domésticas y consumo humano siempre ha preocupado al hombre, y hasta muy recientemente su conservación solo precisaba tener especial cuidado en sus características perceptibles por los sentidos humanos; o lo que es lo mismo, solo que con otras palabras, en sus cualidades organolépticas y estéticas, que se refieren, por ejemplo, a la turbidez, al buen olor, sabor, etc.

Más adelante, el desarrollo sanitario llegó junto a los avances de la medicina. En 1854, el médico inglés John Snow logró identificar, por primera vez, agua contaminada con materias fecales en Londres, poniendo así un alto, un pare, una frenada, a un brote de cólera (BBC, 2014). A partir de allí, la investigación se acrecentó en el campo y ha continuado hasta nuestros días, siempre intentando desarrollar tecnologías más eficientes que abaraten el proceso.

Potabilizar significa convertir el agua “cruda” en potable, o sea, apta para el consumo humano. Como se puede suponer, para diseñar el tipo de tratamiento necesario, lo primero es determinar la calidad del agua en la fuente de abastecimiento. La fuente y las circunstancias en el sitio definirán la calidad de dicha fuente. Se ha demostrado que, en general, el agua subterránea es de mejor calidad y requiere menos tratamiento, pues no trae sedimentos suspendidos; mientras que el agua superficial (como la de los ríos y lagos) requiere de tratamientos diferentes y más complejos para la remoción de esos sólidos y demás (Ascencio, 2005).

De acuerdo con Ascencio (2005, pág. 64), existen diversos tratamientos para la potabilización de agua, ya sean físicos, químicos, biológicos y combinaciones de ellos. Todos los tratamientos tienen ventajas y limitaciones que son los que definen sus campos de aplicación. La figura 12 muestra el diagrama del proceso de tratamiento de potabilización de agua.



Figura 12: Tratamiento de potabilización de agua.

Fuente: (Ascencio, 2005)

Como se explicó párrafos anteriores, el primer paso es determinar la calidad del agua de la fuente proveedora para diseñar el proceso más conveniente. Luego, vienen los mecanismos de propiamente de la potabilización, los mismos que se detallan en la tabla 1 al final del capítulo:

### a.- Filtración convencional

El mecanismo de filtración convencional, es en cual el agua recibe el primer tratamiento al salir de la fuente de abastecimiento.

Ascencio (2005, págs. 64-66) menciona al respecto que en el caso de que la fuente de agua sea subterránea, el suelo, a través del cual pasa, actúa como un filtro natural que remueve la mayor parte de los sedimentos suspendidos venidos con la lluvia.

Para el caso de las aguas superficiales, es necesaria la filtración convencional que puede ser efectuada como primer paso en el tratamiento o hasta después de una serie de procesos. Los métodos de filtración pueden ser a través de filtros de arena rápidos o lentos, filtros de tierras diatomáceas, filtración directa o filtración empacada.

Hablando de la filtración convencional, Ascencio (2005, pág. 64) señala lo siguiente:

*“Los procesos convencionales de filtración están precedidos por coagulación, floculación y sedimentación. Sin embargo, puede ser que el agua se someta a filtración directamente después de la coagulación y floculación y que los flóculos sean removidos directamente por los filtros. La filtración es una combinación de procesos químicos y físicos. La filtración mecánica remueve las partículas suspendidas porque las atrapa entre los granos del medio filtrante (por ejemplo, arena). La adhesión juega un papel importante dado que parte del material suspendido se adherirá a la superficie de los granos filtrantes o a material previamente depositado”* (Ascencio, 2005).

La *coagulación*, *floculación* y *sedimentación* son términos fisicoquímicos que se explicarán a continuación:

- La *coagulación* se puede explicar como la aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes; de ahí viene el nombre.
- La *floculación*, de flóculos, es considerado un proceso siguiente al de la coagulación. Cardenas (2000) señala que la floculación es el proceso que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean, al juntarse, aglomerados mayores, los cuales son capaces de sedimentar.
- Se entiende por *sedimentación* al proceso de remoción de partículas en suspensión de un fluido por efecto de gravedad en un determinado intervalo de tiempo. Promover las condiciones de reposo para remoción o caída gravitacional de las partículas es el objetivo del diseño de sedimentadores o decantadores (Molero, 2008).

Actualmente, en el mercado existen diferentes sistemas de filtración convencional, a saber: filtros de arena, filtros de tierras diatomáceas, filtros directos, filtros empacados, filtros de membrana y filtros de cartuchos (Ascencio, 2005) (véase la tabla 1).

### **b.- Desinfección**

Debido a que la presencia de microorganismos patógenos puede generar infecciones y enfermedades agudas, se otorga mucho énfasis en la desinfección del agua.

La desinfección es el proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua. Existen dos medios por los cuales se puede realizar una desinfección: la desinfección física, que consiste en hervir el agua durante 15 o 20 minutos; y la desinfección química, con el uso de agentes químicos que destruyen los microorganismos, siendo el más usado el cloro (Hernandez & Corredor, 2017).

Ascencio (2005, pág. 66) comenta al respecto de la desinfección:

*“La desinfección mata o inactiva organismos causantes de enfermedades, y la efectividad de la desinfección se juzga por la capacidad de controlar a los organismos indicadores que son las bacterias coliformes totales y fecales. Estos organismos son inocuos al ser humano, pero su presencia indica que organismos patógenos pueden estar presentes o haber sobrevivido la desinfección”* (Ascencio, 2005).

Como sustancias viables para la desinfección podemos encontrar al cloro, la cloramina, el ozono, y, también, la irradiación con luz ultravioleta de baja longitud.

Con los dos procesos que acaban de ser mencionados se suele potabilizar el agua de manera convencional; sin embargo, hay otros mecanismos que pueden ser reemplazos o substitutos al tratamiento. Estas “nuevas” técnicas de potabilización se basan en la filtración mediante membranas, las cuales son eficaces, pero todavía no se hacen totalmente accesibles ni eficientes, por ende, ni baratos, para su masificación. A saber:

### **c.- Filtración por membranas**

Una buena alternativa a la filtración convencional la ofrecen los filtros de membrana que consisten en mallas hechas de materiales finos capaces de separar sustancias cuando una presión es aplicada a través de ellos. También existe una filtración por cartuchos, que consiste un proceso físico en el cual el agua se hace pasar a través de una membrana con poros de tamaño variable, que puede estar entre 0,2 y 1,0 micrómetros (Ascencio, 2005).

De acuerdo a esta autora, “la exigencia mundial de disponer de agua de mayor calidad ha favorecido el desarrollo de la tecnología de membranas, debido a que estos procesos tienen una capacidad excelente de separación de sustancias disueltas”. A la fecha se han desarrollado productos que corresponden a ultra-, nano-, micro- filtración

e hiper- filtración (mejor conocida como ósmosis inversa) (para más detalle véase la tabla 1).

Tabla 1. Tecnologías convencionales de potabilización de agua y sus limitaciones

	<b>Tecnología</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Manejo</b>	<b>Costo</b>	<b>Limitantes</b>
<b>Filtración convencional</b>	Filtros de arena	Sedimentos suspendidos, remoción media de bacterias y materia orgánica	Sencillo	Costo bajo de inversión en infraestructura y de manejo, costo elevado de terreno	Remoción de 80-90% de bacterias y 60% de materia orgánica, requiere gran superficie
	Filtros de tierras diatomáceas	Remoción de turbiedad y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión y de manejo	Útiles en caso de poca turbiedad y bajos conteos bacterianos, no retiene materia orgánica
	Filtros de carbón activado	Remoción de materia orgánica y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión y costo medio de mantenimiento	Generación de residuos, continua renovación del filtro, no remueve bacterias ni nitrato
<b>Desinfección</b>	Cloro	Desinfección	Sencillo con medidas adicionales de seguridad	Costo bajo de inversión y de mantenimiento	Generación de subproductos
	Cloramina	Desinfección	Sencillo con medidas adicionales de seguridad	Costo medio de inversión y de mantenimiento	Poder desinfectante limitado
	Ozono	Desinfección	Manejo complejo	Costo elevado de operación	Escaso poder residual
	Luz ultravioleta	Desinfección	Operación y mantenimiento sencillo	Costo medio de inversión y de operación	No previene recrecimiento, no genera poder residual
<b>Filtros de membrana</b>	Microfiltración	Remoción de sólidos disueltos y algunas especies bacterianas	Operación sencilla	Costo moderado de inversión y operación	Desperdicio de agua y descomposición de la membrana
	Ultrafiltración	Remueve virus, bacterias y materia orgánica	Manejo sencillo y posible automatización	Costo elevado de inversión y operación	Desperdicio de agua y descomposición de la membrana
	Nanofiltración	Remueve virus, bacterias y materia orgánica	Manejo sencillo y posible automatización	Costo muy elevado de inversión y operación	Desperdicio de agua y descomposición de la membrana
	Ósmosis inversa	Remueve virus, bacterias, parásitos y materia orgánica e inorgánica		Costo muy elevado de inversión y operación	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana y requiere manejo de salmuera

Fuente: (Ascencio, 2005)

## 2.3 Plantas de potabilización rápida

Las plantas de potabilización rápida son utilizadas para el tratamiento de aguas subterráneas, superficiales y de mar, para adecuar su calidad originaria a los criterios sanitarios exigidos para el consumo humano. Su utilización resulta adecuada para el abastecimiento de pequeñas poblaciones, industrias o antes situaciones de emergencia como desastres naturales (DCA News, 2018).

Debido a su pertinencia en los casos mencionados, estas suelen ocupar poco espacio y ser ensambladas para remolque, con autonomía eléctrica, y fácil mantenimiento y manejo, es decir, que tienen un consumo mínimo de reactivos (DCA News, 2018).

En cuanto al sistema que procesa el agua, las tecnologías que favorecen su brevedad se basan en etapas de filtrado usando membranas, y desinfección (DCA News, 2018).

### 2.3.1 Casos de éxito

#### 2.3.1.1 En Ecuador

La mayor difusión de noticias en habla hispana respecto a instalaciones de plantas compactas corresponde a medios ecuatorianos. Como país, su cobertura de agua potable es de 94% (2010); sin embargo, sus números en las zonas rurales caen a 88% y en las zonas rurales dispersas a 50%. Ante esta situación, las plantas compactas, se presentan como la solución para llegar a medios geográficos difíciles (Organización Mundial de la Salud - Organización Panamericana de la Salud, 2010). Es así que algunos actores, como instituciones y fabricantes, se han unido al desarrollo de estos prototipos.

Por ejemplo, la desarrolladora de plantas compactas prefabricadas para la potabilización de aguas Salher Ibérica lideró una solución técnica eficaz y de bajo coste en la implementación de una planta potabilizadora en el hospital de Malabo de Guinea Ecuatorial (Tecnoaqua, 2016). Su capacidad de producción ha sido calculada para un tratamiento de 2,5 m<sup>3</sup>/h como máximo; y, sus procesos unitarios son: captación del agua bruta de fuente superficial, oxidación / pre-cloración, tratamiento fisicoquímico, ajuste de pH, decantación lamelar y filtración multicapa y de-clorador.

Asimismo, en este año se ha producido la instalación de una planta potabilizadora instalada en Bijagual, cerca de la toma de un río. Con este proyecto se pudo abastecer a las comunidades de La Laguna, Bijagual, El Silencio, El Naranja y La Mocora. Además, se ejecutó un proyecto complementario para la comunidad de Colorado y viviendas cercanas (ElDiario.ec, 2018).



Figura 13: Planta de potabilización rápida en Bijagal

Fuente: (ElDiario.ec, 2018)

Otra experiencia ocurrió en Las Jiguas, caserío de San Plácido, que toma agua del río Mancha Grande, y recibirá el tratamiento requerido para que sea potable y de buena calidad. La financiación estuvo a cargo de La Cruz Roja Internacional, en colaboración con las autoridades locales.

Esta obra entregada por el Municipio de Quito producirá 25 litros de agua por segundo y servirá a otros pueblos cercanos como La Balsa, Santa Clara, El Mate, Juan Dama, Florestal, El Paraíso, centro de Calderón. Alajuela, Cascabel, Guasmo, Pasaje Tamarindos y El Jobo (ElDiario.ec, 2017).

### 2.3.1.2 Experiencias en Perú

El pasado mes de marzo, se culminó la instalación de una planta compacta portátil de tratamiento de agua potable, a cargo de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento (EPS) que abastece ya a los moradores del centro poblado Los Ángeles, en Moquegua (El Correo, 2016).



Figura 14: Prototipo de potabilización rápida en Moquegua

Fuente: (El Correo, 2016)

El proyecto se inauguró con un avance físico del 95% y su capacidad de producción le permitirá dotar de 10 litros por segundo de agua potable a dicho poblado (ver figura 14).

Un caso de reciente difusión presenta el trabajo de investigadores la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga (UNSCH) en colaboración con varias ONG avocadas a la democratización del agua potable; entre ellas, la USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional) y el Centro de Competencias del Agua (CCA).

Estos académicos crearon un prototipo de planta de tratamiento de agua, que baja los niveles de turbiedad, incluso para aguas ácidas producidas por la minería, que tienen una gran cantidad de arsénico, mercurio y otros metales pesados que son potencialmente dañinos no solo para el ser humano, sino que también para el medioambiente (ver figura 15).



Figura 15: Prototipo de potabilización rápida en el VRAEM  
Fuente: (Publímetro, 2018)

A pesar que no se ha procedido con la instalación, se prevé ubicar plantas de este tipo en zonas del VRAEM, donde se consume agua de mala apariencia producto de la minería ilegal (Publímetro, 2018).

Aunque el Perú se presenta como un país de gran riqueza de agua dulce, las opciones para algunos lugares de la costa con ambientes desérticos requieren abastecerse del mar, por ello el debate por su viabilidad y la inversión en su investigación está en boga pensando en el futuro de la población (Andina Noticias, 2018).

## 2.4 Marco normativo

La legislación vigente en materia de agua embotellada en nuestro país se fundamenta principalmente en tres documentos, los cuales sirven como reglamento y guía para su producción.

El primero, el decreto supremo N°007-98- SA derivado del Códex Alimentarius, destinado a reglamentar sobre la vigilancia y control sanitario de alimentos y bebidas (DIGESA, 1998) expone la exigencia de implementar el sistema HACCP en las pequeñas y microempresas dedicadas a la producción de mercancías alimentarias. Es en el artículo 58 de este documento donde se exhorta a las empresas a adoptar el sistema HACCP. En el apartado siguiente se detallan los procedimientos y exigencias que implica el sistema mencionado.

En segundo lugar, el Ministerio de Salud pública años más tarde la norma sanitaria para la Aplicación del sistema HACCP en la fabricación de alimentos y bebidas (Ministerio de Salud, 2006).

El tercer documento es el decreto supremo 031-2010 del agua denominado “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano” que vino a reemplazar los límites máximos permisibles (parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y parámetros radiactivos) de su versión anterior del año 1946.

Este nuevo reglamento extiende su alcance a señalar nuevas y mayores responsabilidades a los gobiernos regionales respecto a la vigilancia de la calidad del agua destinada al consumo humano.

En referencia a la empresa Embotelladora del Norte, esta reglamentación le denomina “Proveedor del Agua para Consumo Humano” y señala sus responsabilidades en el rango de los artículos 49 a 55. A saber (Ministerio de Salud, 2011):

- Artículo 49° sobre la definición de las características de un proveedor de agua.
- Artículo 50° sobre las obligaciones del proveedor como cumplir los requisitos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos establecidos, controlar la calidad y colaborar con el suministro de información a las entidades competentes.
- Artículo 51° sobre el uso de desinfectantes y otros insumos químicos y bioquímicos.
- Artículo 52° sobre la obligatoriedad de cumplimiento del plan de control de calidad.
- Artículo 53° sobre la presentación del plan de control de calidad a los órganos e instituciones competentes.
- Artículo 54° sobre la elaboración de un plan de contingencia.
- Artículo 55° sobre la supervisión a las comunidades del ámbito rural.

El artículo 60 menciona los parámetros microbiológicos y otros organismos que deben ser controlados en toda agua destinada para el consumo humano, estos son: bacterias coliformes totales, termotolerantes y *escherichia coli*; virus; huevos y larvas de helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos; organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépedos, rotíferos y nemátodos en todos sus estadios evolutivos; y para el caso de Bacterias Heterotróficas menos de 500 UFC/ml a 35°C (véase la tabla 2).

Tabla 2. Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Bacterias Coliformes Totales	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
E. Coli	UFC/100 mL a 44.5°C	0 (*)
Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales	UFC/100 mL a 44.5°C	0 (*)
Bacterias Heterotróficas	UFC/100 mL a 35°C	500
Huevos y larvas de Helminths, quistes y oocistos de protozoarios patógenos	N° org/L	0
Virus	UFC/mL	0
Organismos de vida libre como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estados evolutivos	N° org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(\*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples =<1.8/100 mL

Fuente: (DIGESA, 1998)

El artículo 61 por otra parte, menciona otros parámetros comunes en el estudio del agua, la tabla 3 muestra los de calidad organoléptica.

Tabla 3. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Olor	-	Aceptable
Sabor	-	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
Ph	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad (25°C)	µmho/cm	1500
Sólidos totales disueltos	mg/L	1000
Cloruros	mg Cl /L	250
Sulfatos	mg SO4/L	250
Dureza total	mg CaCO3/L	500
Amoniaco	mg N/L	1.5
Hierro	mg Fe/L	0.3
Manganeso	mg Mn/L	0.4
Aluminio	mg Al/L	0.2
Cobre	mg Cu/L	2.0
Zinc	mg Zn/L	3.0
Sodio	mg Na/L	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Fuente: (DIGESA, 1998)

#### 2.4.1 El sistema HACCP para pequeñas empresas

El Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC o HACCP, por sus siglas en inglés) es un proceso sistemático preventivo que responde a la necesidad de garantizar la inocuidad de los alimentos. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1997) el HACCP “es un

instrumento para evaluar los peligros y establecer sistemas de control que se centran en la prevención en lugar de basarse principalmente en el ensayo del producto final” (FAO, 2007).

La experiencia de la ONU apunta a que la implementación de este sistema, las empresas pequeñas se enfrentan a desafíos diferentes del resto, siendo estos muy complejos para garantizar la inocuidad de los alimentos (FAO, 2007). Su estructura define ciertas limitaciones en su alcance que se asocian al efectivo disponible, como por ejemplo que solo atienden a clientes locales, o que tienen una cuota limitada del mercado existente.

Las directrices de la FAO ponen en aviso a los gobiernos, y mencionan la importancia de conocer los desafíos que enfrentan sus MYPES, dentro de los cuales mencionan la falta de capacitación, recursos humanos, apoyo técnico y problemas financieros. De este modo se solicita una estrategia de parte del Estado para no solo exigir con multas la instalación del HACCP sino fomentar en la población (clientes) un valor real en la inocuidad al momento de elegir un producto antes de otro.

Tabla 4. Principios y directrices del HACCP

No.	Principio
1	Realizar un análisis de peligros: físicos, biológicos y químicos.
2	Determinar los puntos críticos de control (PCC). Se refiere a los espacios físicos del proceso donde se está expuesto a peligros.
3	Establecer un límite o límites críticos. Con ayuda de la estadística se calculan los valores en los que cada medida de control que acompaña a un PCC separa lo aceptable de lo que no lo es.
4	Establecer un sistema de vigilancia del control de los PCC. Esto busca tener actividades de medición y observación planificadas con el objeto de recuperar el control del proceso antes de que sea necesario rechazar el producto.
5	Establecer las medidas correctivas que han de adoptarse cuando la vigilancia indica que un determinado PCC no está controlado. Esto incluye la documentación de qué acciones corregirán la etapa a su respectiva tolerancia y qué debe hacerse con el producto dañado.
6	Establecer procedimientos de comprobación para confirmar que el Sistema de HACCP funciona eficazmente.
7	Establecer un sistema de documentación sobre todos los procedimientos y los registros apropiados para estos principios y su aplicación.

Fuente: (FAO, 1997). Elaboración propia.

Este análisis en particular se ha consolidado debido a sus fundamentos científicos y carácter sistemático. Todo sistema de HACCP es susceptible de cambios que pueden derivar de los avances en el diseño del equipo, los procedimientos de elaboración o el sector tecnológico.

Se aplica normalmente en la industria alimentaria, pero también se puede generalizar y aplicar a todo tipo de industrias que materiales a partir de alimentos, como la industria farmacéutica y cosmética.

Este mecanismo busca aislar las causales de problemas antes de que se extiendan a estancias terminales del acabado. La aplicación del sistema de HACCP puede ofrecer otras ventajas significativas, facilitar asimismo la inspección por parte de las autoridades de reglamentación, y promover el comercio internacional al aumentar la confianza en la inocuidad de los alimentos (FAO, 1997).

En general los sistemas de HACCP permiten la inserción de cambios que pueden deberse a los avances en el diseño del equipo, los procedimientos de elaboración o el sector tecnológico. Todo esto de acuerdo con los principios que se mencionan en la tabla 4, y a la secuencia lógica para su aplicación de la figura 16.

Aunque puedan parecerse y confundirse, el HACCP no es un sistema de gestión de calidad, sino un sistema de gestión de inocuidad alimentaria. Es decir, es el primer paso para la obtención del otro. El HACCP debe estar definido como premisa para la obtención de un sistema de gestión de calidad y su posterior certificación.

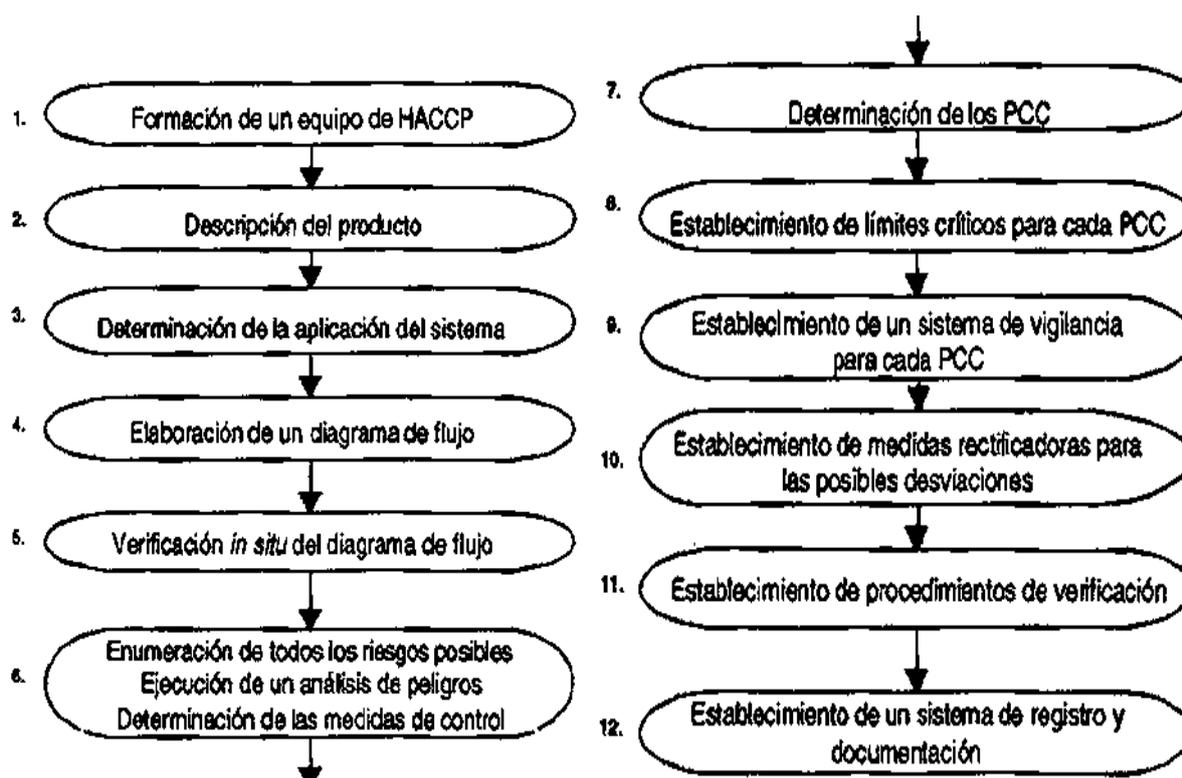


Figura 16. Secuencia lógica de aplicación de HACCP

Fuente: (FAO, 1997)

#### 2.4.2 El Codex Alimentarius

El *Codex Alimentarius* es un reglamento universal, aceptado por la Organización Mundial del Comercio como una referencia de cara a la resolución de conflictos o disputas concernientes a la seguridad alimentaria y a la protección del consumidor (FAO, 2018).

Existe además un apartado especializado para las aguas embotelladas, denominado CODEX STAN 227 – 2001 (Distinto al CODEX STAN 108 - 1981, Rev. 1 – 1997 aplicable a las aguas minerales naturales). Este documento ofrece mayores alcances en factores esenciales de composición y calidad, higiene, requisitos de etiquetado y métodos de análisis y muestreo.

## **Capítulo 3**

### **Situación actual de SPRING**

Este capítulo recoge la situación actual de la empresa que produce el agua SPRING. Se describirán la historia y los procesos referentes a las operaciones de la empresa Embotelladora del Norte E.I.R.L. para producir dicha agua de mesa.

#### **3.1 Empresa Embotelladora del Norte E.I.R.L.**

La empresa “Embotelladora Del Norte E.I.R.L.” donde se centra esta investigación. Dicha empresa y la Universidad de Piura fueron acreedoras de un fondo para el diseño y desarrollo de un prototipo innovador de potabilización de agua. La presente tesis documenta este desarrollo. Todos los datos mostrados en este apartado provienen en su mayoría de fuentes internas de la empresa, como entrevistas a trabajadores y el reporte HACCP de la compañía (Embotelladora del Norte EIRL, 2018).

La empresa está constituida desde 1989 de acuerdo a las normas vigentes en la legislación peruana. Tiene su planta de procesos en el distrito de Marcavelica de la provincia de Sullana, departamento de Piura, siendo su actividad la producción y comercialización de agua de mesa para consumo humano bajo la marca registrada "ELITE SPRING". Su cobertura alcanza todas las provincias de Piura, y oferta las presentaciones de bidón de 20 litros con o sin caño, galonera de un galón con o sin caño y hielo gourmet de mesa en presentaciones de 1, 3 y 5 kilos (Embotelladora del Norte EIRL, 2018).

Cabe mencionar que el régimen de la empresa en cuestión no la obliga a contar con el sistema HCCP; no obstante, la empresa se planteó la aplicación de este sistema voluntariamente.

##### **3.1.1 Historia**

En sus 29 años de operación ha logrado destacar dentro de la región siendo galardonada con el premio Empresa Peruana del año 2012 y el premio Los Excelentes de diario Correo en sus ediciones del 2007 al 2011. Estos premios no hacen más que reflejar el buen hacer de la empresa en sus operaciones diarias.

### 3.1.2 Dirección jerárquica de la empresa

La empresa tiene una jerarquía de 4 niveles, los cuales se representan en la figura 8. Hay que notar que el Jefe de control de la calidad al área de Aseguramiento de la calidad.

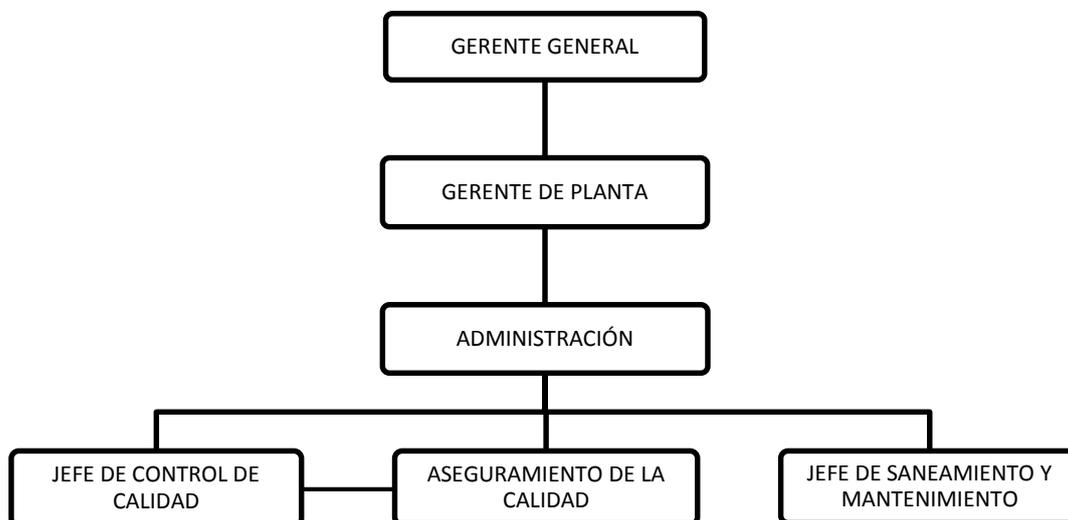


Figura 17: Organigrama de la empresa

Fuente: (Embotelladora del Norte, s.f.)

## 3.2 Proceso actual de producción del agua “Elite Spring”

El proceso de elaboración de agua de mesa "ELITE SPRING" comprende tres etapas distinguibles, orientadas a una finalidad específica y varios procesos. Las etapas generales son: la captación del agua potable procedente de la PTAP – Sullana, EPS Grau S.A., el tratamiento de turbiedad (organismos de vida libre), la desinfección del agua y su posterior envasado.

Respecto a los procesos que incluye, estos siguen la siguiente secuencia: abastecimiento de agua, sedimentación, re-potabilización, filtración, aplicación de ozono y rayos ultravioleta, envasado, encapsulado, sellado, rotulado, codificado y almacenamiento del producto final. El proceso puede ser representado en la figura 19 (Embotelladora del Norte EIRL, 2018).

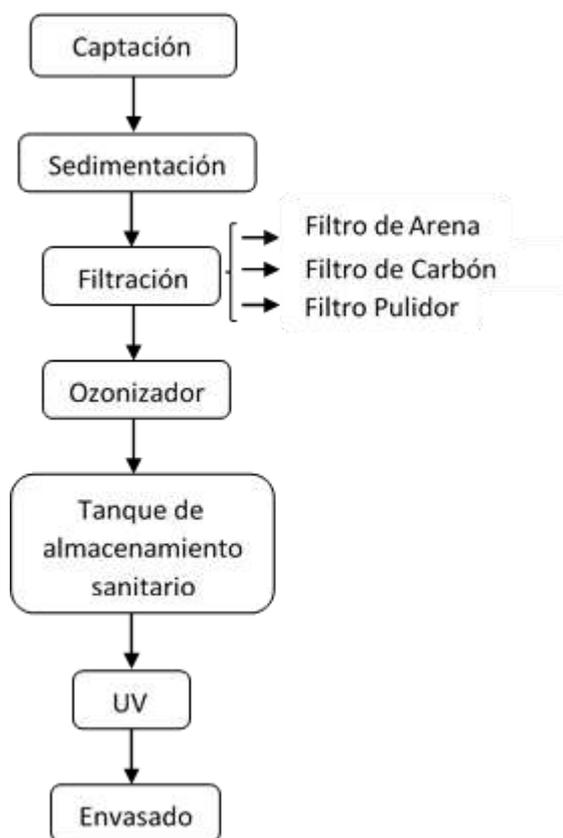


Figura 18: Diagrama esquemático del procesamiento de agua de mesa

Fuente: (Embotelladora del Norte, s.f.)

A continuación, se describen dichos procesos:

#### a) Abastecimiento de agua

“Elite Spring” comienza su proceso captando agua de la red pública, específicamente de la PTAP (Planta de tratamiento de agua potable) de Sullana. En esta zona el recurso hídrico es distribuido por la “Empresa Prestadora de Servicios Grau SA”, más conocida como EPS Grau.

Las características brindadas son favorables para el procesamiento de agua de mesa, pues cumple con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que exige la norma vigente DS 031–2010.

La recepción culmina cuando se almacena la materia prima en los dos reservorios de 2.5 metros cúbicos cada uno, existentes en la planta de la empresa.

#### b) Sedimentación

Este proceso incluye periódicamente el análisis de pruebas de jarra, el cual consiste en determinar las dosis necesarias de sustancias coagulantes y también para conocer sus velocidades de sedimentación. Esto debido a la fluctuación de la calidad del agua (SEDAPAL, 2000).

Se conoce que la PTAP de Sullana tiene capacidad para producir 540 L/s, cifra que es menor a la que requiere actualmente la cantidad de personas que abastece. La situación se presenta aún más crítica en la temporada de verano, cuando la demanda crece considerablemente y exige acelerar el proceso produciendo agua con alta turbiedad; de 5 a 8 NTU (unidades de turbiedad).

Debido a que los valores de turbiedad son mayores a los recomendados por la OMS, se tiene que realizar el proceso de sedimentación para precipitar los sólidos en suspensión, tales como mohos, arenillas, lodos, algas, óxidos y otros.

Se trabaja con sulfato de aluminio, tipo “A” abastecido por “Industrial ARIS S.A.”, empresa ubicada en Lima, siendo su presentación en granulado sólido, color blanco cristalino, y soluble en agua. Su forma molecular es  $Al_{12}(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  con un peso molecular =594,41 gramos y peso específico =1,62 (Embotelladora del Norte EIRL, 2018).

La sedimentación se inicia en el llenado de la poza de floculación, la misma que es realizada en un solo lote y con la dosificación de los reactivos (sulfato de aluminio, hipoclorito de calcio) en forma continua, mediante dosificadores que hacen que el tratamiento sea uniforme, para lograr la homogenización de la mezcla, la aglomeración de los flóculos los mismos que al adquirir mayor peso se van decantando, y evitando que la agitación rompa los flóculos. Una vez llena la poza, se deja en reposo de 2 horas, procediendo luego a evacuar la mayor parte de los flóculos decantados, antes de iniciar la filtración (Embotelladora del Norte EIRL, 2018).

### c) **Re-potabilización**

Para la re-potabilización, se utiliza hipoclorito de calcio de alta concentración (cloro seco) denominado HTH, producido ARIS INDUSTRIAL S.A. que contiene más del 65% de cloro disponible. Su utilización se debe a que es mucho más inocuo en su uso y más fácil de aplicar que el cloro elemental, que es muy volátil, corrosivo y venenoso (Embotelladora del Norte EIRL, 2018).

Luego de la sedimentación, se procede a un tratamiento de cloración. El cloro actúa como un oxidante y produce una reacción *Redox* junto con el agua, que contiene elementos reductores (hierro, manganeso, etc.).

En la dosificación se busca completar hasta 4ppm con la finalidad de eliminar microbios patógenos, bacterias, gérmenes, y otros elementos contaminantes. Esta dosificación deberá dejar un cloro residual de 2 a 4 ppm mientras dure la sedimentación, lo que permitirá evitar una nueva contaminación.

Con este paso se asegura la calidad inocua del producto. Además del cloro, en este proceso también se agrega sulfato de cobre, por la presencia de organismos de vida libre (algas) en el agua de la red, esto mayormente en épocas de lluvia. Estos organismos producen con el tiempo y efecto del sol que los bidones en su fondo presenten un color verdoso.

#### **d) Filtración**

La filtración es un método de separación física utilizado para separar sólidos a partir de fluidos (líquidos o gases) mediante la interposición de un medio permeable capaz de retener partículas sólidas que permite únicamente el paso de líquidos (TP Laboratorio Químico, 2018).

En este caso se emplean filtros de varios tipos para retener impurezas, bacterias, gérmenes, parásitos y otros elementos orgánicos que no sedimentaron en el momento de la floculación.

El primer filtro de arena (cuarzo) está diseñado especialmente para poder almacenar diferentes medidas de arena de cuarzo, de manera que pueda tener un filtrado perfecto. El flujo estándar es de 5 metros cúbicos por hora, siendo el recorrido de arriba hacia abajo, pasando primero por la arena de cuarzo de menor tamaño (1/64 o 40 mm) y luego a la de mayor tamaño.

La finalidad es retener minerales, los sólidos que no sedimentaron, bajar la turbidez, mejorar la alcalinidad. Su retención es de hasta 50 micras. Luego, como paso final, discurrirá el agua a través de las toberas instaladas, las mismas que solo permiten el paso del agua, y no la de arena de cuarzo.

En este filtro se utiliza la arena de cuarzo, por ser el mineral formado por sílice y oxígeno, de brillo vidrioso, incoloro transparente y de gran dureza, además por ser de fácil compactación que evita la formación de grietas, las mismas que originan una menor retención de flóculos.

El segundo filtro está compuesto por carbón activado vegetal y su función es la de eliminar los malos olores y sabores indeseables, especialmente el cloro, el carbón le quita cualquier olor y sabor desagradable al agua, este producto tiene alta capacidad de adsorción.

El carbón activado está debidamente compactado para evitar las grietas que impiden el cumplimiento de la función del filtro, asimismo, el ingreso del agua está debidamente distribuido, para el uso uniforme del carbón.

El último recibe el nombre de filtro pulidor y actúa con sus bujías micro porosas de 1 micra de paso que se componen de celulosa micro porosa, para obtener una brillantez natural (Embotelladora del Norte EIRL, 2018).

#### **e) Equipo de ozono**

Esta es la penúltima etapa que asegura que el agua termine libre de bacterias. Su alta capacidad de eliminación de las mismas, puede incluso limpiar el envase en que se coloque si por alguna razón involuntaria no estuviera limpia, lo cual conserva el agua fresca y natural sin contaminación alguna.

El ozono (O<sub>3</sub>) es un desinfectante más efectivo que el cloro que posee también un efecto decolorante. Sin embargo, es inestable y se descompone rápidamente en el

agua, su vida media en solución acuosa, es menor a una hora. Con esta operación finalmente se asegura la calidad sanitaria e inocuidad del agua a comercializar.

Luego de este proceso, el agua pasa a ser almacenada a un tanque pulmón de 25 m<sup>3</sup>, a la espera de las siguientes fases.

**f) Equipo de luz ultravioleta**

Este equipo actúa con 5 lámparas tipo fluorescente de 30 watts, irradiando luz ultravioleta con una capacidad de eliminación de bacterias a una velocidad de 8gpm con la seguridad de una excelente eficiencia.

En la figura 19 se representa un diagrama desde el abastecimiento y su posterior envasado. Al respecto de este último, luego de la exposición a la luz ultravioleta, viene el proceso de envasado propiamente dicho. Se explican las etapas correspondientes:

**g) Envasado**

Es el punto final del proceso de elaboración del agua de mesa. En este se reciben los envases perfectamente limpios y el agua de mesa procesada para ser envasados en bidones.

Cabe señalar que algunos de los envases son retornables y constituyen un proceso aparte de recolección, preinspección y lavado. Unos llegan luego de ser utilizados para almacenar otros líquidos, como chicha morada o chicha de jora, estos por presentar fuertes olores son separados.

El bidón no debe estar contaminado, por lo que son fregados con una solución detergente, para eliminar cualquier suciedad ya sea interna o externa mediante una máquina semiautomática. Por último, en la desinfección se inyecta agua clorada al interior.

**h) Encapsulado**

Se realiza manualmente con una tapa plástica en la que viene impresa en alto relieve la marca SPRING, para evitar cualquier tipo de adulteración del producto final.

**i) Sellado**

Para lograr la inviolabilidad de la tapa y evitar la contaminación del caño de los bidones, se coloca un sello termo-encogible en el que viene impreso con el logotipo de la marca del producto.

### j) Rotulado y codificado

Aquí se coloca un *sticker* o etiqueta con la fecha de producción y la fecha de vencimiento, para su trazabilidad. El periodo que se imprime suele contar dos meses, siendo muy poco probable que el bidón no rote en ese periodo. También se agrega la etiqueta principal, que contiene el logotipo de la marca registrada del producto, el nombre del producto, el número de registro sanitario, el número de registro de producción industrial, un resumen del contenido de minerales, el sello de Cómprale al Perú, como proteger el producto y una breve descripción de las bondades y fortaleza del agua Elite Spring (Embotelladora del Norte EIRL, 2018).

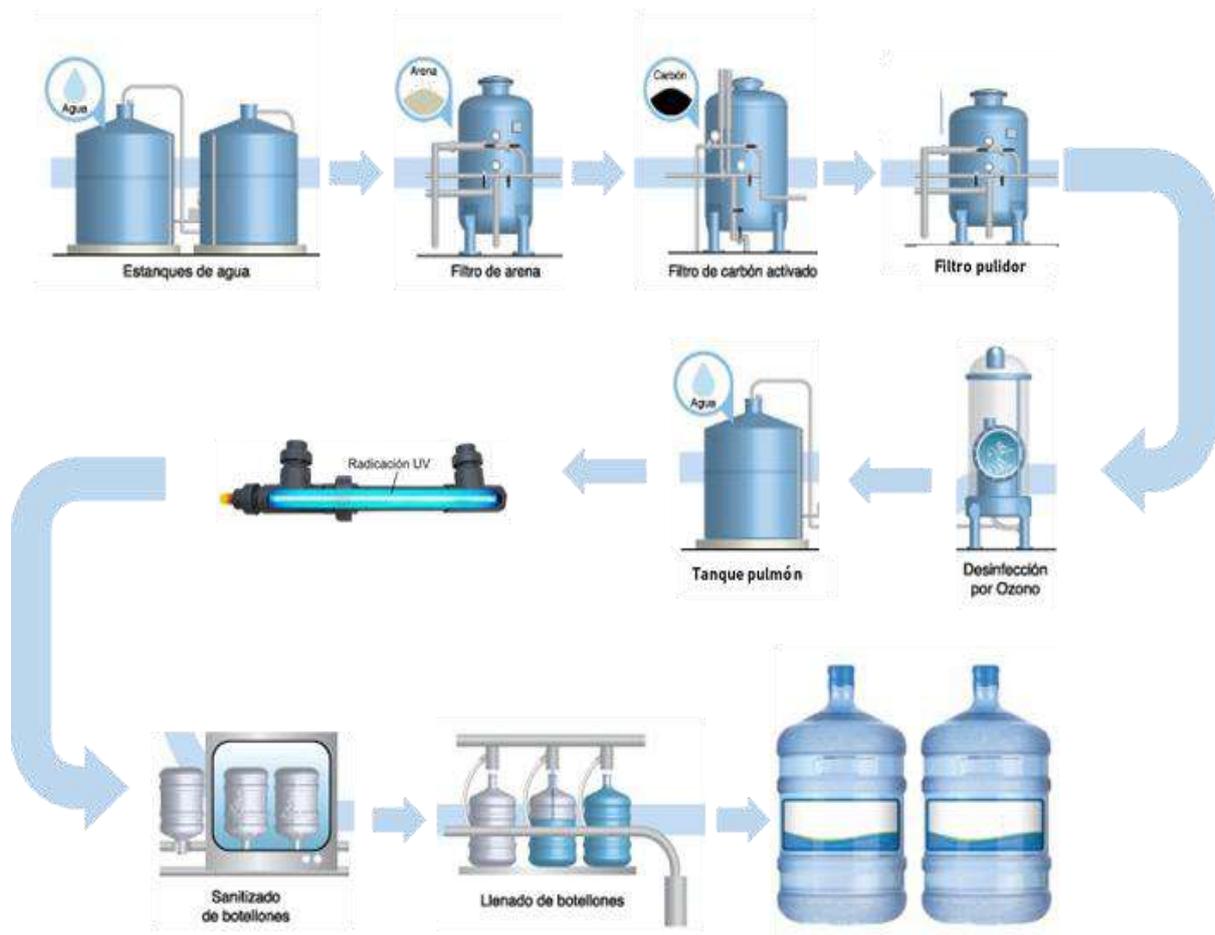


Figura 19: Diagrama de purificación de agua de mesa y embotellado

Fuente: (Essence, 2017)



## **Capítulo 4**

### **Diseño e implementación**

El proyecto de innovación tecnológica a desarrollar plantea un nuevo producto a escala piloto representado en un sistema compacto, el cual podría utilizarse para solucionar distintos inconvenientes y aprovechar algunas oportunidades.

Por ejemplo, en cuanto a la gestión de desastres, este prototipo se convierte en unas alternativas más a los proyectos piloto (plantas compactas de potabilización rápida de agua superficial) ya desarrolladas. Aunque estos funcionan y podrían ayudar sobremanera después de desastres naturales, no han sido difundidos exitosamente; sin embargo, con ligeras modificaciones técnicas podrían llegar a ser idóneos para esas circunstancias. Asimismo, la oportunidad de mercado presenciada en zonas rurales que cuentan con gran radiación solar podría convertir al prototipo en una solución temporal al desabastecimiento de agua potable de dichas zonas; además de generar trabajo local.

A nivel empresarial, el problema del consumo de energía y el aumento de capacidad de producción, en pro de incrementar la competitividad y rentabilidad, son oportunidades para el desarrollo de este prototipo. También, la brecha tecnológica resultante de la comparación de atributos al trabajar con tecnología limpia, como es la energía fotovoltaica frente al sistema de producción actual, hace de esta invención una alternativa con mucho potencial.

En este capítulo se expone el diseño teórico del prototipo y la implementación desarrollada para el mismo, de acuerdo a los objetivos requeridos para solucionar el consumo de energía y la capacidad de producción de la empresa Embotelladora del Norte E.I.R.L.

#### **4.1 Lineamientos de la investigación**

La presente investigación consiste en diseñar, implementar y validar un innovador proceso que potabilice agua natural de fuente superficial del Canal Biaggio Arbulú en Marcavelica en Sullana de la región Piura, representado en un prototipo compacto. Las oportunidades que se aprovecharán son las siguientes:

- Utilización de energía renovable (fotovoltaica) debido a la abundante radiación solar de la zona para generar independencia energética en el desarrollo de las operaciones. A su vez que evitará el uso de combustibles fósiles, principales contaminantes.

- Reducción de los costos de transporte, al estar ubicada cerca (Marcavelica) al principal mercado de la empresa (Piura). Es preciso indicar que en la ciudad Piura se encuentra el 50% del mercado de la empresa (24000 L/día en temporada alta).
- Al desarrollar el proyecto en el Marcavelica, se podrá contar con una fuente de agua superficial (a menos de 1 km de distancia) de buena calidad (canal Biaggio Arbulú) y abastecimiento continuo.

En cuanto al diseño técnico del prototipo, este deberá ceñirse a los siguientes lineamientos generales requeridos:

- **Potabilización de agua superficial:** el prototipo deberá potabilizar agua superficial del Canal Curumuy en los parámetros inocuos especificados por la normativa nacional vigente (DS 031-2010, DIGESA – SA). Además de generar 2000 litros de agua potable por hora.
- **Movilidad del sistema:** la estructura del prototipo compacto deberá diseñada considerando la posibilidad de *izaje*<sup>2</sup> con la finalidad de facilitar su transporte en la tolva de una camioneta (dimensiones acotadas aproximadas = 1.1m x 1.1m x 1.2m). Asimismo, la estructura debe ser ligera, pero a la vez robusta, de modo que sirva de sostén de los equipos de filtrado y desinfección.
- **Mantenimiento:** el diseño de la estructura y el acople de los equipos, debe considerar la facilidad de mantenimiento, incluyendo uniones universales entre los equipos de filtrado y desinfección, de modo que se facilite su retiro para mantenimiento o reemplazo.
- **Independencia energética:** en vista del potencial solar fotovoltaico de la zona norte del Perú (6 Kwh/m<sup>2</sup>), el sistema de suministro de energía se tiene que desarrollar en base a paneles solares fotovoltaicos. El sistema de suministro, considera un banco de baterías debido al requerimiento constante de potencia eléctrica del sistema de bombeo.
- **Flexibilidad de funcionamiento:** se ha previsto un tablero eléctrico de control que incluye las protecciones eléctricas correspondientes y un variador de velocidad que permita el funcionamiento flexible del sistema de bombeo.
- **Costos reducidos:** el proceso deberá tener un menor costo de mantenimiento y operación en comparación con el proceso convencional que actualmente utiliza la empresa.
- **Modelamiento digital:** utilización del software *Solidworks* para el modelamiento digital del sistema, permitiendo definir la ubicación de cada uno de equipos optimizando, así, el espacio requerido.

---

<sup>2</sup> Podemos entender lo que es el *izaje* como una forma de levantar o mover objetos con ayuda de algunos dispositivos, el cual se hace de una forma segura, controlada y bien calculada (Gruas y Equipos García, 2013).

## 4.2 Caracterización del agua fuente

El paso previo para determinar las características técnicas que el diseño requiere, es realizar un análisis de caracterización del agua fuente que suministrará a la planta de tratamiento. Este análisis permite conocer el tamaño de los microorganismos y sólidos presentes para poder determinar el tipo de tecnología de potabilización que se debe utilizar. Descubriendo estas partículas existentes en el agua se podrá definir el tipo y la cantidad de membranas o filtros necesarios para el tratamiento del agua.

El análisis de caracterización de calidad del agua fue realizado al canal Biaggio Arbulú en la temporada de estiaje. La metodología empleada para el análisis fue la recolección de muestras en el mismo punto del canal durante los meses de julio y agosto de 2017, y el muestreo fue realizado en días diferentes entre las 8 a.m. y las 12 p.m.

Los parámetros de campo como cloro residual, pH y Conductividad eléctrica fueron analizados en el mismo sitio de muestreo siguiendo la metodología estándar para parámetros de campo; con equipos de medición con mantenimiento y calibración vigente, y trazable a los patrones nacionales para garantizar que los resultados obtenidos sean precisos, amén de exactos; además de cumplir con los controles de calidad de cada parámetro para la confiabilidad de los mismos. También los parámetros de Sólidos Totales Disueltos, Coliformes Totales, Coliformes Termo-tolerantes, Escherichia Coli, Bacterias Heterotróficas, entre otros, fueron muestreados y analizados siguiendo la metodología estándar. Los parámetros analizados en campo y los analizados en el laboratorio fueron realizados por personal capacitado con experiencia y con la competencia técnica del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria del Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura (Gutierrez, Fiestas, Sánchez, & Echevarría, 2017).

De acuerdo a la interpretación de los resultados de dicho Laboratorio y según el DS-004-2017-MINAM subcategoría A2 “Aguas que pueden ser potabilizadas por tratamiento convencional”, los parámetros físicos-químicos del agua fuente cumplen con todos los parámetros que exige el DS-004-2017-MINMAN, salvo el parámetro de cloruros en el muestreo del mes de julio, el cual superó ligeramente lo establecido por la norma. No obstante, se observó que la cantidad de sales disueltas es considerablemente mayor a las sales disueltas que contienen generalmente las aguas superficiales, ocasionando un sabor ligeramente salado al agua del canal Biaggio Arbulú.

Asimismo, los parámetros microbiológicos y parasitológicos cumplen con lo establecido por el ECA-Agua para ser potabilizada mediante tratamiento convencional, y los parámetros inorgánicos (metales disueltos) cumplen, a su vez, con lo requerido. En este sentido, el agua del canal Biaggio Arbulú no presenta valores significativos de metales pesados como el arsénico, plomo, mercurio, cadmio (Gutierrez, Fiestas, Sánchez, & Echevarría, 2017). Para más detalles véase los informes de ensayo en los anexos A1 y A2, y los informes de interpretación en A3 y A4.

Respecto a los tipos de microorganismos encontrados en el agua del canal, la tabla 5 resume algunas características que estos presentan, como los efectos en la salud humana, fuentes y ocurrencia, vías de exposición y por último la significancia que tienen estos en el agua potable.

Tabla 5. Características de algunos microorganismos presentes en la fuente del agua del canal Biaggio Arbulu

Bacteria	Características	Tamaño de Bacteria	Tecnología de membrana	Efectos en la salud humana	Fuentes y Ocurrencia	Vías de Exposición	Significancia en agua potable
<i>Escherichia coli</i>	Presente normalmente en la flora intestinal de humanos y animales, donde generalmente no causa daño. Sin embargo, en otras partes del cuerpo éste puede causar serias enfermedades, como infecciones en el tracto urinario, bactericemia, meningitis y diarrea. Entre las especies que producen enfermedad tenemos: <i>E. coli</i> enterohemorrágica (EHEC), <i>E. coli</i> enterotoxigénica (ETEC), <i>E. coli</i> enteropatógena (EPEC), <i>E. coli</i> enteroinvasiva (EIEC) y <i>E. coli</i> enteroagregativa.	El tamaño de una bacteria típica como <i>Escherichia coli</i> (0.5 x 2 um).	Microfiltración	<i>E. coli</i> enterohemorrágica: causa diarrea <i>E. coli</i> enterotoxigénica: produce termolabil o termoestable, diarrea, dolores abdominales, náuseas y dolor de cabeza. <i>E. coli</i> enteropatógena: produce diarrea crónica, vómito y fiebre en infantes.	Infeción asociada mediante transmisión persona-persona, contacto con animales, consumo de alimentos o agua contaminada.	—	Las medidas de control que pueden ser aplicadas para el manejo de potenciales riesgos de <i>E. coli</i> enteropatógena, incluyen la protección de la red de distribución de agua cruda de residuos de animales y humanos. Adecuado tratamiento y protección del agua durante la distribución.
" <i>Pseudomonas aeruginosa</i> "	Miembro de la familia Pseudomonadaceae, presenta flagelo polar, aerobios, gram negativos. Muchas colonias también producen fluorescencia verde piovérdina y otras pirocianina. <i>Pseudomonas aeruginosa</i> produce catalasa, oxidasa y amonio a partir de arginina y pueden crecer	El tamaño de <i>Pseudomonas</i> está entre 0.5 µm y 0.8 µm de espesor por 1.5 µm y 3.8 µm de largo.	Microfiltración	Puede causar infecciones, predominantemente colonizan sitios/lugares dañados como heridas y quemaduras, tracto respiratorio y daños en los ojos. A partir de estos sitios éste puede evadir el cuerpo, causando	Es un microorganismo ambiental y puede ser encontrado en heces, suelo y aguas. Este puede multiplicarse en ambientes acuáticos.	La principal vía de infección es mediante la exposición de tejido susceptible, notablemente, heridas y membranas mucosas contaminados con agua o	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , es sensible a la desinfección y la entrada al sistema de distribución puede ser minimizada por una adecuada desinfección. Medidas de control que son diseñadas para minimizar el crecimiento de biofilms, incluye tratamiento para optimizar

Bacteria	Características	Tamaño de Bacteria	Tecnología de membrana	Efectos en la salud humana	Fuentes y Ocurrencia	Vías de Exposición	Significancia en agua potable
	en citrato como fuente de carbono.			lesiones destructivas o septicemia y meningitis, fibrosis quística. Muchas cepas son resistentes a un rango alto de agentes antimicrobianos, los cuales pueden incrementar la significancia de este microorganismo.		instrumentos quirúrgicos contaminados. La ingestión de agua potable, no es una importante vía de infección.	la remoción del carbono orgánico, restricción del tiempo de residencia del agua en el sistema de distribución y mantenimiento de desinfectantes residuales.
<i>Balanitidium coli</i>	"Es un protozoo unicelular (parásito) con una longitud hasta de 200 µm, haciendo de éste el más largo protozoo intestinal humano. Los trofozoitos son ovoides en forma y cubiertos con cilios para su motilidad. Los cysts son de 60-70 µm de longitud y resistentes a condiciones ambientales desfavorables, como pH y temperaturas extremas. Pertenecen al grupo de patógenos más largo."	El tamaño de <i>Balanitidium coli</i> es 60-70 µm de longitud.	Microfiltración	"Infecciones en humanos es relativamente rara, y muchos son asintomáticas. Los trofozoitos invaden la mucosa y submucosa del intestino y destruyen las células hospederas cuando se multiplican. Los síntomas clínicos pueden incluir: disentería similar a la <i>aerobiasis</i> , colitis, diarrea, náusea, vómito, dolor de cabeza y anorexia."	Los humanos pueden ser los hospederos más importantes de <i>Balanitidium coli</i> y el organismo puede ser detectado en agua residual doméstica, reservorios de animales, particularmente del chanchito, también contribuyen a la prevalencia de cysts en el ambiente.	La transmisión de <i>Balanitidium coli</i> es mediante vía fecal-oral, a través de contacto persona-persona, a partir de chanchito infectado o consumo de agua o alimento contaminado.	" <i>Balanitidium coli</i> , es susceptible de eliminación por filtración, pero los quistes son altamente resistentes a la desinfección. Medidas de control para reducir potenciales riesgos de <i>Balanitidium coli</i> debe focalizarse en la prevención de la contaminación de la fuente de agua por desechos humanos y de chanchito, seguido por un adecuado tratamiento. <i>E. coli</i> no es un índice fiable para la presencia/ausencia de <i>Balanitidium coli</i> en el abastecimiento de agua potable."

Fuente: (World Health Organization, 2011). Elaboración propia.

### 4.3 Diseño sanitario e hidráulico

Luego del estudio de caracterización de las aguas del canal Biaggio Arbulú, se logró conocer el estado actual del agua fuente, lo que permitió diseñar hidráulicamente el prototipo.

Este apartado, basado en el informe “Diseño sanitario e hidráulico de planta compacta de tratamiento de agua superficial” elaborado por Jorge Echevarría (2017), se compone de la descripción de las operaciones unitarias necesarias para la potabilización de agua en el prototipo; luego, se exponen dos diseños para la fabricación del mismo, de los cuales se escoge el más idóneo; finalmente, se calcula la potencia de la bomba de acuerdo a las necesidades de la empresa Embotelladora del Norte E.I.R.L.

#### 4.3.1 Operaciones unitarias

Para potabilizar agua es necesario someterla a una serie de operaciones o procesos unitarios para que sea apta para el consumo humano. Una operación unitaria es un proceso químico, físico o biológico mediante el cual las sustancias objetables que contiene el agua son removidas o transformadas en sustancias inocuas.

La mayor parte de los procesos originan cambios en la concentración o en el estado de una sustancia, la cual es desplazada o incorporada en la masa de agua. Este fenómeno recibe el nombre de transferencia de fase. Son ejemplos de ello la introducción de oxígeno al agua (transferencia de la fase gaseosa a la líquida) y la liberación de anhídrido carbónico contenido en el agua (transferencia de la fase líquida a la gaseosa) mediante el proceso de aeración (Echevarría, 2017).

Para cumplir con el primer objetivo general, potabilizar el agua, se procedió a definir las operaciones unitarias necesarias para obtener agua potable según el DS-031-2010-SA. Las cuales se resumen en tres etapas bien definidas: Pretratamiento, Filtración y Desinfección. Estas operaciones se explicaron brevemente en un capítulo anterior, sin embargo, ahora se detallan y se orientan al prototipo en cuestión.

##### 4.3.1.1 Pretratamiento

Las tres primeras operaciones unitarias pertenecen a la fase de pretratamiento. El pretratamiento es un conjunto de operaciones unitarias por las que el agua fuente necesita transcurrir antes de entrar al proceso de filtración. A saber:

##### **Coagulación.-**

El agua puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles; entre estas últimas destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general. Tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación (o flotación) y filtración.

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro. Este proceso es resultado de dos fenómenos:

- El primero, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.
- El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.

Este proceso es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos, de acuerdo con las demás características del agua: pH, temperatura, cantidad de partículas, etcétera. Se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada mezcla rápida. De allí en adelante, se necesitará una agitación relativamente lenta, la cual se realiza dentro del floculador. En esta unidad las partículas chocarán entre sí, se aglomerarán y formarán otras mayores denominadas flóculos; estas pueden ser removidas con mayor eficiencia por los procesos de sedimentación, flotación o filtración rápida.

La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración.

La coagulación está fundamentalmente en función de las características del agua y de las partículas presentes, las mismas que definen el valor de los parámetros conocidos como pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, temperatura, movilidad electroforética, fuerza iónica, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión, etcétera.

Para tener una idea de la importancia de la calidad del agua cruda, es necesario comentar, por ejemplo, que un agua que presenta color (de origen coloidal) y turbiedad relativamente baja a temperatura superior a 15 °C, sin tomar en cuenta los demás parámetros de calidad, puede ser candidata potencial al uso de filtración directa y se obviaría, en la mayoría de los casos, la necesidad de floculación y sedimentación.

### **Floculación.-**

El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia. Normalmente, la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte:

- 1) Floculación pericinéctica o browniana: se debe a la energía térmica del fluido.

- 2) Floculación ortocinética o gradiente de velocidad: se produce en la masa del fluido en movimiento.
- 3) Sedimentación diferencial: se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

### **Sedimentación.-**

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios. La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido *suspendidas* otra vez y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculantes y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

#### **4.3.1.2 Filtración**

Luego de la sedimentación se completa la fase del pretratamiento, con lo cual el agua queda lista para ser sometida a la siguiente operación unitaria, filtración.

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. En general, la filtración es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad. Como las fuerzas que mantienen a las partículas removidas de la suspensión adheridas a las superficies de los granos del medio filtrante son activas para distancias relativamente pequeñas (algunos

*angstroms*), la filtración usualmente es considerada como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios: transporte y adherencia. Inicialmente, las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante. Ellas permanecen adheridas a los granos, siempre que resistan la acción de las fuerzas de cizallamiento debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento. Para más detalles sobre los tipos de filtración véase el apartado 2.2 del capítulo 2.

#### **4.3.1.3 Desinfección**

En términos prácticos, desinfectar el agua significa eliminar de ella los microorganismos existentes capaces de producir enfermedades. La desinfección es el último proceso unitario de tratamiento del agua y tiene como objetivo garantizar la calidad de la misma desde el punto de vista microbiológico y asegurar que sea inocua para la salud del consumidor.

La desinfección es un proceso selectivo: no destruye todos los organismos presentes en el agua y no siempre elimina todos los organismos patógenos. Por eso requiere procesos previos que los eliminen mediante la coagulación, sedimentación y filtración. Aunque en la práctica, estas operaciones previas remuevan el mayor porcentaje de microorganismos patógenos del agua, la eficiencia de los mismos no llega al 100%.

Por otro lado, las aguas suministradas por una planta de tratamiento de agua para consumo humano pueden sufrir una *contaminación* en los tanques de almacenamiento o en las redes de distribución antes de ser distribuidas a la población. La desinfección debe protegerlas también de estas situaciones de riesgo posteriores al tratamiento.

En la desinfección se usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo. A continuación, se describirán dos tipos de desinfección que pueden ser utilizadas para el presente diseño.

#### **Luz ultravioleta.-**

El blanco principal de la luz ultravioleta es el material genético de los microorganismos, principalmente los virus, bacterias, hongos, algas y protozoarios; los cuales son destruidos por la radiación ultravioleta cuando la luz penetra a través de la célula y es absorbida por el ácido nucleico, esto provoca la inactividad de la célula como resultado del daño fotoquímico del ácido nucleico.

La principal ventaja en la aplicación de estas radiaciones en la desinfección del agua es su bajo coste de inversión y operación, no emplea productos químicos, ni genera reacciones con los constituyentes del agua y por tanto no genera subproductos, olor ni sabor.

Su aplicación está muy extendida en sistemas pequeños de abastecimiento y en la desinfección de agua para aplicaciones y usos concretos en hospitales, industrias de bebidas, farmacéutica, etc.

Sus principales desventajas son la poca profundidad de penetración de radiación en el agua, lo que dificulta su actuación el color y la turbiedad del agua; por lo tanto, para aumentar el rendimiento en la eliminación de microorganismos, se deben irradiar solo láminas delgadas de agua. Su aplicación se reduce a aguas claras y descontaminadas de partículas suspendidas.

Otra desventaja de las radiaciones con luz ultravioleta es que no tienen un efecto residual para prevenir contaminación después del proceso (almacenamiento y distribución), además que con el tiempo las lámparas de luz ultravioleta suelen ensuciarse, lo que reduce su capacidad de penetración de los rayos. Por último, su vida útil es limitada.

#### **Ionización de cobre y plata.-**

El ion cobre y el ion plata aportados en cantidades pequeñas tienen la capacidad de destruir los microorganismos presentes en el agua, destruyendo incluso los protozoarios cloro resistentes, permaneciendo estos iones activos por meses. El ion cobre y el ion plata son conocidos agentes bactericidas, ya que actúan sobre la pared bacteriana induciendo la lisis celular y posterior muerte.

La principal ventaja de la ionización de cobre y plata es que tiene un efecto residual más largo que otros desinfectantes, debido a que el ion cobre y el ion plata se mantienen en el agua por un largo periodo de tiempo.

Su principal desventaja es que depende del pH, a pH 9 solo se logra un 10% de efectividad. Asimismo, cuando la concentración de sólidos disueltos es alta la plata precipita, esto significa que la plata ya no estará disponible para desinfectar.

Además, para eliminar a los microorganismos de forma efectiva, el ion cobre y el ion plata deben estar presentes en todo el sistema acuático. Cuando el sistema es poco utilizado o el flujo de agua es muy pequeño producen problemas para la desinfección.

#### **4.3.2 Propuestas de diseño**

Para el presente estudio se ha planteado realizar dos diseños para elegir el que más se adapte a las necesidades de Embotelladora del Norte. A saber:

##### **Diseño 1.-**

- 1) Pretratamiento, que consistirá en coagulación, floculación y sedimentación.
- 2) Filtración, este proceso se dividirá en filtración, microfiltración y ultrafiltración.

3) Desinfección mediante luz ultravioleta.

### **Diseño 2.-**

- 1) Pretratamiento, que consistirá en coagulación, floculación y sedimentación.
- 2) Filtración, este proceso se dividirá en filtración, microfiltración y ultrafiltración.
- 3) Desinfección mediante ionización de cobre y plata.

La diferencia entre los dos diseños es la etapa final; es decir, la desinfección. El primer diseño considera la utilización de una lámpara UVC de longitud de onda de 254nm germicida para la eliminación de virus y microorganismos no eliminados en la filtración. Y, el segundo diseño, un equipo de ionización de placas de cobre y plata como desinfectante del agua; el cobre como bactericida y la plata como fungicida.

Realizando el análisis de los dos diseños realizados y comparando las ventajas y desventajas de los dos métodos de desinfección elegidos en los diseños, se elige el primer diseño, el cual utiliza la luz ultravioleta de longitud de onda corta de 254 nanómetros.

La luz ultravioleta es una tecnología de menor costo de operación y mantenimiento y de gran eficacia para la eliminación de microorganismos patógenos. La ionización de cobre y plata, al tener que utilizar estos dos metales hace que los costos de reposición del cobre y la plata sean más costosos que la desinfección por luz ultravioleta.

#### **4.3.3 Funcionamiento**

El diseño del sistema de potabilización del prototipo consiste en una serie de filtros de diferentes tamaños para eliminar todo tipos de partículas en suspensión, así como para eliminar microorganismos patógenos que se puedan encontrar en el agua. Este diseño asegura que a la salida del sistema el agua cumpla con las características requeridas por la normas para el consumo humano. El sistema se compone de las siguientes etapas (Echevarría, 2017):

- 1) Pretratamiento:** para iniciar el tratamiento, se comienza primero por decantar el agua en un sistema de tanques por un periodo de 4 horas en promedio. Esto con la función de reducir la turbiedad ocasionada por la presencia de sólidos suspendidos en el agua.
- 2) Filtro de 50 micras:** el agua decantada es bombeada hasta el prototipo para comenzar con la potabilización mediante un filtro de 50 micras. Este tiene como función la eliminación de los sólidos suspendidos que todavía queden después del pretratamiento. Luego de este filtro el agua queda cristalina y sin presencia de turbiedad.
- 3) Filtros de 10 micras:** el agua transcurre por dos filtros de 10 micras, los cuales tienen la función de eliminar de larvas de nematodos, huevos de rotíferos, copépodos, formas parasitarias de protozoarios patógeno y algas.

Estos filtros se encargan de eliminar la mayoría de microorganismos de mayor tamaño.

- 4) **Filtros de 5 micras:** el agua pasa por dos filtros de 5 micras para eliminar organismos como bacterias, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos, mohos y levaduras, que son de menor tamaño.
- 5) **Filtro de 1 micra:** luego el agua transcurre por un filtro de 1 micra que tiene como función la eliminación de los microorganismos de todavía menor tamaño como *cryptosporidium sp*, protozoarios ciliados, flagelados y ameboide.
- 6) **Filtro de 0.2 micra:** por último, el agua pasa por un filtro de 0.2 micras para eliminar los microorganismos de menor tamaño que hayan pasado el filtro de 1 micra; así se asegura que el agua esté libre de cualquier contaminante de origen microbiano.
- 7) **Filtro de carbón activado:** después de pasar por los filtros que eliminan microorganismos, se pasa por un filtro de carbón activado para eliminar cualquier olor y sabor del agua.
- 8) **Lámpara UV:** finalmente, para asegurar que esté libre de cualquier contaminante microbiológico, el agua pasa por una lámpara UV de onda corta de 254nm. De este modo, el agua queda lista para ser embotellada.

#### 4.3.4 Cálculo de la potencia de la bomba

El cálculo de la potencia de la bomba se realizó teniendo en cuenta las características, accesorios y filtros que va a utilizar el prototipo. A saber:

- El diámetro de la tubería es  $D = 1'' = 0.0254 \text{ m}$

- El caudal requerido o volumétrico es  $Q_v = 3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.000833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

- La velocidad de flujo es  $v = \frac{Q_v}{A}$ ;  $A = \frac{\pi D^2}{4}$

$$v = \frac{0.000833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{\pi(0.0254\text{m})^2}{4}} = 1.64 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- La viscosidad del agua a 25°C es igual a  $\nu = 0.000891 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \times \text{s}}$

- La densidad del agua a 25°C es igual a  $\rho = 997.13 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

- El peso específico es igual a  $\gamma = \rho \times g$

$$\gamma = 997.13 \frac{Kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\gamma = 9781.8 \frac{Kg}{m^2 s^2}$$

- Y, la potencia bruta de la bomba, que está dada por:  $P_B = h_{\Delta} \cdot \gamma \cdot Q_v$  Donde:

$$h_{\Delta} = \text{Pérdidas de carga totales}$$

$$\gamma = \text{Peso específico}$$

$$Q_v = \text{Caudal volumétrico}$$

Entonces, la ecuación de Bernoulli queda como sigue:

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + h_{\Delta} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + h_t$$

$$h_{\Delta} = \Delta Z + \frac{\Delta v^2}{2g} + \frac{\Delta P}{\gamma} + h_t$$

Debido a que la presión inicial (tanque de alimentación) y la presión de salida (válvula de salida) están a presión atmosférica, se anulan, tal que:

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = 0$$

Luego, la pérdidas de carga totales ( $h_t$ ) están dadas por las de fricción:

$$h_{\Delta} = f \left( \frac{L}{D} \right) \times \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

Y, por las pérdidas por accesorios:

$$h_{\Delta} = f \left( \frac{\sum L_{eq}}{D} \right) \times \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

Además, la diferencia de altura del sistema es igual a  $\Delta Z = 0.45 \text{ m}$ .

La longitud de los accesorios y las pérdidas de presión de los filtros a utilizar se muestran en las tablas 6 y 7, respectivamente:

Tabla 6. Características de accesorios

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente ( $L_{eq}$ )
Longitud de tubería de 1" de PVC	3.53 m	3.53 m
Codos de 1" de 90 °	7 unidades	3.5 m

Válvulas de esfera	3 unidades	15 m
--------------------	------------	------

Fuente: (Echevarría, 2017)

Tabla 7. Pérdidas de presión de filtros

Filtros	Pérdidas de presión
Filtro de 50 micras	2 psi
Filtro de 10 micras	3 psi
Filtro de 5 micras	2.5 psi
Filtro de micro filtración	5 psi
Filtro de carbón activo	2.5 psi
Lámpara UV	125 psi
$\sum$ de pérdidas de presión	140 psi

Fuente: (Echevarría, 2017)

Para hallar el coeficiente de fricción  $f$ , necesitamos la rugosidad de la tubería y el número de Reynolds. La rugosidad relativa de tubería de PVC según tabla es:

$$\frac{0.0015 \text{ mm}}{25.4 \text{ mm}} = 0.0000591$$

Y, el número de Reynolds está dado por:

$$N^{\circ} \text{ Reynolds} = \frac{V \cdot \rho \cdot D}{v}$$

Dónde:

$V = \text{Velocidad}$

$\rho = \text{densidad}$

$D = \text{Diámetro (m)}$

$v = \text{viscosidad}$

Entonces:

$$N^{\circ} \text{ de Reynolds} = \frac{1.64 \times 997.13 \times 0.0254}{0.000891}$$

$$N^{\circ} \text{ de Reynolds} = 46617.8$$

Por lo tanto, usando el diagrama Moody, se encuentra que el coeficiente de fricción es  $f = 0.021$ .

Calculando las pérdidas de carga por fricción en la tubería:

$$h_{\Delta} = f \left( \frac{L}{D} \right) x \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

$$h_{\Delta} = 0.021 \left( \frac{3.53 \text{ m}}{0.0254} \right) x \left( \frac{\left( 1.64 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 x 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$h_{\Delta} = 0.40 \text{ m}$$

De acuerdo a la tabla 6, y según tablas, se tiene que la longitud equivalente a las pérdidas por accesorios es de 18.5 m. Además, las pérdidas de presión por los filtros (tabla 7), se calculan convirtiendo la suma de estas usando la fórmula de diferencias de presiones:

$$\text{Diferencia de presiones} = \frac{\Delta P}{\rho x g}$$

$$= \frac{140 \text{ psi} x \frac{6894.76 \text{ pa}}{1 \text{ psi}} x \frac{\frac{\text{N}}{\text{m}^2} x \frac{\frac{\text{Kg} x \text{m}}{\text{s}^2}}{1 \text{ N}}}{1 \text{ pa}}}{997.13 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} x 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 98.67 \text{ m}$$

La sumatoria de las Longitudes equivalentes  $\sum L_{eq}$  es igual a:

$$\sum L_{eq} = 18.5 \text{ m} + 98.67 \text{ m}$$

$$\sum L_{eq} = 117.17 \text{ m}$$

Entonces, la pérdida de carga por accesorios y filtros es igual a:

$$h_{\Delta} = f \left( \frac{\sum L_{eq}}{D} \right) x \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

$$h_{\Delta} = 0.021 \left( \frac{117.17 \text{ m}}{0.0254 \text{ m}} \right) x \left( \frac{\left( 1.64 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 x 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$h_{\Delta} = 13.28 \text{ m}$$

Luego, las pérdidas de cargas totales suman:

$$h_t = h_{\Delta \text{fricción}} + h_{\Delta \text{accesorios y filtros}}$$

$$h_t = 0.40 \text{ m} + 13.28 \text{ m}$$

$$h_t = 13.68 \text{ m}$$

Asimismo, las pérdidas de carga para el cálculo de la potencia son:

$$h_{\Delta} = \Delta Z + \frac{\Delta v^2}{2g} + h_t$$

$$h_{\Delta} = 0.45 \text{ m} + \frac{\left(1.64 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 13.68 \text{ m}$$

$$h_{\Delta} = 14.27 \text{ m}$$

Entonces, se calcula la potencia bruta de la bomba:

$$P_B = h_{\Delta} \cdot \gamma \cdot Q_v$$

$$P_B = 14.27 \text{ m} \times 9781.8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0.00083 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$P_B = 115.86 \frac{\text{Kg m}^2}{\text{s}^2 \times \text{s}}$$

$$P_B = 115.86 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$P_B = 115.86 \text{ w} \times \frac{1 \text{ HP}}{746 \text{ w}}$$

$$P_B = 0.15 \text{ HP}$$

Por lo tanto, el rendimiento de la bomba al 85% de la bomba es:

$$P_B = 0.15 \text{ HP}$$

$$P_B = 0.18 \text{ HP}$$

Luego, el cálculo de la presión queda:

$$\text{Potencia(HP)} = \frac{Q \times P}{1714}$$

Dónde:

Q= Caudal (GPM)

P= Presión (PSI)

Así, se convierte el caudal de m<sup>3</sup>/s a GPM:

$$Q (GPM) = 0.000833 \frac{m^3}{s} \times \frac{60 s}{1 min} \times \frac{1 Galón}{3.7854 L} \times \frac{1000L}{1m^3}$$

$$Q (GPM) = 13.20 \frac{G}{min}$$

Entonces, la presión teórica para la Potencia encontrada de 0.18 HP sería:

$$Presión(PSI) = \frac{0.18}{13.20} \times 1714 \times 0.85$$

$$Presión(PSI) = 19.86$$

Como la bomba comercial más cercana es de 0.5 HP, la presión a la que estaría sometido usando una bomba así sería:

$$Presión(PSI) = \frac{0.5}{13.20} \times 1714 \times 0.85$$

$$Presión(PSI) = 55.18$$

#### 4.4 Diseño electromecánico

De acuerdo con el diseño sanitario e hidráulico antes descrito, el sistema de potabilización estará compuesto por las siguientes operaciones unitarias: pretratamiento, filtración y desinfección. Dentro del proceso de pretratamiento se contempla coagulación, floculación y sedimentación; en el proceso de filtrado, filtración, microfiltración y ultrafiltración; y, en la desinfección, mediante luz ultravioleta.

Como se explicó al inicio del capítulo, el prototipo ha de considerar movilidad del sistema, facilidad de mantenimiento, independencia energética y flexibilidad de funcionamiento.

Para el desarrollo del modelo se ha utilizado el modelamiento digital, en el software *Solidworks*, lo que ha permitido permitiendo evaluar varias opciones de disposición final de los equipos, consiguiendo de este modo la optimización de espacios y materiales.

El diseño busca facilitar las tareas de montaje en campo y la estabilidad de la estructura de paneles fotovoltaicos. Por otro lado, en lo que respecta a la estructura de montaje de los filtros, se requiere una buena distribución de los equipos y accesorios en general (Fiestas Chévez, 2017). Considerando estos atributos de movilidad del sistema, se debió diseñar un sistema de suministro de energía que sea independiente, y una estructura liviana, pero robusta, de forma que brinde el soporte necesario al sistema (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

Para el funcionamiento del sistema antes descrito, es necesario un sistema de bombeo de 0.5 HP (véase cálculo de bomba), con su correspondiente suministro energético y sistema de control, y una estructura de soporte de los equipos de filtración y desinfección (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018).

#### 4.4.1 Componentes

El sistema está diseñado para cumplir con los requerimientos de flexibilidad, movilidad e independencia energética. Los componentes del mismo se detallan a continuación:

- a) Sistema de suministro energético: compuesto de 5 paneles solares SY-140WP, 6 baterías de gel interconectadas, un controlador de carga, un inversor, un variador de velocidad, y un tablero eléctrico de protección y control.
- b) Sistema de bombeo: compuesto por una bomba periférica de 0.5 Hp.
- c) Sistema de purificación de agua: que cuenta con filtros de 20, 10, 5 y 0.1 micras, con filtro de carbón activado y una lámpara UV VIQUA S8Q-PA de 254 nm.
- d) Sistema de tuberías y accesorios: tubería de 1", uniones universales de 1", niples cortos de 1", válvulas de 1", codos roscados de 1" y niple de 1" x 6"; además de manómetros y caudalímetros analógicos.
- e) Estructura de soporte: elaborada en base a acero estructural ASTM A36, con soldadura de electrodo 1/8" de diámetro.

El sistema debería verse como en el modelo digital (en *Solidworks*) de la figura 20. Para más detalles, véase el apartado 4.4.4 de planos.

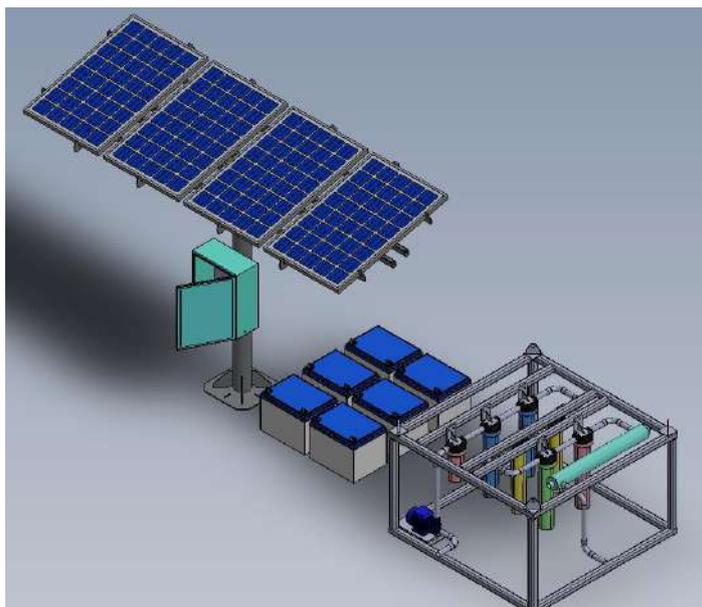


Figura 20. Modelo de sistema de potabilización de agua superficial  
Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

#### 4.4.2 Estructura metálica de soporte del sistema de filtros

Se fabricó la estructura metálica que da soporte al sistema de filtros para el tratamiento de agua del prototipo. Esta estructura, de dimensiones 1.3m de largo, 1 m de ancho y 80 centímetros de altura, está unida mediante pernos; asimismo, se construyó un riel en el medio de la estructura móvil para que sea ajustable y facilite su instalación.

A continuación, se muestra el diseño final en vista superior y un registro fotográfico (véase figura 22) de los trabajos de ajuste. Los detalles de la estructura se pueden apreciar en los planos 1, 2, 3, 4, 5, 6, y 7 del anexo 5.

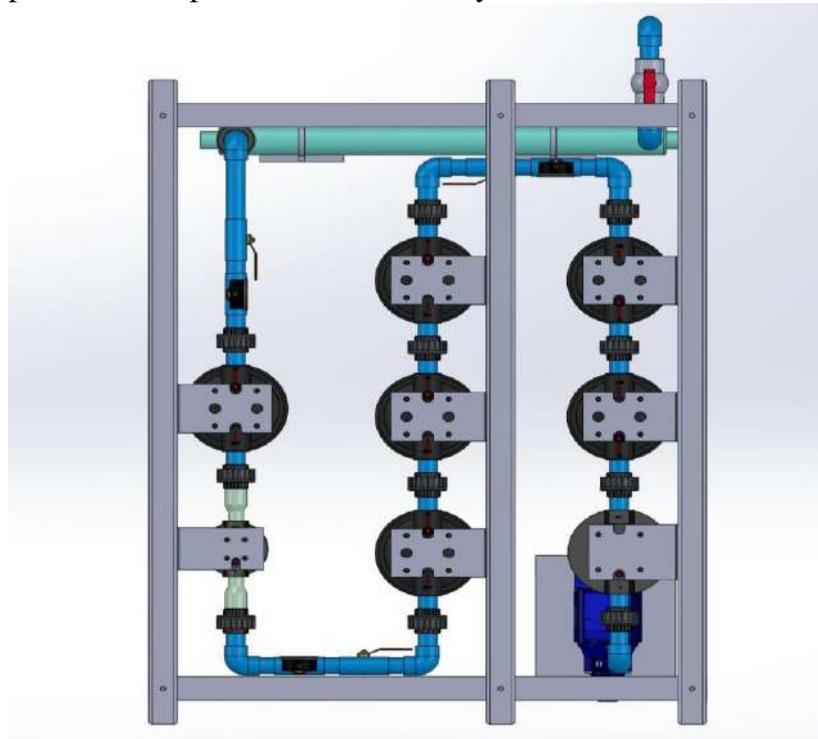


Figura 21. Modelo digital del sistema de filtros  
Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)



Figura 22. Fotografías del sistema de filtros  
Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

#### 4.4.3 Estructuras de paneles de sistema fotovoltaico

La estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos, se ha definido considerando las facilidades de movilidad y de montaje del sistema de suministro de energía eléctrica fotovoltaica. Esta puede utilizarse con el andamiaje mostrado para aumentar la altura en caso sea necesario. La estructura se muestra en la figura 23 y los detalles se muestran en los planos 8, 9 y 10 del anexo 6.

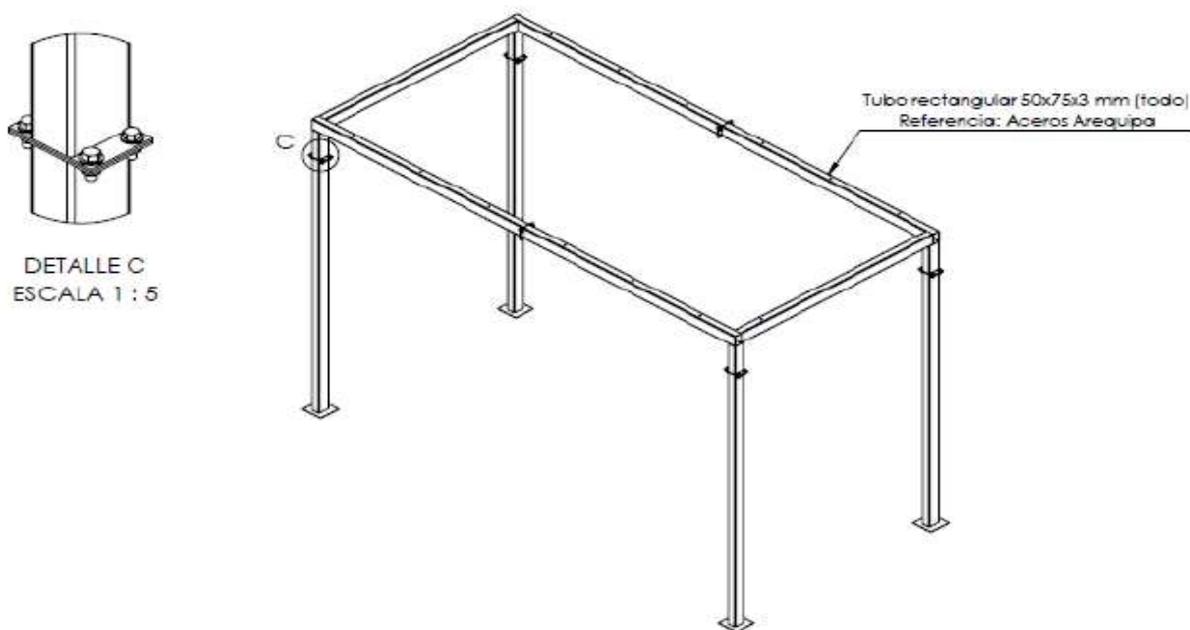


Figura 23. Soporte para paneles fotovoltaicos  
Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

#### 4.4.4 Planos

Aquí se adjunta una lista de los planos del sistema. Los primeros 7 se encuentran desplegados en el anexo 5, y los 3 últimos en el 6. A saber:

- 1.- Plano 1.- Montaje de filtros.
- 2.- Plano 2.- Estructura para montaje de filtros.
- 3.- Plano 3.- Despiece de estructura para montaje de filtros – parte 1.
- 4.- Plano 4.- Despiece de estructura para montaje de filtros – parte 2.
- 5.- Plano 5.- Despiece de estructura para montaje de filtros – parte 3.
- 6.- Plano 6.- Despiece de estructura para montaje de filtros – parte 4.
- 7.- Plano 7.- Despiece de estructura para montaje de filtros – parte 5.
- 8.- Plano 8.- Estructura de soporte de paneles solares.
- 9.- Plano 9.- Estructura de soporte de paneles solares – vigas de soporte.

10.- Plano 10.- Estructura de soporte de paneles solares – columna.

## 4.5 Implementación

Durante esta fase de la investigación se desarrolló el prototipo y se realizaron las pruebas preliminares de funcionamiento del equipo.

Para la ejecución de esta parte del proyecto se realizaron las siguientes tareas:

### 4.5.1 Adecuación de instalaciones

Se desarrollaron trabajos para adecuar un ambiente de la empresa donde se instalaría el prototipo compacto. En este ambiente se realizaron las pruebas del sistema, por lo que se busca replicar las condiciones de campo. El ambiente seleccionado se ubicó en el segundo nivel de la planta, y es un espacio abierto debido a que el prototipo debe trabajar a la intemperie.



Figura 24. Adecuación de ambientes

Fuente: (Fiestas Chévez, 2017)

### 4.5.2 Instalación de bomba periférica

El sistema consta de una bomba periférica de 0.5 HP capaz de conseguir la presión suficiente para hacer circular el agua a tratar a través de todos los filtros en la secuencia indicada. Para iniciar la instalación, se instaló la bomba al lado de los decantadores del agua, esto para poder llevar agua hasta el prototipo que está a 15 metros de distancia de los decantadores y a 3 metros de altura. La toma de agua de la bomba se conectó al reservorio de agua previamente clarificada, usando una tubería de 1", roscada y con una válvula *check*, para no cebarla cada vez que se inicie el ciclo de filtrado. Luego, se envolvió cinta de teflón en las roscas de unión para evitar fugas de agua y pérdidas de presión. Así, la bomba quedó justo debajo del primer filtro del sistema para que la presión estimada no se vea afectada.

La instalación eléctrica se hizo directamente al circuito de baterías alimentado por los paneles solares, en donde hubo un regulador de voltaje que hizo posible manipular la intensidad para bajar o subir las revoluciones de la bomba hasta detenerla o lograr su máxima potencia.

La bomba fue sujeta a una base metálica con 4 pernos para que la mantengan fija y mitiguen la vibración, tal como se muestra en la figura 25.

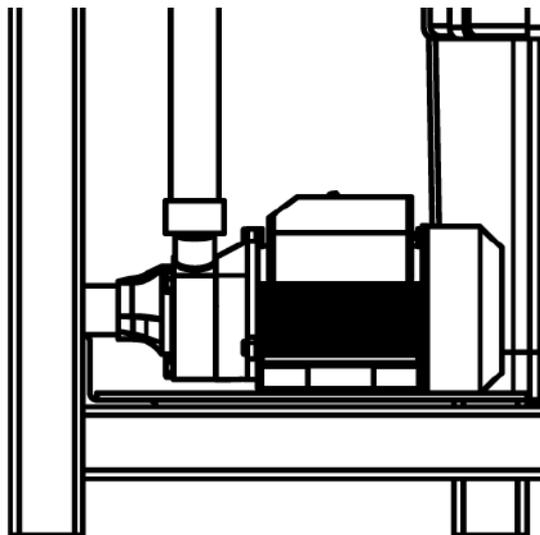


Figura 25. Sujeción de la bomba  
Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

#### 4.5.3 Instalación de filtros

El sistema de filtros se instaló a la estructura metálica mostrada en la figura 26. Se colocó el sistema de filtros y la lámpara UV mediante pernos a dicha estructura. Una vez realizado, se procedió a instalar todas las tuberías, codos y uniones universales para que el prototipo quede listo para las pruebas de funcionamiento iniciales.



Figura 26. Sujeción de la bomba  
Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

Además, en esta etapa se colocó 4 manómetros: uno a la entrada del prototipo, uno después del segundo filtro de 10 micras, uno después del filtro de 1 micra y el último manómetro se colocó después del filtro de carbono activado, con la finalidad de medir las caídas de presiones después de cada batería de filtros. También se colocaron tres válvulas para las muestras de medición de eficiencia de cada batería de filtros.

El detalle se realizó del siguiente modo. Se colocó primero el cartucho de 50  $\mu\text{m}$ , el cual estaba conectado directamente a la bomba periférica, con una tubería de 1", usando una unión universal para facilitar el armado y desarmado. El filtro se colocó dentro de la carcasa azul y tapa de color negro, en el que se indica el sentido del flujo con una flecha grabada en la parte superior (véase figura 27).



Figura 27. Indicación del sentido del flujo  
Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

Luego, se colocaron en la tapa de la carcasa de dos orificios, uno de entrada y el otro de salida. Se usaron niples cortos de 1" tanto para la entrada como para la salida, roscados a uniones universales y asegurados con teflón para evitar fugas. Después, sobre la tapa de la carcasa de 4 agujeros, fue sujeto el soporte de metal (véase figura 28) que lo ancló a la estructura metálica.



Figura 28. Soporte de metal  
Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

Después del filtro de 50  $\mu\text{m}$ , se colocaron los filtros de 10  $\mu\text{m}$ , ambos que, al igual que el de 50  $\mu\text{m}$ , debieron instalarse respetando el sentido indicado por las inscripciones grabadas en las tapas de las carcasas. Usando niples cortos de 1" y uniones universales se ensamblaron ambos en secuencia y al final se colocó un codo que sirvió para instalar la siguiente batería de filtros. Los codos debieron formar una "U" para que los siguientes filtros quedaran en paralelo con la batería anterior (véase figura 29).



Figura 29. Conexión para baterías de filtros  
Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

En la "U" que se formó, se instalaron la válvula de purga y el manómetro, que se usaron para la toma de muestras después de la primera batería de filtros y para controlar la presión del sistema. De este modo se podría evaluar cuándo los filtros requieren limpieza. Y, sobre la tapa de la carcasa de 4 agujeros fue sujeto el soporte de metal que lo ancló a la estructura metálica (como el de la figura 28).

Una vez instalados los filtros de 10  $\mu\text{m}$  e instalados los codos en forma de "U", se instalaron los dos filtros de 5  $\mu\text{m}$ , siguiendo el sentido del flujo tal cual se hizo con los filtros anteriores. Al igual que antes, se usaron niples cortos de 1" y uniones universales para facilitar su ensamblado. Se tuvo que sellar cualquier fuga en el roscado con teflón. Luego, al final del ensamblado de los filtros de 5  $\mu\text{m}$ , se ensambló un codo formando una "U" para continuar la instalación de los siguientes filtros. También, como antes, se instaló una válvula de purga y otro manómetro.

Posterior a los filtros de 5  $\mu\text{m}$ , se colocó un filtro de 1  $\mu\text{m}$  (véase figura 30), siguiendo el sentido del flujo tal cual se hizo con los filtros anteriores y en la misma línea. Al igual que los anteriores, se usaron niples cortos de 1" y uniones universales para facilitar su ensamblado.



Figura 30. Filtros de 1  $\mu\text{m}$

Fuente: (Fiestas Chávez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

Luego de colocar el filtro de 1  $\mu\text{m}$ , se instaló una “U” usando codos, niples cortos de 1” y en el centro dos “T” donde se instaló un manómetro y una válvula de purga (véase figura 31).



Figura 31. Instalación de accesorios

Fuente: (Fiestas Chávez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

Continuando el circuito de filtros, se instaló el filtro de 0.2  $\mu\text{m}$ , usando una unión universal y niples cortos de 1”. A continuación, se instaló el filtro de carbón activo y se colocaron 2 “T” para la instalación de un manómetro y una válvula de purga, además de un niple de 1” x 6” de largo que se utilizó para acoplar la lámpara UV, y se incluyó una unión universal al final (véase figura 32).



Figura 32. Unión universal

Fuente: (Fiestas Chávez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

#### 4.5.4 Colocación de la lámpara UV

La lámpara UV es la parte final del proceso de purificación del agua. Tiene dos tomas de agua, una de entrada y otra de salida, y están dispuestas en paralelo. La lámpara se instaló en perpendicular a los filtros, de tal manera que la salida de agua tratada estuviera fuera del sistema con una válvula para facilitar la recolección. Finalmente, se realizó la instalación al sistema eléctrico alimentado por los paneles solares.

Para la instalación de la lámpara se tuvo en cuenta lo siguiente. Dentro del armazón de la lámpara había instalado un tubo de cuarzo, el cual servía para la protección de la lámpara UV (que es muy frágil) y de la cual había que tener especial cuidado en la manipulación; para evitar rupturas. De esta manera, para sujetar dicho tubo de cuarzo, se usaron 2 anillos de goma para evitar el deslizamiento y unas tapas roscadas situadas a ambos extremos que terminaron de asegurarla (véase figura 33 y 34).

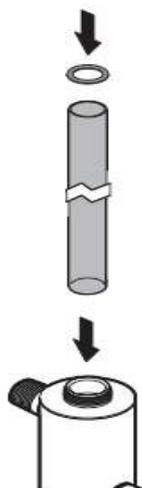


Figura 33. Anillos de goma

Fuente: (Fiestas Chávez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

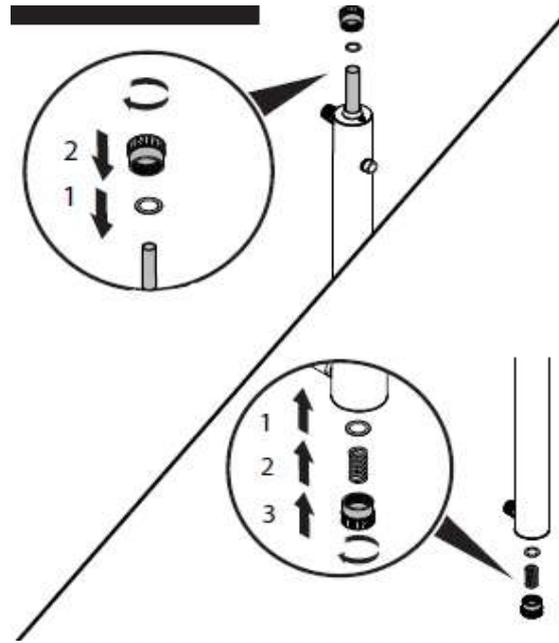


Figura 34. Tapas de acople

Fuente: (Fiestas Chávez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

Una vez puesto el cuarzo de protección, se colocó la lámpara UV y se conectó los pines al socket alimentador (véase la figura 35) el que cuenta con un indicador visual de vida útil, de 365 días en total, que irán descontándose hasta llegar a cero, momento en cual la lámpara llegará a su fin de vida útil y tendrá que ser reemplazada.

La lámpara cuenta con una abrazadera de metal que se sujetó al soporte de metal para evitar golpes que puedan dañar su delicada estructura y componentes.

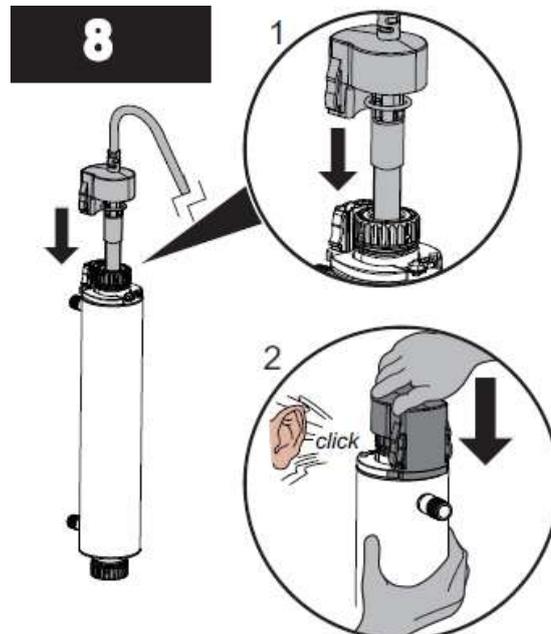


Figura 35. Socket alimentador

Fuente: (Fiestas Chávez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

Una vez terminada la instalación, el equipo se representó en la fotografía de la figura 36. Luego de instalado el sistema energético (véase el apartado siguiente), el sistema tendría que operar por los paneles solares y las baterías que almacenan la carga necesaria para su funcionamiento, los que brindarían una autonomía de hasta 8 horas de trabajo continuo.

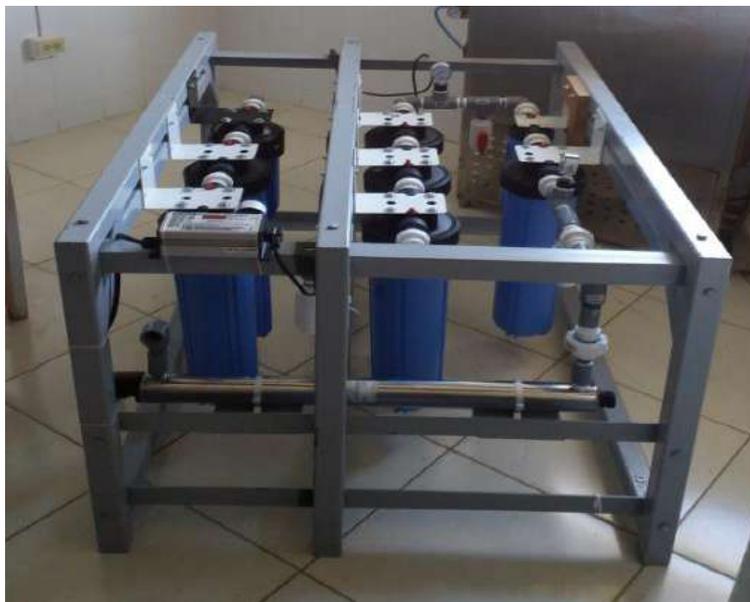


Figura 35. Sistema de filtros instalado  
Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

#### 4.5.5 Instalación de paneles fotovoltaicos

La estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos, se diseñó considerando las facilidades de movilidad y de montaje del sistema de suministro de energía eléctrica fotovoltaica expuesta al inicio.

Esta estructura se complementa con perfiles metálicos, en los que se han fijado los paneles solares fotovoltaicos, de esta forma se protegen mecánicamente y a la vez facilitan su traslado y ensamblaje. Para las baterías y tableros de control se utilizó un pequeño remolcador que facilite su traslado.



Figura 36. Estructura de paneles fotovoltaicos  
Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

Sobre la estructura se montó el sistema de suministro eléctrico fotovoltaico, que está compuesto por los 5 paneles fotovoltaicos marca DAYU SOLAR y 6 baterías de gel interconectadas, y un tablero eléctrico de protección y control. En la imagen 36 y 37 se pueden apreciar la estructura y el montaje de los paneles fotovoltaicos.



Figura 37. Paneles fotovoltaicos instalados  
Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

#### 4.5.6 Pruebas de funcionamiento

Previo al funcionamiento, se debieron colocar los paneles solares de tal forma que se logre captar la mayor cantidad de luz solar; para cargar las baterías durante por lo menos 3 horas. En caso sea necesario, se podría elevar los paneles solares para evitar interferencia con estructuras cercanas que puedan generar sombras, con la estructura de soporte de paneles de la figura 36. Esta consta de dos partes y cuatro parantes que se unen con pernos hexagonales.

Los tanques de alimentación del sistema tuvieron el volumen suficiente de agua previamente tratada para poder iniciar el proceso de purificación. Debido a que el sistema tiene un flujo de proceso de 2 m<sup>3</sup>/h, tuvo que asegurarse que los tanques sean de un volumen mucho mayor. Además, el agua de ingreso no debía exceder los 40 NTU para salvaguardar la integridad de los filtros e incrementar su vida útil.

Antes de encender la bomba, tuvo que cebarse para evitar que el aire obstaculice trabajar el sistema por una pérdida de presión. Después de instalar todo lo anterior, se inició el bombeo del agua decantada hacia el prototipo tal como se muestra en la figura 38.



Figura 38. Adecuación de ambientes

Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

El prototipo no presentó problemas en la prueba de funcionamiento; operó con normalidad y sin esfuerzo. Después de operar el prototipo por una hora, evaluando las caídas de presiones y caudales (presión a la entrada 20 psi, presión a la salida 12 psi, caudal 1.62 m<sup>3</sup>/h), se procedió a la toma de muestras a la salida del prototipo (véase figura 39) que fueron extraídas para analizar parámetros físicos-químicos, microbiológicos y biológicos. Para más detalles, véase el apartado 5.2.1. en el capítulo siguiente.



Figura 39. Toma de muestras a la salida del prototipo

Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

#### 4.5.7 Especificaciones técnicas

Finalmente, se presentan las especificaciones técnicas de los filtros y la lámpara que componen el sistema de filtros. Los demás procedimientos, formas de uso y mantenimiento, se pueden encontrar en el Instructivo de operación y mantenimiento del equipo purificador de agua por filtración (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018). A saber:

Tabla 8. Especificaciones técnicas de la lámpara UV

Especificación		Lámpara UV S8Q-PA
Caudal		4.5 m <sup>3</sup> /h
Dimensiones	Cámara	90 cm x 6.4 cm
	Controlador	18.6 cm x 8.1 cm x 6.4 cm
Tamaño de puerto de entrada y salida		3/4"
Peso		4.5 Kg
Eléctrico	Tensión	100-240 V/50/60Hz
	Corriente máxima	0.6 Amp
	Consumo de energía	46 W
	Vatios de la lámpara	37 W
Presión máxima de funcionamiento		125 psi
Presión mínima de funcionamiento		15 psi
Temperatura del agua		2 – 40 °C
Tipo de lámpara		Sterilume – EX (rendimiento estándar)
Material de la cámara		304 SS

Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)

Tabla 9. Especificaciones técnicas de los filtros

Especificación	Filtro de 50 µm	Filtro de 10 µm	Filtro de 5 µm	Filtro de 1 µm	Filtro de 0.2 µm	Filtro de carbón activo
Dimensiones	10" x 6" Φ	20" x 5" Φ	20" x 5" Φ	20" x 5" Φ	10" x 2.5" Φ	10" x 6" Φ
Capacidad de producción	80 L/min	80 L/min	50 L/min	50 L/min	50 L/min	50 L/min
Tipo de conexión	1"	1"	1"	1"	3/4"	1"
Pérdida de flujo	2 psi	3 psi	2.5 psi	2 psi	3 psi	2.5 psi
Propósito	Eliminar partículas de polvo o tierra	Eliminar larvas de nematodos, huevos de rotíferos, cladoceros, copepodos, huevos de helmintos, parasitarias, algas	Eliminar bacterias, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos, helmintos, mohos, levaduras	Eliminar quistes y ooquistes de protozoarios como Cryptosporidium, sp, bacterias, hongos, ciliados, flagelados y ameboides	Eliminar bacterias, ooquistes y quistes protozoarios patógenos	Eliminar olor y sabor

Fuente: (Fiestas Chévez, Sánchez, & Echevarría, 2018)



## Capítulo 5

### Presupuesto y análisis comparativo

En este capítulo final, se pretende mostrar la inversión necesaria para la construcción del prototipo. Además de las pruebas de inocuidad y de aceptación del mercado del agua tratada por el prototipo.

#### 5.1 Presupuesto de inversión

El monto de inversión que el prototipo requirió fue 203,100.00 (doscientos tres mil cien) soles, desarrollados en aproximadamente dos años de trabajo.

Como se mencionó, el financiamiento de la investigación se logró por un convenio con una institución estatal peruana. La participación económica por parte de las entidades involucradas en la elaboración del proyecto se dividió de la siguiente manera: la Universidad de Piura aportó con 10.78%, EMBONOR del Norte E.I.R.L. aportó con 15.53% y por último FIDECOM (Fondo de Investigación y Desarrollo para la Competitividad) tuvo un aporte de 73.69%. Los detalles se muestran en las tablas 10 y 11.

Tabla 10. Presupuesto por entidades aportantes

Nombre de la Entidad	Aporte No Monetario S./	Aporte Monetario S./	Aporte Total S./	Porcentaje %
<b>Entidad Solicitante</b>				
Embotelladora del Norte Empresa Individual de Responsabilidad Limitada - EMBONOR DEL NORTE E.I.R.L	10,800.00	20,737.28	31,537.28	15.53
<b>Entidad(s) Asociadas</b>				
Universidad de Piura	21,900.00	0.00	21,900.00	10.78
<b>RNR</b>				
FIDECOM	0.00	149,662.72	149,66.72	73.69
	32,700.00	170,400.00	203,100.00	100.00

Fuente: (Proyecto PIMEN, 2016)

Tabla 11. Presupuesto por partida de gasto y entidades aportantes

Partida Presupuestal de gasto	Aporte Monetario FIDECOM S./	Aporte Monetario Entidad Solicitante S./	Aporte Monetario Entidad Asociada S./	Aporte No monetario Entidad Solicitante S./	Aporte No monetario Entidad Asociada S./	Total S./	Total %
Honorarios	22,400.00	0.00	0.00	10,800.00	21,900.00	55,100.00	14.97
Materiales e Insumos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Otros Gastos Elegibles	14,669.50	2,330.50	0.00	0.00	0.00	17,000.00	9.80
Pasajes y Viáticos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Servicios de terceros	69,491.52	12,508.48	0.00	0.00	0.00	82,000.00	46.43
<b>TOTAL</b>	<b>149,662.72</b>	<b>20,737.28</b>	<b>0.00</b>	<b>10,800.00</b>	<b>21,900.00</b>	<b>203,100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: (Proyecto PIMEN, 2016)

## 5.2 Pruebas de validación

Se realizaron dos pruebas para validar el prototipo de acuerdo a la calidad de la misma y la aceptación del mercado. Estas se describen a continuación.

### 5.2.1 Pruebas de calidad e inocuidad

Para cumplir con el requisito de convertir el agua del canal fuente en tratada se procedió a realizar los análisis calidad del agua a la salida del prototipo.

Estos análisis fueron realizados con muestras colectadas por el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (Instructivo para la Toma, Conservación y Transporte de muestras I-19-01), por personal capacitado de la Universidad de Piura, en abril de 2018 a la salida de prototipo de potabilizadora portátil de la Planta Spring, en Marcavelica, Sullana.

De acuerdo al informe de interpretación de resultados de dicho Laboratorio y según el DS-004-2017-MINAM subcategoría A2 “Aguas que pueden ser potabilizadas por tratamiento convencional”, los parámetros físicos-químicos del agua tratado cumplen con los exigidos el DS-004-2017-MINMAN a cabalidad.

Respecto a los análisis microbiológicos (bacterias heterotróficas, Coliformes termotolerantes, Escherichia coli y Pseudomonas aeruginosa) y biológicos (huevos de Helminto, Quistes y ooquiste de Protozoarios patógenos y organismos de vida libre), los parámetros cumplen con lo exigido por el DS-004-2017-MINMAN. Lo que evidencia el nivel de efectividad del prototipo para potabilizar el agua. Por lo cual, se concluye que el agua tratada por el prototipo tiene una excelente calidad.

Cabe mencionar que los Organismos libres sufrieron una eliminación total en el agua tratada, como en el caso de las algas (véase la tabla 12). Para más detalles, véase los informes de ensayo y de interpretación en el anexo 7.

Tabla 12. Comparación de resultados de calidad del agua fuente y prototipo

<b>Análisis</b>	<b>Unidades</b>	<b>Parámetros Agua fuente</b>	<b>Parámetros Prototipo (L.D.M)</b>
<b>Microbiológicos</b>			
<b>Bacterias heterotróficas</b>	UFC/mL	5200	<1
<b>Coliformes termotolerantes</b>	NMP/100 mL	110	<1.1
<b>Echerichia coli</b>	NMP/100 mL	110	<1.1
<b>Pseudomonas aeruginosa</b>	NMP/100 mL	1600	<1.1
<b>Biológicos</b>			
<b>Huevos helminto</b>	Huevos/L	32	<1
<b>Quistes y ooquistes de Protozoarios Patógenos</b>	Organismos/L	<1	<1
<b>Algas</b>	Organismos/L	24148	<1
<b>Copépodos</b>	Organismos/L	<1	<1
<b>Rotíferos</b>	Organismos/L	12	<1
<b>Nematodos</b>	Organismos/L	<1	<1
<b>Protozoarios</b>	Organismos/L	13560	<1

\*L.D.M. = Límite de detección del método

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.2 Pruebas de consumidores

Para validar la aceptación en el mercado el agua tratada por el prototipo compacto, se realizó una investigación para identificar al consumidor de agua embotellada en la zona de influencia del proyecto (Piura y Sullana).



Figura 40. Trabajo de campo del estudio de mercado

Fuente: (Pasache, 2018)

Dicho estudio fue cuantitativo mediante 400 encuestas con pruebas de producto a los usuarios finales y distribuidores (véase figura 40). En el trabajo de campo, se explicó a los encuestados el compromiso de la empresa con el cuidado del medio ambiente cuyo proyecto consistió en la fabricación del prototipo portátil que se adecua a situaciones de emergencia como la de El Niño Costero 2017 (Pasache, 2018).

A nivel de prueba de concepto, se evaluó la iniciativa y se obtuvo el *top two box* (buena y muy buena) un 91%, debido al concepto de compromiso por parte de la empresa; y, las características del prototipo con el uso de baterías de filtros se entendieron en el 84% de los encuestados.

Posteriormente, se les obsequió un bidón de 7 litros y al degustar el agua elaborada con el prototipo se obtuvo que el sabor era “muy buena” en un 32%, y “buena” en un 55% (véase tabla 13); finalmente, el 90% de los encuestados mencionó que compraría el producto. Con lo cual se comprueba una notable aceptación.

Tabla 13. Prueba de producto-sabor

Ciudad		Piura			Sullana
Distrito		Piura	Castilla	26 de Octubre	Sullana
<b>TOTAL ENCUESTAS</b>	<b>376</b>	<b>160</b>	<b>40</b>	<b>128</b>	<b>48</b>
<b>Muy buena</b>	<b>32%</b>	29.4	32.5	43.8	10.4
<b>Buena</b>	<b>55%</b>	48.1	52.5	53.9	83.3
<b>Indiferente</b>	<b>5%</b>	8.1	2.5	2.3	4.2
<b>Mala</b>	<b>0%</b>	0	0	0	0
<b>Muy mala</b>	<b>0%</b>	0	0	0	0
<b>NC</b>	<b>8%</b>	14.4	12.5	0	2.1

Fuente: (Pasache, 2018)

### 5.3 Rendimiento del sistema actual versus el prototipo

En la tabla 14 se muestra el análisis comparativo entre el sistema de potabilización actual de la empresa y el prototipo.

Tabla 14. Rendimiento sistema actual-prototipo

Variable	Actual	Prototipo
Costo de energía	3.75 soles(hora) – 10950 soles(año)	60.5 soles (sistemas fotovoltaico)
Volumen ocupado	120 m <sup>3</sup>	1.04 m <sup>3</sup>
Área ocupada	60 m <sup>2</sup>	1.3 m <sup>2</sup>
Caudal	2 m <sup>3</sup> /h	1.62 m <sup>3</sup> /h
Dimensiones (m)	15x4x2	1.3x1.0x0.8

Fuente: (Echevarría, 2017)

Como se puede observar, el prototipo tiene un gran ahorro de espacio en comparación al sistema actual de la empresa. El prototipo implica una reducción del 99% del volumen actual., lo que podría significar tener una serie de plantas compactas para aumentar su producción actual en el mismo espacio.

Asimismo, el sistema actual utiliza la energía de la red pública, costando 3.75 soles por kWh, siendo el costo anual de 10950 soles, mientras que el prototipo se alimenta de un sistema fotovoltaico haciendo que en el costo de la energía se considere:

Costo del sol: 0 soles

Amortización de los paneles solares:

Método lineal:

Valor amortizable: Inversión total de paneles solares: 2512.5 soles

Vida Útil : 25 años

Valor de Remanenteo: 1012.5 soles

Amortización : 60 soles (costo anual).

Por otro parte, el caudal del sistema actual de potabilización es de 2000 litros de agua potable por hora de producción, mientras que el sistema del prototipo en sus primeras pruebas de funcionamiento fue de 1620 litros; lo que se espera mejorar con las siguientes (Echevarría, 2017).

En general, el prototipo cumple con todos los requisitos y características propuestas. Su rendimiento es notablemente mejor al sistema actual y la calidad del agua es excelente para el consumo humano. Por lo tanto, queda demostrado que la innovación descrita está por demás fundamentada y aprobada por los organismos supervisores y desarrolladores. El prototipo actualmente está operando en las instalaciones de la planta.



## **Conclusiones y recomendaciones**

En la actualidad el ser humano sigue resolviendo los mismos problemas que tuvo desde que decidió asentarse en un solo lugar. Sin duda quedan hitos por cumplir, nuevas tecnologías que desarrollar para garantizar que algo tan vital como agua salubre llegue al alcance de quienes lo carecen. En la mayoría de países afortunadamente el porcentaje de éstos es minoritario y eso debe ser un aliento para no dejar en el olvido a esos 1 800 millones de personas que aún no se abastecen de agua potable.

Con respecto al prototipo, la simulación digital ha permitido mejorar el diseño desde el principio. Debido a que el reto principal fue las pequeñas dimensiones, el modelamiento digital ha permitido optimizar los recursos y el espacio requerido para el fácil traslado. Asimismo, el diseño de una estructura modular y la facilidad de acople que presenta entre sus componentes le confiere atributos de movilidad y facilidad de mantenimiento. También, el uso de un variador de velocidad para el control del sistema de bombeo, permite tener flexibilidad en su funcionamiento.

En cuanto al uso de energía solar fotovoltaica, se garantiza la independencia energética del prototipo hasta por 8 horas continuas. Y, debido a que el nivel de radiación solar en la región Piura es alta, se sugiere apostar por ideas innovadoras que promuevan este tipo de energía. Además, el bajo costo ambiental funciona también como un catalizador para la promoción de esta energía.

El prototipo compacto se puede presentar como una alternativa de solución importante para poder contrarrestar el desabastecimiento del agua potable ante la posible ocurrencia de un nuevo fenómeno el Niño costero, de igual o mayor magnitud, o simplemente de zonas donde ahora mismo es inaccesible este recurso.

El trabajo conjunto que la Universidad de Piura y la empresa Embotelladora del Norte E.I.R.L. desarrollaron en el prototipo innovador, a pesar de ser de pequeña escala, tuvo un gran éxito tanto para la empresa como de investigación para la región Piura. Por tal, se recomienda a la Universidad de Piura continuar estableciendo relaciones con pequeñas y medianas empresas para desarrollar proyectos en beneficio mutuo.



## Referencias bibliográficas

- Andina Noticias. (15 de Octubre de 2018). *Sedapal invertirá S/ 1,200 millones en proyectos de agua y ampliación de redes*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-sedapal-invertira-s-1200-millones-proyectos-agua-y-ampliacion-redes-728582.aspx>
- Ascencio, M. T. (2005). *Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones*. En S. S. Water. La Plata: Instituto Mexicano de Tecnología de Agua.
- Autoridad Nacional del Agua. (15 de Agosto de 2018). *Fuentes de financiamiento*. Obtenido de <http://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/fuentes-de-financiamiento>
- Banco Mundial. (06 de 07 de 2018). *Indicadores de desarrollo mundial - Google public Data explorer*. Obtenido de <https://goo.gl/GHwxxw>
- BBC. (2014). *BBC History Figures - John Snow (1813 - 1858)*. Obtenido de [http://www.bbc.co.uk/history/historic\\_figures/snow\\_john.shtml](http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/snow_john.shtml)
- Belletich, E. (12 de marzo de 2017). *El cambio climático ocasiona variaciones en el tipo de tormenta*. Obtenido de <http://udep.edu.pe/ingenieria/noticias/2017/el-cambio-climatico-ocasiona-variaciones-en-el-tipo-de-tormentas-y-en-la-intensidad-de-las-lluvias/>
- Belletich, E. (17 de marzo de 2017). *La anomalía promedio de la temperatura del mar sigue en 6 grados*. Obtenido de <http://udep.edu.pe/hoy/2017/la-anomalia-promedio-de-la-temperatura-del-mar-sigue-en-6-gradus/>
- Cárdenas, Y. A. (2000). *Tratamiento de agua, coagulación y floculación*. Lima.
- Comisión Multisectorial encargada del estudio nacional del fenómeno El Niño. (2017). *Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN*. Lima.
- Consejo Consultivo del Agua. (2011). *El agua en el mundo*. Obtenido de <http://www.aguas.org.mx/sitio/publicaciones/agua-en-el-mundo/agua-en-el-mundo.pdf>
- DCA News. (2018). *Planta potabilizadora compacta*. Obtenido de <http://www.diariodeciencias.com.ar/planta-potabilizadora-compacta/>

- Diario Correo. (28 de 07 de 2017). *DiarioCorreo*. Obtenido de <https://diariocorreo.pe/politica/ppk-en-mensaje-a-la-nacion-el-agua-va-a-ser-el-legado-de-este-gobierno-764552/>
- DIGESA. (1998). *Reglamento sobre Vigilancia y Control Sanitario de Alimentos y Bebidas*. Lima: DECRETO SUPREMO N° 007-98-SA.
- Echevarría, J. (2017). *Análisis comparativo proceso actual y prototipo*. Piura: Embotelladora del Norte E.I.R.L.
- Echevarría, J. (2017). *Diseño sanitario e hidráulico de planta compacta de tratamiento de agua superficial*. Piura: Embotelladora del Norte E.I.R.L.
- Echevarría, J. (2017). *Informe de funcionamiento de prototipo*. Piura: Embotelladora del Norte E.I.R.L.
- El Comercio. (4 de Noviembre de 2015). *¿Cuál es la calidad de agua que consumen los peruanos?* Obtenido de <https://rpp.pe/lima/actualidad/cual-es-la-calidad-de-agua-que-consumen-los-peruanos-noticia-910749>
- El Comercio. (13 de Octubre de 2016). *MVCS: Ejecución en proyectos de agua y saneamiento es baja*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/economia/peru/mvcs-ejecucion-proyectos-agua-saneamiento-baja-226933>
- El Comercio. (6 de Mayo de 2017). *El impacto de El Niño costero en las EPS*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/economia/impacto-nino-costero-eps-422944>
- El Comercio. (30 de enero de 2017). *Piura registró una sensación térmica de 40 grados*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/peru/piura/piura-registro-sensacion-termica-40-grados-161945>
- El Correo. (3 de 3 de 2016). *Con planta portátil de agua potable EPS abastecerá a Los Ángeles*. Obtenido de <https://diariocorreo.pe/edicion/moquegua/con-planta-portatil-de-agua-potable-eps-abastecera-a-los-angeles-657684/>
- El País. (13 de Mayo de 2015). *América Latina: la región con más agua, la más castigada por la sed*. Obtenido de [https://elpais.com/internacional/2015/05/13/actualidad/1431542093\\_232345.html](https://elpais.com/internacional/2015/05/13/actualidad/1431542093_232345.html)
- ElDiario.ec. (2 de 6 de 2017). *Agua potable para dos parroquias*. Obtenido de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/435049-agua-potable-para-dos-parroquias/>
- ElDiario.ec. (26 de 05 de 2018). *500 personas recibirán agua potable en Jama*. Obtenido de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/472788-500-personas-recibiran-agua-potable-en-jama/>
- Embotelladora del Norte EIRL. (2018). *Análisis de puntos críticos de control (HACCP)*. Piura.
- Embotelladora del Norte. (s.f.). *Sobre nosotros*. Obtenido de [www.aguaspring.com](http://www.aguaspring.com)

- EPS Grau SA. (2 de febrero de 2017). NOTA DE PRENSA N° 023 02 DE FEBRERO DE 2017. *EPS GRAU S.A. hace un llamado a todas las municipalidades y a sus usuarios de su jurisdicción de no arrojar agua de lluvias al sistema de alcantarillado*, pág. 1.
- Essence. (26 de Octubre de 2017). Obtenido de Planta purificadora de agua de mesa en Perú: <http://essence.pe/planta-purificadora-de-agua/>
- FAO. (1997). Obtenido de SISTEMA DE ANÁLISIS DE PELIGROS Y DE PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL (HACCP) Y DIRECTRICES PARA SU APLICACIÓN: <http://www.fao.org/docrep/005/y1579s/y1579s03.htm>
- FAO. (2007). *Directrices FAO/OMS para los gobiernos sobre la aplicación del sistema de APPCC en empresas alimentarias pequeñas y/o menos desarrolladas*.
- FAO. (2018). Obtenido de <http://www.fao.org/home/en/>
- Fiestas Chévez, J. H. (2017). *Diseño mecánico eléctrico de planta compacta de tratamiento de agua superficial*. Piura: Embotelladora del Norte E.I.R.L.
- Fiestas Chévez, J. H. (2017). *Informe de instalaciones electromecánicas de planta compacta de tratamiento de agua superficial*. Piura: Embotelladora del Norte E.I.R.L.
- Fiestas Chévez, J. H., Sánchez, E., & Echevarría, J. (2018). *Informe de fabricación de planta compacta de tratamiento de agua superficial*. Piura: Embotelladora del Norte E.I.R.L.
- Fiestas Chévez, J. H., Sánchez, E., & Echevarría, J. (2018). *Instructivo de operación y mantenimiento del equipo purificador de agua por filtración*. Piura: Universidad de Piura.
- Fonseca, J. C. (2017). *Aplicación de la logística humanitaria para entender la emergencia ocasionada por el Niño Costero en Piura*. Piura.
- Gapminder. (2017). *Gapminder unvelling the beauty of statistics for a fact based worldview*. Obtenido de [www.gapminder.org](http://www.gapminder.org)
- Gerolsteiner. (2018). *Water Lexicon*. Obtenido de <https://www.gerolsteiner.de/en/water-knowledge/water-lexicon/table-water/>
- Gestión. (23 de 08 de 2016). *El BID destina el 20% de sus inversiones en Perú a proyectos de agua y saneamiento*. Obtenido de <https://gestion.pe/economia/bid-destina-20-inversiones-peru-proyectos-agua-saneamiento-113246>
- Gestión. (17 de Marzo de 2017). *Se triplica demanda de agua embotellada en Lima por efecto de lluvias y huaicos*. Obtenido de <https://gestion.pe/economia/triplica-demanda-agua-embotellada-lima-efecto-lluvias-huaicos-130960>
- Gruas y Equipos García. (18 de Agosto de 2013). Obtenido de <https://www.gruasyequiposgarcia.com>: <https://www.gruasyequiposgarcia.com/tag/que-es-el-izaje/>

- Gutierrez, P., Fiestas, H., Sánchez, E., & Echevarría, J. (2017). *Estudio de caracterización calidad de las aguas del canal Biaggio Arbulú para el diseño sanitario de*. Piura: EMBOTELLADORA DEL NORTE E.I.R.L.
- Hernandez, E. J., & Corredor, C. A. (2017). *Diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento para la potabilización de agua, se dispondrá en el laboratorio de aguas de la Universidad Católica de Colombia*. Bogotá: Tesis de pregrado. Obtenido de <https://goo.gl/gY9AVP>
- Howard, G., & Bartram, J. (2003). *Domestic Water Quantity, Service, Level and Health*. Geneva: World Health Organization. Obtenido de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/WSH03.02.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf?ua=1)
- INDECI. (2018). Obtenido de <https://www.indeci.gob.pe/objetos/secciones/OQ==/NDY=/lista/MzMx/MTAwMg==/201803011505431.pdf>
- INEI. (2018). *Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico*. Lima: INEI.
- Innovate Perú. (02 de 11 de 2007). *PRODUCE destinará S/2.5 millones de soles a proyectos que planteen soluciones innovadoras a problemas sociales*. Obtenido de <https://innovateperu.gob.pe/noticias/noticias/item/1384-produce-destinara-s-2-5-millones-para-proyectos-que-planteen-soluciones-innovadoras-a-problemas-sociales>
- Minchán, H. (11 de Diciembre de 2012). *Slideshare.net*. Obtenido de Agua de mesa: <https://es.slideshare.net/hahimive/agua-de-mesa-15597414>
- Ministerio de la Producción. (09 de 2017). *Reto Bio | Agritec/ Foodtec/ biotec*. Obtenido de <http://retobio.produce.gob.pe/>
- Ministerio de la Producción. (s.f). *Innovate Perú*. Obtenido de <https://www.innovateperu.gob.pe/quienes-somos/historia>
- Ministerio de Salud. (2006). *Norma Sanitaria para la Aplicación del sistema HACCP en la Fabricación de Alimentos y Bebidas*. Lima.
- Ministerio de Salud. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Lima.
- Ministerio de Salud. (2018). *SalaSE03*. Obtenido de <http://www.dge.gob.pe/portal/docs/vigilancia/sala/2018/SE03/dengue.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). Decreto Supremo que aprueba el Plan Nacional de Saneamiento 2017 - 2021. *DECRETO SUPREMO N° 018-2017-VIVIENDA*. Lima metropolitana, Perú: El Peruano.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *El fenómeno EL NIÑO en el Perú*. Lima: Impresiones y Servicios Generales TAWA.

- Molero, J. A. (2008). *“Diseño preliminar de una planta de tratamiento de agua para el consumo humano en los distritos de Andahuaylas, San Jerónimo y Talavera de la Reyna, provincia de Andahuaylas, Región Apurímac”*. Lima.
- NIÑO”, C. M. (2017). *Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN*. Lima.
- ONU. (12 de 08 de 2018). Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- ONU. (13 de 08 de 2018). Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- ONU. (14 de 08 de 2018). *Indicadores del Milenio*. Obtenido de unstats | Indicadores del Milenio: <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Data.aspx>
- Organización Mundial de la Salud - Organización Panamericana de la Salud. (2010). *Desigualdades en el acceso, uso y gasto del agua en América Latina y el Caribe*. Washington.
- Organización Panamericana de la Salud. (2002). *Impacto del Fenómeno del Niño en Infraestructura de Agua Potable - Lecciones Aprendidas en Ecuador*. Quito.
- Pasache, M. (2018). *Estudio de mercado del proyecto: "Desarrollo de un prototipo compacto que potabilice agua superficial con procesos mejorados e independencia energética en el caserío Las Vegas, Piura"*. Piura: Universidad de Piura.
- Passport Health Global. (2018). *Prevención del Dengue*. Obtenido de <https://www.passporthealthglobal.com/mx/medicina-del-viajero/prevencion-de-dengue/>
- Perú 21. (5 de 5 de 2017). *Sepa cómo eliminar el dengue*. Obtenido de <https://peru21.pe/lima/sepa-eliminar-criaderos-zancudo-contagian-dengue-71694>
- Publímtero. (18 de 10 de 2018). *Ayacucho: conoce a la ingeniera peruana que inventó prototipo para purificar el agua*. Obtenido de <https://publimetro.pe/actualidad/noticia-ayacucho-conoce-ingeniera-peruana-que-invento-prototipo-purificar-agua-83842>
- Rosling, H. (2018). *Factfulness: Ten Reasons We're Wrong About the World--and Why Things Are Better Than You Think*. New York: Flatiron.
- SEDAPAL. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUA - COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN*. Lima.
- Sunass. (2015). *NOTA DE PRENSA N° 161- 2015: Comprar agua por camión cisterna le cuesta a las familias limeñas 72 soles mensuales*. Lima. Obtenido de [http://www.sunass.gob.pe/doc/NotasPrensa/2015/enero/np161\\_2015.pdf](http://www.sunass.gob.pe/doc/NotasPrensa/2015/enero/np161_2015.pdf)
- Tecnoaqua. (16 de 03 de 2016). *Sahler aporta sus plantas potabilizadoras a dos hospitales de África*. Obtenido de <https://www.tecnoaqua.es/noticias/20160316/sahler-plantas-potabilizadoras-hospitales-africa#.W8tC-UtKjtQ>

TP Laboratorio Químico. (2018). *¿Qué es la filtración?* Obtenido de <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/procedimientos-basicos-de-laboratorio/que-es-la-filtracion.html>

Vila, J. V. (26 de 3 de 2017). *El niño (terrible) y la historia*. Obtenido de <https://elperuano.pe/noticia-el-nino-terrible-y-historia-53315.aspx>

World Health Organization. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva.

WSP. (30 de 12 de 2006). *Water Sanitation Program*. Obtenido de [https://web.archive.org/web/20061230203114/http://www.wsp.org/07\\_Latin.asp](https://web.archive.org/web/20061230203114/http://www.wsp.org/07_Latin.asp)

## **Anexos**

## Anexo A1: Informe de Ensayo IE-093/17



UNIVERSIDAD  
DE PIURA  
Facultad de Ingeniería

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 097



Registro N° LE - 097

### INFORME DE ENSAYO N° 93 /17

Pág. 1 de 7

Solicitante	:	Embotelladora del Norte E.I.R.L.
Domicilio legal	:	Cal. Grau Nro. 245 (Planta de agua Spring) Piura-Sullana-Marcavelica
Solicitud de ensayo(s)	:	Cotización N° 242/17
Cantidad de muestras	:	1
Producto(s) descrito(s) como	:	Agua Natural-Agua superficial
Observación de la(s) muestra(s)	:	Muestras colectadas por el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (Instructivo para la Toma, Conservación y Transporte de muestras I-19-01)
Cantidad de muestra para ensayo(s)	:	Aproximadamente 20 L
Forma de presentación	:	Botellas de plástico y vidrio, en buenas condiciones
Fecha de recepción de la(s) muestras(s)	:	03/07/2017
Fecha de inicio de ensayo(s)	:	03/07/2017
Fecha de fin de ensayo(s)	:	11/07/2017
Validez del documento	:	Este documento es válido solo para la(s) muestra(s) descrita(s).

Código: R-22-01

Versión: 1.4



UNIVERSIDAD  
DE PIURA  
Facultad de Ingeniería

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 097



Registro N° LE - 097

## INFORME DE ENSAYO N° 93 /17

Pág. 2 de 7

Código de laboratorio	Lab 169/17		
Código de cliente	M1		
Fecha de muestreo	03/07/2017		
Hora de muestreo	10:40 a.m.		
Lugar de muestreo	Canal Biaggio Arbulú Altura Puente I.M.P		
Coordenadas	E	17M 0543016	
	N	9427012	
	Altitud(msnm)	32	
Tipo de producto	Agua superficial		

Tipo de ensayo	Unidad	L.D.M	Resultado
<b>Análisis y/o mediciones de campo<sup>(C)</sup></b>			
Conductividad	µS/cm	---	876
pH	Unidades de pH	---	8,02
<b>Análisis Fisicoquímicos</b>			
<sup>(*)</sup> <sup>(**)</sup> Cianuro total	mg CN/L	0,002	< 0,002
<sup>(*)</sup> Cloruros	mg Cl/L	1	316
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	2	2
<sup>(*)</sup> Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	1	246
<sup>(*)</sup> Nitratos	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	0,4	1,5
<sup>(*)</sup> Nitritos	mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L	0,003	0,018
<sup>(*)</sup> Nitrógeno Amoniacal	mg NH <sub>3</sub> -N/L	0,1	< 0,1
Sólidos sedimentables	mL/L	---	0,1
Sólidos totales	mg Sólidos totales/L	3	620
Sólidos totales suspendidos	mg Sólidos totales suspendidos/L	3	50
<sup>(*)</sup> Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	1	194
<sup>(*)</sup> Turbiedad	NTU	0,1	48,2

Código: R-22-01

Versión: 1.4

Los ensayos han sido realizados en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura.  
Av. Ramón Mugica 131, Urb. San Eduardo - Piura, Perú. Apartado Postal 353  
Telf.: (51-73) 284500 Fax: (51-73) 284510 Cel.: 969 848 198 RPM #297959 E-mail: lis-ihhs@udep.pe / www.udep.edu.pe



INFORME DE ENSAYO N° 93 /17

Pág. 3 de 7

Tipo de ensayo	Unidad	L.D.M	Resultado
<b>Análisis Microbiológicos</b>			
Bacterias heterotróficas <sup>(1)</sup>	UFC/mL	1	7 400
Coliformes termotolerantes (NMP)	NMP/100 mL	1,8	540
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	1,8	540
<sup>(2)</sup> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	NMP/100 mL	1,8	1 600
<b><sup>(3)</sup>Análisis Biológicos</b>			
Huevos de Helminto	Huevos/L	1	26
Quistes y oquistes de Protozoarios patógenos	Organismos/L	1	< 1
Algas	Organismos/L	1	13188
Copépodos	Organismos/L	1	< 1
Organismos de vida libre	Organismos/L	1	< 1
Rotíferos	Organismos/L	1	< 1
Nematodos	Organismos/L	1	< 1
Protozoarios	Organismos/L	1	2396
<b><sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup> Análisis de Metales Pesados</b>			
Aluminio total	mg/L	0,00251	0,24758
Antimonio total	mg/L	0,00004	0,00019
Arsénico total	mg/L	0,00009	0,00394
Bario total	mg/L	0,00012	0,05384
Berilio total	mg/L	0,00005	< 0,00005
Boro total	mg/L	0,00027	0,08802
Cadmio total	mg/L	0,00006	0,00018
Calcio total	mg/L	0,0080	59,72
Cobalto total	mg/L	0,00005	0,00060
Cobre total	mg/L	0,00005	0,00244
Cromo total	mg/L	0,00004	0,00073
Estaño total	mg/L	0,00006	0,00018
Estroncio total	mg/L	0,00006	0,42721
Hierro total	mg/L	0,0033	0,3272

Código: R-22-01

Versión: 1.4



UNIVERSIDAD  
DE PIURA  
Facultad de Ingeniería

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 097



Registro N° LE - 097

## INFORME DE ENSAYO N° 93 /17

Pág. 4 de 7

Tipo de ensayo	Unidad	L.D.M	Resultado
<b>(*) (**) Análisis de Metales Pesados</b>			
Litio total	mg/L	0,00004	0,00122
Magnesio total	mg/L	0,0010	20,29
Manganeso total	mg/L	0,00008	0,06147
Mercurio total	mg/L	0,00007	< 0,00007
Molibdeno total	mg/L	0,00004	0,00314
Níquel total	mg/L	0,00007	0,00079
Plata total	mg/L	0,00002	< 0,00002
Plomo total	mg/L	0,00005	0,00080
Potasio total	mg/L	0,0032	1,900
Selenio total	mg/L	0,0021	< 0,0021
Silicio total	mg/L	0,00039	21,27
Sodio total	mg/L	0,0055	86,68
Talio total	mg/L	0,00004	< 0,00004
Titanio total	mg/L	0,00013	0,00243
Vanadio total	mg/L	0,00005	0,01102
Zinc total	mg/L	0,0015	0,0358

Legenda: L.D.M. = Límite de detección del método

(<sup>o</sup>) Parámetros in situ

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

(<sup>o</sup>) Incubado a 35 ± 0,5°C/48 horas, medio Plate Count Agar.

(\*\*) Ensayo subcontratado (Ref. N° 000008182)

Código: R-22-01

Versión: 1.4

Los ensayos han sido realizados en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura.  
Av. Ramón Mugica 131, Urb. San Eduardo - Piura, Perú. Apartado Postal 353  
Telf. : (51-73) 284500 Fax: (51-73) 284510 Cel.: 969 848 198 RPM #297959 E-mail: iis-ihhs@udep.pe / www.udep.edu.pe



INFORME DE ENSAYO N° 93 /17

Pág. 5 de 7

**Métodos y Referencias:**

Parámetro	Norma de referencia	Título	Año
Bacterias heterotróficas	SWEWW APHA AWWA-WEF. Part. 9215 B, 22nd Ed.	Heterotrophic plate count. Pour Plate Method	2012
Cianuro total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN <sup>-</sup> C,E 22nd Ed.	Cyanide. Total Cyanide after Distillation. Colorimetric Method	2012
Cloruros	SMEWW APHA-AWWA-WEF. Part 4500-Cl B, 22nd Ed.	Chloride. Argentometric Method	2012
Coliformes termotolerantes (NMP)	SMEWW APHA-AWWA-WEF. Part 9221 E (1, 2) 22nd Ed	Multiple-Tube Fermentation Technique For Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)	2012
Conductividad (Medición en campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 A,B 22nd Ed.	Conductivity. Laboratory Method	2012
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 5210 B, 22nd Ed.	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test	2012
Determinación de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9213 F, 22nd Ed.	Multiple Tube Technique for <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2012
Dureza total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 22nd Ed.	EDTA. Titrimetric Method	2012
<i>Escherichia coli</i>	SMEWW APHA-AWWA-WEF. Part 9221 F1., 22nd Ed	Multiple Tube Fermentation Technique For Members of the Coliform Group. <i>Escherichia coli</i> Procedure using Fluorogenic Substrate. <i>Escherichia coli</i> Test (EC-MUG Medium)	2012
Huevos de Helminto	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).	Método de Sedimentación-Centrifugación con Buffer Acético y Éter.	1993
Metales pesados	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 3030 K, 3125 B 22nd Ed.	Preliminary Treatment of Samples. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) Method	2012
Nitratos	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B, 22nd Ed.	Ultraviolet Spectrophotometric Screening method	2012
Nitritos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B, 22nd Ed.	Colorimetric Method	2012

Código: R-22-01

Versión: 1.4



UNIVERSIDAD  
DE PIURA  
Facultad de Ingeniería

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 097



Registro N°LE - 097

## INFORME DE ENSAYO N° 93 /17

Pág. 6 de 7

### Métodos y Referencias:

Parámetro	Norma de referencia	Título	Año
Nitrógeno amoniacal	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH <sub>3</sub> C, 22nd Ed.	Titrimetric Method.	2012
Organismos de vida libre (algas, copepodos, rotíferos, nematodos y protozoarios) en todos sus estadios evolutivos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 10200 C.1.2, F.2.a, G, 22nd Ed.	Cuantificación microscópica	2012
pH (Medición en campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ A,B 22nd Ed.	pH Value. Electrometric Method	2012
Quistes y ooquistes de Protozoarios Patógenos	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).	Método de Sedimentación-Centrifugación con Buffer Aceto-Acético y Éter.	1993
Solidos Sedimentables	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 2540 F, 22nd Ed.	Settleable Solids	2012
Solidos Totales	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 2540 A y B, 22nd Ed.	Total Solids Dried at 103-105°C	2012
Solidos Totales Suspendidos	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 2540 D, 22nd Ed.	Total Suspended Solids Dried at 103-105°C	2012
Sulfatos	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E., 22nd Ed	Sulfate. Turbidimetric Method	2012
Turbiedad	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 2130 B 22nd Ed.	Turbidity. Nephelometric Method	2012

Código: R-22-01

Versión: 1.4

Los ensayos han sido realizados en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura.  
Av. Ramón Mugica 131, Urb. San Eduardo - Piura, Perú. Apartado Postal 353  
Telf. : (51-73) 284500 Fax: (51-73) 284510 Cel.: 969 848 198 RPM #297959 E-mail: lis-ihhs@udep.pe / www.udep.edu.pe



UNIVERSIDAD  
DE PIURA  
Facultad de Ingeniería

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 097



Registro N° LE - 097

## INFORME DE ENSAYO N° 93 /17

Pág. 7 de 7

### OBSERVACIONES

- Informe de ensayo emitido en base a resultados de nuestro laboratorio sobre las muestras descritas en el presente Informe de ensayo.
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura.
- El informe de ensayo o certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.
- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Piura, 12 de julio de 2017

Ing. Felipe Campos Yauce  
C.I.P. 136871  
Director de Calidad del LIS



Ing. Yuliana Mendoza Martinez  
C.B.P. 9149  
Supervisora de Área

Código: R-22-01

Versión: 1.4

## Anexo A2: Informe de Ensayo IE-119/17



UNIVERSIDAD  
DE PIURA  
Facultad de Ingeniería

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 097



Registro N° LE - 097

### INFORME DE ENSAYO N° 119 /17

Pág. 1 de 7

Solicitante	:	Embotelladora del Norte E.I.R.L.
Domicilio legal	:	Cal. Grau Nro. 245 (Planta de agua Spring) Piura-Sullana-Marcavelica
Solicitud de ensayo(s)	:	Cotización N° 266/17 (R)
Cantidad de muestras	:	1
Producto(s) descrito(s) como	:	Agua Natural-Agua superficial
Observación de la(s) muestra(s)	:	Muestras colectadas por el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (Instructivo para la Toma, Conservación y Transporte de muestras I-19-01)
Cantidad de muestra para ensayo(s)	:	Aproximadamente 19,25 L
Forma de presentación	:	Botellas de plástico y de vidrio, en buenas condiciones
Fecha de recepción de la(s) muestras(s)	:	04/08/2017
Fecha de inicio de ensayo(s)	:	04/08/2017
Fecha de fin de ensayo(s)	:	15/08/2017
Validez del documento	:	Este documento es válido solo para la(s) muestra(s) descrita(s).

Código: R-22-01

Versión: 1.4



## INFORME DE ENSAYO N° 119 /17

Pág. 2 de 7

Código de laboratorio	Lab 206/17
Código de cliente	M1
Fecha de muestreo	04/08/2017
Hora de muestreo	11:30 a.m.
Lugar de muestreo	Canal Biaggio Arbulú Altura Puente I.M.P
Coordenadas	E N Altitud(msnm)
	17M 0542993 9427040 42
Tipo de producto	Agua superficial

Tipo de ensayo	Unidad	L.D.M	Resultado
<b>Análisis y/o mediciones de campo<sup>(C)</sup></b>			
Conductividad	µS/cm	---	1113
pH	Unidades de pH	---	8,11
<b>Análisis Físicoquímicos</b>			
<sup>(*)</sup> Cianuro total	mg CN/L	0,002	< 0,002
<sup>(*)</sup> Cloruros	mg Cl/L	1	190
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	2	3
<sup>(*)</sup> Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	1	314
<sup>(*)</sup> Nitratos	mg NO <sub>3</sub> /L	0,4	< 0,4
<sup>(*)</sup> Nitritos	mg NO <sub>2</sub> /L	0,003	0,039
<sup>(*)</sup> Nitrógeno Amoniacal	mg NH <sub>3</sub> -N/L	0,1	< 0,1
Sólidos sedimentables	mL/L	---	< 0,1
Sólidos totales	mg Sólidos totales/L	3	720
Sólidos totales disueltos	mg Sólidos totales disueltos/L	3	696
Sólidos totales suspendidos	mg Sólidos totales suspendidos/L	3	18
<sup>(*)</sup> Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	1	110
<sup>(*)</sup> Turbiedad	NTU	0,1	17,7

Código: R-22-01

Versión: 1.4



INFORME DE ENSAYO N° 119 /17

Pág. 3 de 7

Tipo de ensayo	Unidad	L.D.M	Resultado
<b>Análisis Microbiológicos</b>			
Bacterias heterotróficas <sup>(1)</sup>	UFC/mL	1	5 200
Coliformes termotolerantes (NMP)	NMP/100 mL	1,8	110
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	1,8	110
<sup>(*)</sup> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	NMP/100 mL	1,8	1 600
<b><sup>(*)</sup>Análisis Biológicos</b>			
Huevos de Helminto	Huevos/L	1	32
Quistes y oquistes de Protozoarios patógenos	Organismos/L	1	< 1
	Algas	Organismos/L	24 148
	Copépodos	Organismos/L	< 1
Organismos de vida libre	Rotíferos	Organismos/L	12
	Nematodos	Organismos/L	< 1
	Protozoarios	Organismos/L	13 560
<b><sup>(*)</sup>, <sup>(**)</sup>Análisis de Metales Pesados</b>			
Aluminio total	mg/L	0,00251	0,12854
Antimonio total	mg/L	0,00004	0,00020
Arsénico total	mg/L	0,00009	0,00392
Bario total	mg/L	0,00012	0,05701
Berilio total	mg/L	0,00005	< 0,00005
Boro total	mg/L	0,00027	0,11707
Cadmio total	mg/L	0,00006	0,00018
Calcio total	mg/L	0,0080	64,7000
Cobalto total	mg/L	0,00005	0,00031
Cobre total	mg/L	0,00005	0,00199
Cromo total	mg/L	0,00004	0,00058
Estaño total	mg/L	0,00006	0,00109
Estroncio total	mg/L	0,00006	0,52912
Hierro total	mg/L	0,0033	0,1691

Código: R-22-01

Versión: 1.4



INFORME DE ENSAYO N° 119 /17

Pág. 4 de 7

Tipo de ensayo	Unidad	L.D.M	Resultado
<b>(*) (**) Análisis de Metales Pesados</b>			
Lítio total	mg/L	0,00004	0,00160
Magnesio total	mg/L	0,0010	23,5100
Manganeso total	mg/L	0,00008	0,03697
Mercurio total	mg/L	0,00007	< 0,00007
Molibdeno total	mg/L	0,00004	0,00463
Níquel total	mg/L	0,00007	0,00068
Plata total	mg/L	0,00002	< 0,00002
Plomo total	mg/L	0,00005	0,00056
Potasio total	mg/L	0,0032	1,9870
Selenio total	mg/L	0,0021	< 0,0021
Silicio total	mg/L	0,00039	20,2200
Sodio total	mg/L	0,0055	106,7000
Talio total	mg/L	0,00004	< 0,00004
Titanio total	mg/L	0,00013	0,00220
Vanadio total	mg/L	0,00005	0,00965
Zinc total	mg/L	0,0015	0,0186

**Legenda:** L.D.M. = Límite de detección del método

(\*) Parámetros in situ

(\*\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

(1) Incubado a  $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$ /48 horas, medio Plate Count Agar.

(\*\*) Ensayo subcontratado (Ref. N° 000009607)



## INFORME DE ENSAYO N° 119 /17

Pág. 5 de 7

### Métodos y Referencias:

Parámetro	Norma de referencia	Título	Año
Bacterias heterotróficas	SWEWW APHA AWWA-WEF. Part. 9215 B, 22nd Ed.	Heterotrophic plate count. Pour Plate Method	2012
Cianuro total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN <sup>-</sup> C, E 22nd Ed.	Cyanide. Total Cyanide after Distillation. Colorimetric Method	2012
Cloruros	SMEWW APHA-AWWA-WEF. Part 4500-Cl <sup>-</sup> B, 22nd Ed.	Chloride. Argentometric Method	2012
Coliformes termotolerantes (NMP)	SMEWW APHA-AWWA-WEF. Part 9221 E (1, 2) 22nd Ed	Multiple-Tube Fermentation Technique For Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)	2012
Conductividad (Medición en campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 A,B 22nd Ed.	Conductivity. Laboratory Method	2012
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 5210 B, 22nd Ed.	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test	2012
Determinación de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9213 F, 22nd Ed.	Multiple Tube Technique for <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2012
Dureza total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 22nd Ed.	EDTA. Titrimetric Method	2012
<i>Escherichia coli</i>	SMEWW APHA-AWWA-WEF. Part 9221 F1., 22nd Ed	Multiple Tube Fermentation Technique For Members of the Coliform Group. <i>Escherichia coli</i> Procedure using Fluorogenic Substrate. <i>Escherichia coli</i> Test (EC-MUG Medium)	2012
Huevos de Helminto	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).	Método de Sedimentación-Centrifugación con Buffer Aceto-Acético y Éter.	1993
Metales pesados	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 3030 K, 3125 B 22nd Ed.	Preliminary Treatment of Samples. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) Method	2012
Nitratos	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B, 22nd Ed.	Ultraviolet Spectrophotometric Screening method	2012
Nitritos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B, 22nd Ed.	Colorimetric Method	2012

Código: R-22-01

Versión: 1.4



## INFORME DE ENSAYO N° 119 /17

Pág. 6 de 7

### Métodos y Referencias:

Parámetro	Norma de referencia	Título	Año
Nitrógeno amoniacal	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH <sub>3</sub> C, 22nd Ed.	Titrimetric Method.	2012
Organismos de vida libre (algas, copépodos, rotíferos, nematodos y protozoarios) en todos sus estadios evolutivos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 10200 C.1.2, F.2.a, G, 22nd Ed.	Cuantificación microscópica	2012
pH (Medición en campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H <sup>+</sup> A,B 22nd Ed.	pH Value. Electrometric Method	2012
Quistes y ooquistes de Protozoarios Patógenos	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).	Método de Sedimentación-Centrifugación con Buffer Aceto-Acético y Éter.	1993
Sólidos Sedimentables	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 2540 F, 22nd Ed.	Settleable Solids	2012
Sólidos Totales	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 2540 A y B, 22nd Ed.	Total Solids Dried at 103-105°C	2012
Sólidos Totales disueltos	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 2540 A y C , 22nd Ed.	Total Dissolved Solids Dried at 180°C	2012
Sólidos Totales Suspendidos	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 2540 D, 22nd Ed.	Total Suspended Solids Dried at 103-105°C	2012
Sulfatos	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E., 22nd Ed	Sulfate. Turbidimetric Method	2012
Turbiedad	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 2130 B 22nd Ed.	Turbidity. Nephelometric Method	2012

Código: R-22-01

Versión: 1.4



UNIVERSIDAD  
DE PIURA  
Facultad de Ingeniería

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 097



INACAL  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

Registro N° LE - 097

## INFORME DE ENSAYO N° 119 /17

Pág. 7 de 7

### OBSERVACIONES

- Informe de ensayo emitido en base a resultados de nuestro laboratorio sobre las muestras descritas en el presente Informe de ensayo.
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura.
- El informe de ensayo o certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.
- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Piura, 16 de agosto de 2017

Ing. Felipe Campos Yauce  
C.I.P. 136871  
Director de Calidad del LIS



Biga. Yuliana Mendoza Martínez  
C.B.P. 9149  
Supervisora de Área

Código: R-22-01

Versión: 1.4

**Anexo A3: Informe de Interpretación IE-093/17****INFORME DE INTERPRETACIÓN IE-93/17**

Pág. 1 de 5

Solicitante	:	Embotelladora del Norte E.I.R.L.
Domicilio legal	:	Cal. Grau Nro. 245 (Planta de agua Spring) Piura-Sullana-Marcavelica.
Solicitud de ensayo(s)	:	Cotización N° 242/17
Cantidad de muestras	:	1
Producto(s) descrito(s) como	:	Agua Natural-Agua superficial
Observación de la(s) muestra(s)	:	Muestras colectadas por el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (Instructivo para la Toma, Conservación y Transporte de muestras I-19-01)
Cantidad de muestra para ensayo(s)	:	Aproximadamente 20 L
Forma de presentación	:	Botellas de plástico y vidrio, en buenas condiciones
Fecha de recepción de la(s) muestras(s)	:	03/07/2017
Fecha de inicio de ensayo(s)	:	03/07/2017
Fecha de fin de ensayo(s)	:	11/07/2017
Validez del documento	:	Este documento es válido solo para la(s) muestra(s) descrita(s).



## INFORME DE INTERPRETACIÓN IE-93/17

Pág. 2 de 5

Código de laboratorio	Lab 169/17
Código de cliente	M1
Fecha de muestreo	03/07/2017
Hora de muestreo	10:40 p.m.
Lugar de muestreo	Caanal Biaggio Arulú Altura puente I.M.P
Coordenadas	E 17M 0543016
	N 9427012
	Altitud(msnm) 32
Tipo de producto	Agua superficial

Tipo de ensayo	Resultado	DS-004-2017	Conformidad
<b>Análisis y/o mediciones de campo<sup>(C)</sup></b>			
Conductividad	876	1600	Cumple
pH	8,02	5.5-9	Cumple
<b>Análisis Físicoquímicos</b>			
Cianuro total	<.002	0.07*	Cumple
Cloruros	316	250	No Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	2	5	Cumple
Dureza total	246	500*	Cumple
Nitratos	1,5	50	Cumple
Nitritos	0,018	3	Cumple
Nitrógeno Amoniacal	<0.1	1,5	Cumple
Sólidos sedimentables	0,1	—	NA
Sólidos totales	620	—	NA
Sólidos totales disueltos	—	1000	NA



## INFORME DE INTERPRETACIÓN IE-93/17

Pág. 3 de 5

Tipo de ensayo	Resultado	DS-004-2017	Conformidad
<b>Análisis Físicoquímicos</b>			
Sólidos totales suspendidos	50	--	NA
Sulfatos	194	500	Cumple
Turbiedad	48,2	100	Cumple
<b>Análisis Microbiológicos</b>			
Bacterias heterotróficas	7400	--	NA
Coliformes termotolerantes (NMP)	540	2000	Cumple
<i>Escherichia coli</i>	540	**	NA
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1600	**	NA
<b>Análisis Biológicos</b>			
Huevos de Helminto	26	**	NA
Quistes y oquistes de Protozoarios patógenos	<1	**	NA
Algas	13188		
Copépodos	<1		
Organismos de vida libre	2	<5,000,000	Cumple
Rotíferos	<1		
Nematodos	<1		
Protozoarios	2396		
<b>Análisis de Metales Pesados</b>			
Aluminio total	0,24758	5	Cumple
Antimonio total	0,00019	0,02	Cumple
Arsénico total	0,00394	0,01	Cumple
Bario total	0,05384	1	Cumple
Berilio total	<0,00005	0,04	Cumple
Boro total	0,08802	2,4	Cumple
Cadmio total	0,00018	0,005	Cumple
Calcio total	59,72	--	NA
Cobalto total	0,0006	--	NA



## INFORME DE INTERPRETACIÓN IE-93/17

Pág. 4 de 5

Tipo de ensayo	Unidad	L.D.M	Resultado
<b>(*) (**) Análisis de Metales Pesados</b>			
Cobre total	0,00244	2	Cumple
Cromo total	0,00073	0,05	Cumple
Estaño total	0,00018	--	NA
Estroncio total	0,42721	--	NA
Hierro total	0,3272	1	Cumple
Litio total	0,00122	--	NA
Magnesio total	20,29	--	NA
Manganeso total	0,06147	0,4	Cumple
Mercurio total	< 0,00007	0,002	Cumple
Molibdeno total	0,00314	**	NA
Níquel total	0,00079	**	NA
Plata total	< 0,00002	--	NA
Plomo total	0,00080	0,05	Cumple
Potasio total	1,9	--	NA
Selenio total	< 0,0021	0,04	Cumple
Silicio total	21,27	--	NA
Sodio total	86,68	--	NA
Talio total	< 0,00004	--	NA
Titanio total	0,00168	--	NA
Vanadio total	0,00243	--	NA
Zinc total	0,0358	5	Cumple

\* Según DS-031-2010-SALUD

\*\* Parámetros no aplica para la subcategoría A2 del DS-004-2017-MINAM

**INFORME DE INTERPRETACIÓN IE-93/17**

Pág. 5 de 5

**OBSERVACIONES**

Se ha revisado y comparado los resultados de los parámetros solicitados por el cliente según el DS-004-2017-MIMAM, Sub-categoría A-2 "Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional" y se concluye que para la muestra puntual tomada en el lugar que el cliente indicó, solamente en el parámetro de cloruros no cumple con lo que manda la norma, por tal motivo, el agua del muestreado se podría potabilizar por tratamiento convencional pero con un sabor ligeramente salado. Para eliminar el exceso de cloruros se puede emplear tratamientos avanzados como la osmosis inversa.



Ing. Jorge Echevarría Velásquez

Director Técnico Laboratorio de Ingeniería Sanitaria

**Anexo A4: Informe de Interpretación IE-119/17****INFORME DE INTERPRETACIÓN IE-119/17**

Pág. 1 de 5

Solicitante	:	Embotelladora del Norte E.I.R.L.
Domicilio legal	:	Cal. Grau Nro. 245 (Planta de agua Spring) Piura-Sullana-Marcavelica.
Solicitud de ensayo(s)	:	Cotización N° 266/17 ®
Cantidad de muestras	:	1
Producto(s) descrito(s) como	:	Agua Natural-Agua superficial
Observación de la(s) muestra(s)	:	Muestras colectadas por el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (Instructivo para la Toma, Conservación y Transporte de muestras I-19-01)
Cantidad de muestra para ensayo(s)	:	Aproximadamente 19.25 L
Forma de presentación	:	Botellas de plástico y vidrio, en buenas condiciones
Fecha de recepción de la(s) muestras(s)	:	04/08/2017
Fecha de inicio de ensayo(s)	:	04/08/2017
Fecha de fin de ensayo(s)	:	15/08/2017
Validez del documento	:	Este documento es válido solo para la(s) muestra(s) descrita(s).



## INFORME DE INTERPRETACIÓN IE-119/17

Pág. 2 de 5

Código de laboratorio		Lab 206/17
Código de cliente		M1
Fecha de muestreo		04/08/2017
Hora de muestreo		11:30 a.m.
Lugar de muestreo		Caenal Biaggio Arulú Altura puente I.M.P
Coordenadas	E	17M 0542993
	N	9427040
	Altitud(msnm)	42
Tipo de producto		Agua superficial

Tipo de ensayo	Resultado	DS-004-2017	Conformidad
<b>Análisis y/o mediciones de campo<sup>(C)</sup></b>			
Conductividad	1113	1600	Cumple
pH	8,11	5,5-9	Cumple
<b>Análisis Físicoquímicos</b>			
Cianuro total	<.002	0.07*	Cumple
Cloruros	190	250	Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	3	5	Cumple
Dureza total	314	500*	Cumple
Nitratos	<.04	50	Cumple
Nitritos	0,039	3	Cumple
Nitrógeno Amoniacal	<0.1	1,5	Cumple
Sólidos sedimentables	<0.1	--	NA
Sólidos totales	720	--	NA
Sólidos totales disueltos	696	1000	Cumple



## INFORME DE INTERPRETACIÓN IE-119/17

Pág. 3 de 5

Tipo de ensayo	Resultado	DS-004-2017	Conformidad	
<b>Análisis Físicoquímicos</b>				
Sólidos totales suspendidos	18	--	NA	
Sulfatos	110	500	Cumple	
Turbiedad	17,7	100	Cumple	
<b>Análisis Microbiológicos</b>				
Bacterias heterotróficas	5200	--	NA	
Coliformes termotolerantes (NMP)	110	2000	Cumple	
<i>Escherichia coli</i>	110	**	NA	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1600	**	NA	
<b>Análisis Biológicos</b>				
Huevos de Helminto	32	**	NA	
Quistes y oquistes de Protozoarios patógenos	<1	**	NA	
Algas	24 148			
Copépodos	<1			
Organismos de vida libre	Rotíferos	12	<5,000,000	Cumple
Nematodos	<1			
Protozoarios	13 560			
<b>Análisis de Metales Pesados</b>				
Aluminio total	0,12854	5	Cumple	
Antimonio total	0,0002	0,02	Cumple	
Arsénico total	0,00392	0,01	Cumple	
Bario total	0,05701	1	Cumple	
Berilio total	<0.00005	0,04	Cumple	
Boro total	0,11707	2,4	Cumple	
Cadmio total	0,00018	0,005	Cumple	
Calcio total	64,7	--	NA	
Cobalto total	0,00031	--	NA	



## INFORME DE INTERPRETACIÓN IE-119/17

Pág. 4 de 5

Tipo de ensayo	Unidad	L.D.M	Resultado
<b>(*) (**) Análisis de Metales Pesados</b>			
Cobre total	0,00199	2	Cumple
Cromo total	0,00058	0,05	Cumple
Estaño total	0,00109	--	NA
Estroncio total	0,52912	--	NA
Hierro total	0,1691	1	Cumple
Litio total	0,00160	--	NA
Magnesio total	23,51	--	NA
Manganeso total	0,03697	0,4	Cumple
Mercurio total	< 0,00007	0,002	Cumple
Molibdeno total	0,00463	**	NA
Níquel total	0,00068	**	NA
Plata total	< 0,00002	--	NA
Plomo total	0,00056	0,05	Cumple
Potasio total	1,987	--	NA
Selenio total	< 0,0021	0,04	Cumple
Silicio total	20,22	--	NA
Sodio total	106,7	--	NA
Talio total	< 0,00004	--	NA
Titanio total	0,00220	--	NA
Vanadio total	0,00965	--	NA
Zinc total	0,0186	5	Cumple

\* Según DS-031-2010-SALUD

\*\* Parámetros no aplica para la subcategoría A2 del DS-004-2017-MINAM

## INFORME DE INTERPRETACIÓN IE-119/17

Pág. 5 de 5

### OBSERVACIONES

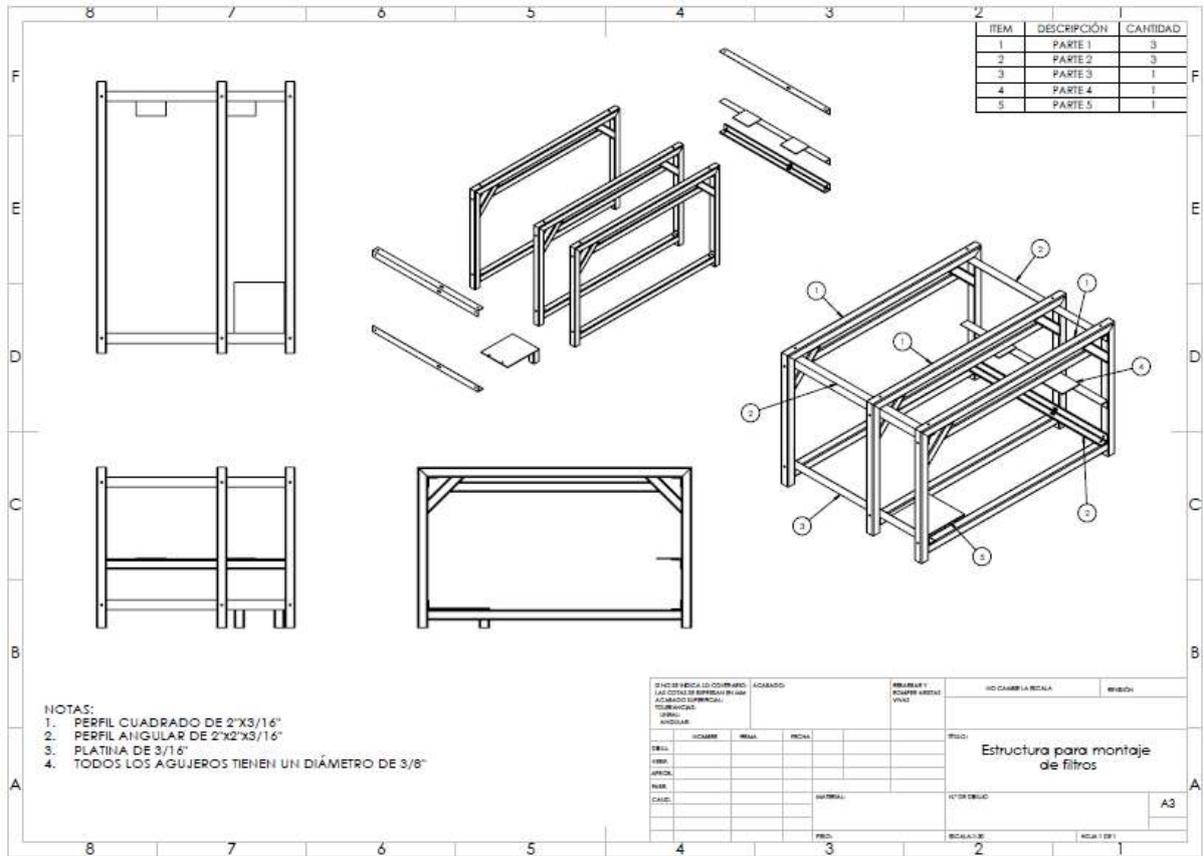
Se ha revisado y comparado los resultados de los parámetros solicitados por el cliente según el DS-004-2017-MIMAM, Sub-categoría A-2 "Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional" y se concluye que para la muestra puntual tomada en el lugar que el cliente indicó, cumplen con todos los parámetros que se analizaron en el IE-119/17, por tal motivo, el agua del muestreo se puede potabilizar por tratamiento convencional.



Ing. Jorge Echevarría Velásquez  
Director Técnico Laboratorio de Ingeniería Sanitaria



## Diseño 2 - Estructura para montaje de filtros

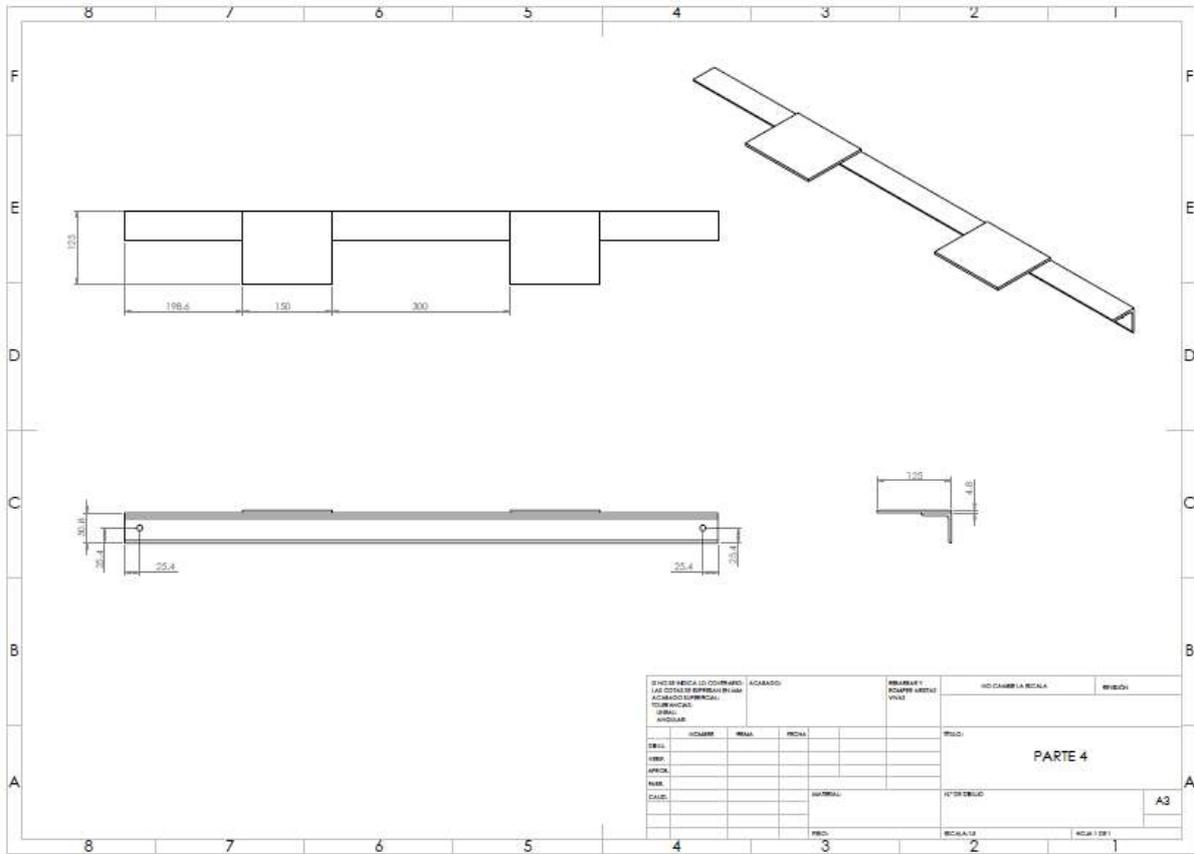




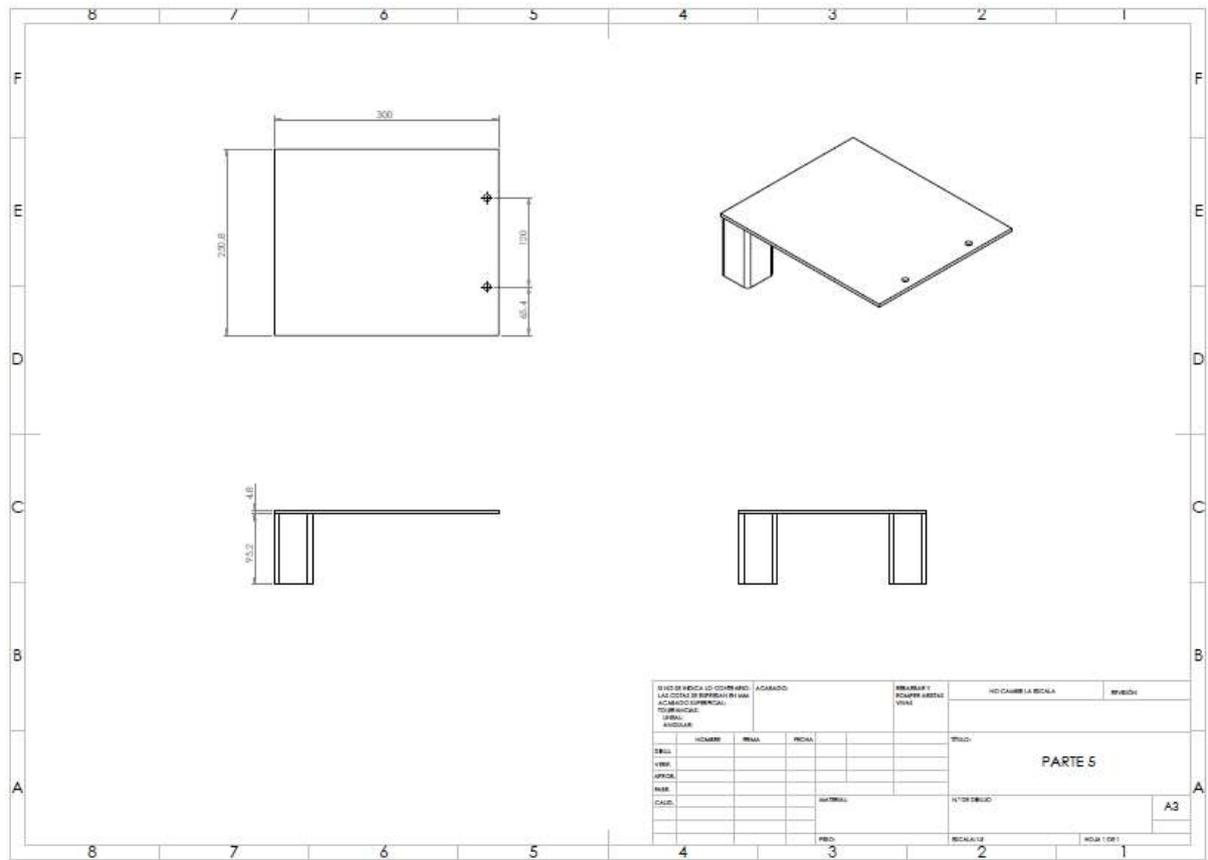




### Diseño 6 - Despiece de estructura para montaje de filtros – parte 4

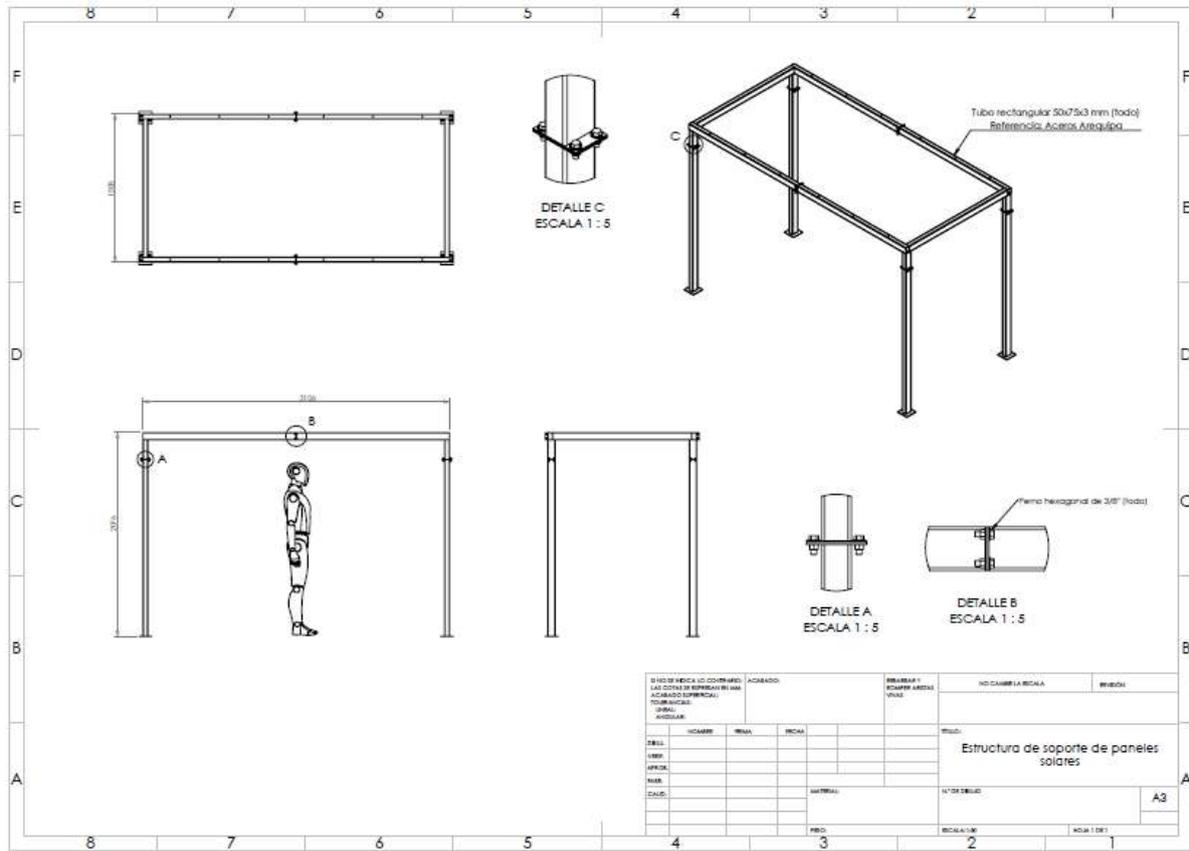


### Diseño 7 - Despiece de estructura para montaje de filtros – parte 5

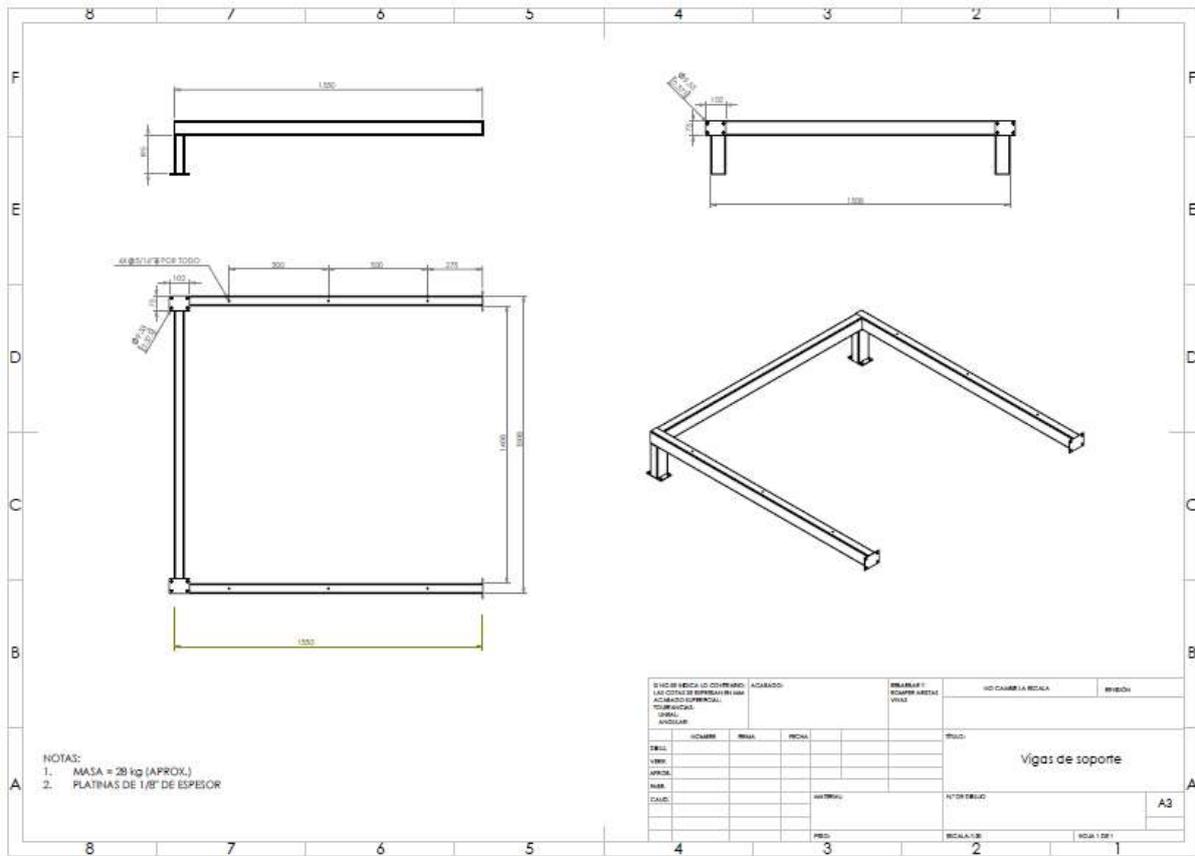


## Anexo A6: Planos de paneles fotovoltaicos

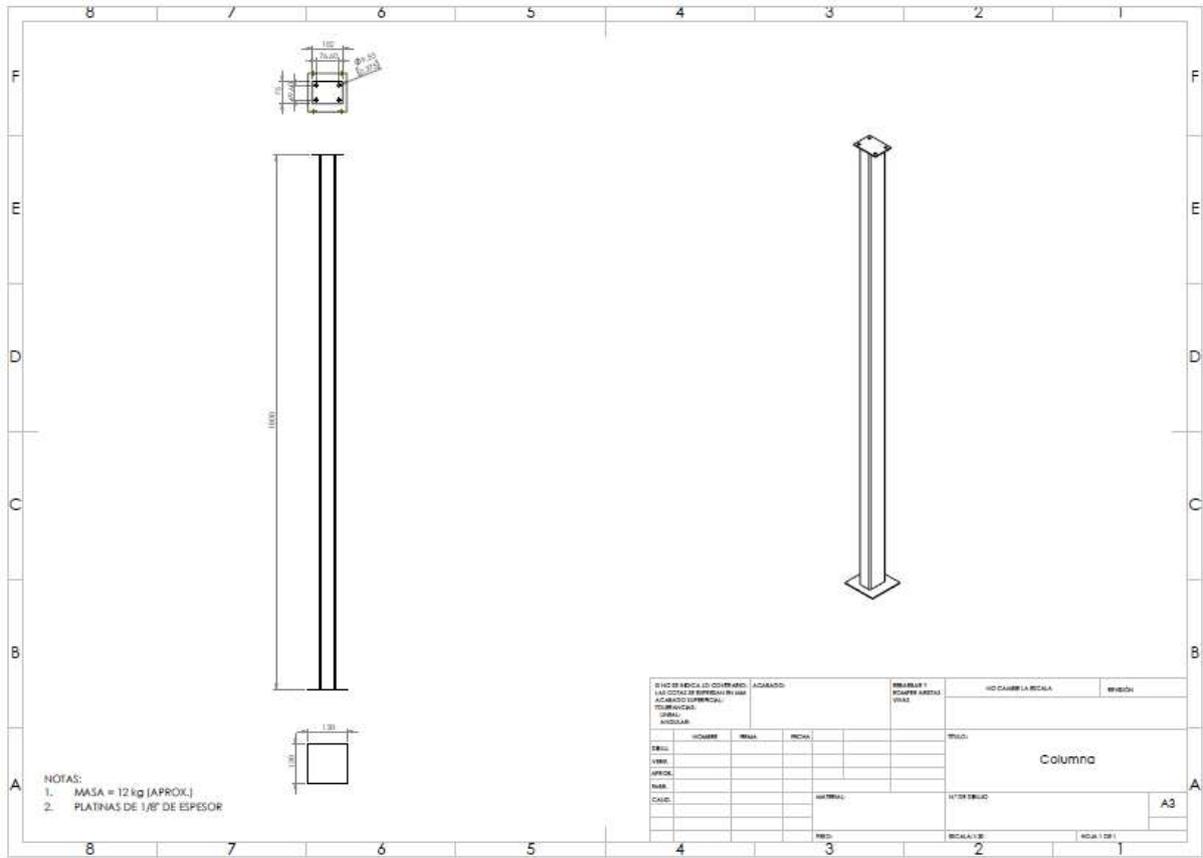
### Diseño 8 – Estructura de soporte de paneles



### Diseño 9 – Vigas de soporte I



## Diseño 10 – Vigas de soporte II



## Anexo A7: Informes de ensayo 126/18

 <p><b>UNIVERSIDAD DE PIURA</b> Facultad de Ingeniería</p>	<p><b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 097</b></p>	 <p><b>INACAL</b> DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado</p> <p><small>Registro N° LE - 097</small></p>
<p><b>INFORME DE ENSAYO N° 126 /18</b></p>		
<p>Pág. 1 de 6</p>		
<p>Solicitante</p> <p>Domicilio legal</p> <p>Solicitud de ensayo(s)</p> <p>Cantidad de muestras</p> <p>Producto(s) descrito(s) como</p> <p>Observación de la(s) muestra(s)</p> <p>Cantidad de muestra para ensayo(s)</p> <p>Forma de presentación</p> <p>Fecha de recepción de la(s) muestras(s)</p> <p>Fecha de inicio de ensayo(s)</p> <p>Fecha de fin de ensayo(s)</p> <p>Validez del documento</p>	<p>:</p>	<p>Embotelladora del Norte E.I.R.L.</p> <p>Cal. Grau Nro. 245 (Planta de agua Sring) Piura-Sullana-Marcavelica</p> <p>Cotización N° 174/18</p> <p>1</p> <p>Agua para uso y consumo humano</p> <p>Muestras colectadas por el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (Instructivo para la Toma, Conservación y Transporte de muestras I-19-01)</p> <p>Aproximadamente 4,5 L</p> <p>Botellas de plástico y vidrio, en buenas condiciones</p> <p>14-04-2018</p> <p>14-04-2018</p> <p>17-04-2019</p> <p>Este documento es válido solo para la(s) muestra(s) descrita(s).</p>
<p><small>Código: R-22-01</small></p>		<p><small>Versión: 1.4</small></p>
<p>Los ensayos han sido realizados en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura. Av. Ramón Mugica 131, Urb. San Eduardo - Piura, Perú. Apartado Postal 353 Telf.: (51-73) 284500 Fax: (51-73) 284510 Cel: 969 848 198 RPM #297959 E-mail: lis-ihhs@udep.pe / www.udep.edu.pe</p>		



UNIVERSIDAD  
DE PIURA  
Facultad de Ingeniería

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 097



INACAL  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

Registro N° LE - 002

## INFORME DE ENSAYO N° 126 /18

Pág. 2 de 6

Código de laboratorio	Lab 197/18
Código de cliente	M1
Fecha de muestreo	14-04-2018
Hora de muestreo	07:30 p.m.
Lugar de muestreo	Salida de prototipo de potabilizadora portátil - Planta Spring - Marcavelica - Sullana
Coordenadas	E 17M 532650 N 9460379 Altitud(msnm) 55
Tipo de producto	Agua Potable

Tipo de ensayo	Unidad	L.D.M	Resultado
<b>Análisis Físicoquímicos</b>			
(*) Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> /L	1	20
(*) (**) Conductividad (Medición en Laboratorio)	µS/cm	---	317
(*) Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	1	94
(*) Nitratos	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	0,4	0,7
(*) (**) pH (Medición en Laboratorio)	Unidades de pH	---	8.52
Sólidos totales disueltos	mg Sólidos totales disueltos/L	3	185
(*) Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	1	36
(*) Turbiedad	NTU	0,1	0.3
<b>Análisis Microbiológicos</b>			
Bacterias heterotróficas <sup>(1)</sup>	UFC/mL	1	< 1
Coliformes termotolerantes (NMP)	NMP/100 mL	1.1	< 1,1
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	1.1	< 1,1
(*) <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	NMP/100 mL	1.1	< 1,1

Código: R-22-01

Versión: 1.4

Los ensayos han sido realizados en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura.  
Av. Ramón Mugica 131, Urb. San Eduardo - Piura, Perú. Apartado Postal 353  
Telf.: (51-73) 284500 Fax: (51-73) 284510 Cel: 969 848 198 RPM #297959 E-mail: iis-ihhs@udep.pe / www.udep.edu.pe



INFORME DE ENSAYO N° 126 /18

Pág. 3 de 6

Tipo de ensayo	Unidad	L.D.M	Resultado
<b>(*) Análisis Biológicos</b>			
Huevos de Helminto	Huevos/L	1	< 1
Quistes y oquistes de Protozoarios patógenos	Organismos/L	1	< 1
Algas	Organismos/L	1	< 1
Copépodos	Organismos/L	1	< 1
Organismos de vida libre	Organismos/L	1	< 1
Nematodos	Organismos/L	1	< 1
Protozoarios	Organismos/L	1	< 1

Leyenda: L.D.M. = Limite de detección del método

(\*) Incubado a  $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$ /48 horas, medio Plate Count Agar.

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

(\*\*) Resultado referencial con respecto a la normativa del método de ensayo

Código: R-22-01

Versión: 1.4

Los ensayos han sido realizados en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura.

Av. Ramón Mugica 131, Urb. San Eduardo - Piura, Perú. Apartado Postal 353

Tel. : (51-73) 284500 Fax: (51-73) 284510 Cel: 969 848 198 RPM #297959 E-mail: iis-ihs@udep.pe / www.udep.edu.pe



INFORME DE ENSAYO N° 126 /18

Pág. 4 de 6

**Métodos y Referencias:**

Parámetro	Norma de referencia	Título	Año
Bacterias heterotróficas	SWEWW APHA AWWA-WEF. Part. 9215 B, 22nd Ed.	Heterotrophic plate count. Pour Plate Method	2012
Cloruros	SMEWW APHA-AWWA-WEF. Part 4500-Cl B, 22nd Ed.	Chloride. Argentometric Method	2012
Coliformes termotolerantes (NMP)	SMEWW APHA-AWWA-WEF. Part 9221 E (1, 2) 22nd Ed	Multiple-Tube Fermentation Technique For Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)	2012
Conductividad (Medición en Laboratorio)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 A, B 23rd Ed.	Conductivity. Laboratory Method	2017
Dureza total	SMEWW APHA-AWWA-WEF. Part 4500-Cl B, 22nd Ed.	Chloride. Argentometric Method	2012
<i>Escherichia coli</i>	SMEWW APHA-AWWA-WEF. Part 9221 F1., 22nd Ed	Multiple Tube Fermentation Technique For Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure using Fluorogenic Substrate. Escherichia coli Test (EC-MUG Medium)	2012
Huevos de Helminto	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).	Método de Sedimentación-Centrifugación con Buffer Aceto-Acético y Éter.	1993
Nitratos	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 4500-NO <sub>3</sub> B, 22nd Ed.	Ultraviolet Spectrophotometric Screening method	2012

Código: R-22-01

Versión: 1.4



INFORME DE ENSAYO N° 126 /18

Pág. 5 de 6

**Métodos y Referencias:**

Parámetro	Norma de referencia	Título	Año
Organismos de vida libre (algas, copépodos, rotíferos, nematodos y protozoarios) en todos sus estadios evolutivos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 10200 C.1.2, F.2 a, G, 22nd Ed.	Cuantificación microscópica	2012
pH (Medición en Laboratorio)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ A, B 22nd Ed.	pH Value. Electrometric Method	2012
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9213 F, 22nd Ed.	Multiple Tube Technique for <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2012
Quistes y oocistos de Protozoarios Patógenos	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).	Método de Sedimentación-Centrifugación con Buffer Acético y Éter.	1993
Sólidos totales disueltos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2540 A y C, 22nd Ed.	Total Dissolved Solids Dried at 180°C	2012
Sulfatos	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E., 22nd Ed	Sulfate. Turbidimetric Method	2012
Turbiedad	SMEWW- APHA-AWWA-WEF. Part 2130 B 22nd Ed.	Turbidity. Nephelometric Method	2012

Código: R-22-01

Versión: 1.4



**UNIVERSIDAD  
DE PIURA**  
Facultad de Ingeniería

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 097**



Registro N° LE - 097

## INFORME DE ENSAYO N° 126 /18

Pág. 6 de 6

### OBSERVACIONES

- Informe de ensayo emitido en base a resultados de nuestro laboratorio sobre las muestras descritas en el presente Informe de ensayo.
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura.
- El informe de ensayo o certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.
- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Piura, 18 de abril de 2018



**Ing. Felipe Campos Yauce**  
C.I.P. 136871  
Director de Calidad del LIS

Código: R-22-01

Versión: 1.4



## INFORME DE INTERPRETACIÓN IE-126/18

Pág. 1 de 6

Solicitante	:	Embotelladora del Norte E.I.R.L.
Domicilio legal	:	Cal. Grau Nro. 245 (Planta de agua Spring) Piura-Sullana-Marcavelica
Solicitud de ensayo(s)	:	Cotización N° 174/18
Cantidad de muestras	:	1
Producto(s) descrito(s) como	:	Agua para uso y consumo humano
Observación de la(s) muestra(s)	:	Muestras colectadas por el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (Instructivo para la Toma, Conservación y Transporte de muestras I-19-01)
Cantidad de muestra para ensayo(s)	:	Aproximadamente 4,5 L
Forma de presentación	:	Botellas de plástico y vidrio, en buenas condiciones
Fecha de recepción de la(s) muestras(s)	:	14-04-2018
Fecha de inicio de ensayo(s)	:	14-04-2018
Fecha de fin de ensayo(s)	:	17-04-2019
Validez del documento	:	Este documento es válido solo para la(s) muestra(s) descrita(s).



## INFORME DE INTERPRETACIÓN IE-126/18

Pág. 2 de 6

Código de laboratorio	Lab 197/18
Código de cliente	M1
Fecha de muestreo	14-04-2018
Hora de muestreo	07:30 p.m.
Lugar de muestreo	Salida de prototipo de potabilizadora portátil - Planta Spring - Marcavelica - Suliana
Coordenadas	E 17M 532650 N 9460379 Altitud(msnm) 55
Tipo de producto	Agua Potable

Tipo de ensayo	Unidad	Resultado	DS-031-2010-SA
<b>Análisis Fisicoquímicos</b>			
<sup>(a)</sup> Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> /L	20	Conforme
<sup>(a); (**)</sup> Conductividad (Medición en Laboratorio)	µS/cm	317	Conforme
<sup>(a)</sup> Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	94	Conforme
<sup>(a)</sup> Nitratos	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	0.7	Conforme
<sup>(a); (**)</sup> pH (Medición en Laboratorio)	Unidades de pH	8.52	Conforme
Sólidos totales disueltos	mg Sólidos totales disueltos/L	185	Conforme
<sup>(a)</sup> Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	36	Conforme
<sup>(a)</sup> Turbiedad	NTU	0.3	Conforme
<b>Análisis Microbiológicos</b>			
Bacterias heterotróficas <sup>(b)</sup>	UFC/mL	<1	Conforme
Coliformes termotolerantes (NMP)	NMP/100 mL	<1.1	Conforme
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	<1.1	Conforme
<sup>(*)</sup> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	NMP/100 mL	<1.1	Conforme

Código: R-22-01

Versión: 1.4



## INFORME DE INTERPRETACIÓN IE-126/18

Pág. 3 de 6

Tipo de ensayo	Unidad	Resultado	DS-031-2010-SA
<b><sup>(*)</sup>Análisis Biológicos</b>			
Huevos de Helminto	Huevos/L	<1	Comforme
Quistes y ooquistes de Protozoarios patógenos	Organismos/L	<1	Comforme
Organismos de vida libre	Algas	Organismos/L	Comforme
	Copépodos	Organismos/L	Comforme
	Rotíferos	Organismos/L	Comforme
	Nematodos	Organismos/L	Comforme
	Protozoarios	Organismos/L	Comforme

Se ha revisado y comparado los resultados de los parámetros solicitados por el cliente según el DS-031-2010-SA Aguas para uso y consumo humano y se concluye que para la muestra tomada en la salida del prototipo de potabilizadora compacta cumple con todos los parámetros muestreados tanto en la parte físico-química, biológica y microbiológica.