

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE ARTE Y DISEÑO**



Taifa: Biofiltro doméstico artesanal de autoproducción para potabilizar aguas contaminadas por metales pesados de minería ilegal en Chillaco, Perú

Tesis para optar por el título profesional de Licenciada en Arte con mención en Diseño Industrial que presenta:

***Camila Lucía Arana Flores***

Asesora:

***Claudia Paola Cardenal Valqui***

Lima, 2023

### Informe de Similitud

Yo, Claudia Paola Cardenal Valqui docente de la Facultad de Arte y Diseño de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulada:

TAIFA: BIOFILTRO DOMÉSTICO ARTESANAL DE AUTOPRODUCCIÓN PARA POTABILIZAR AGUAS CONTAMINADAS POR METALES PESADOS DE MINERÍA ILEGAL EN CHILLACO, PERÚ

de la autora Camila Lucía Arana Flores

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 17%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 23/06/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.
- 

Lugar y fecha: Lima, 23 de Junio del 2023

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Cardenal Valqui, Claudia Paola</u>	
DNI: 10263007	Firma 
RCID: 0000-0002-3004-7913	

## Resumen

Dentro de la gestión de recursos hídricos en el Perú, muchos poblados alejados de las autoridades no cuentan con una abastecimiento adecuado de agua, en especial, agua potable. La escasez del recurso hídrico ha resultado que entre 7 y 8 millones de personas en todo el país no cuenten con agua potable, causando enfermedades en la población y disminuyendo la calidad de vida. Los pobladores se ven obligados a consumir agua de fuentes cuyo suministro no ha tenido un correcto proceso de limpieza y potabilización, lo que causa el brote y la transmisión de enfermedades por virus, parásitos, bacterias, etc. Chillaco es un poblado que se encuentra a 2 horas de la ciudad de Lima, y que además de tener las características mencionadas, tiene una fuente hídrica cuya agua tiene indicios de estar siendo contaminada por residuos no tratados producto de actividad minera de oro ilegal en la zona. La totora *Typha Dominguensis*, planta local en Chillaco, posee capacidades de fitorremediación, es decir, remueve del agua los componentes metálicos dañinos. Por otro lado, los filtros de cerámica poseen capacidades de potabilización del agua. Estas características son aprovechadas en humedales artificiales y diversos tipos de filtros cerámicos. Sin embargo, no se ha encontrado una solución doméstica a la potabilización de agua contaminada con estos metales, fácil de producir y replicar, accesible tanto económica como geográficamente. Se plantea la siguiente hipótesis: Taifa es un filtro doméstico artesanal para la potabilización de agua contaminada por residuos de la extracción de oro ilegal para disminuir enfermedades hídricas en la comunidad de Chillaco. Con el uso de la metodología del Doble Diamante, a través de estudios etnográficos a distancia, virtuales y telefónicos, entrevistas a profesionales e información teórica, se logra hacer Diseño Social remoto. Además, se realiza un análisis del estado del arte: los humedales artificiales, el filtro lento ascendente, Ecofiltro y Life ETAD (Ecological Treatment of Acid Drainage). Se encuentra una brecha de innovación sobre la posibilidad de un filtro que potabilice el agua contaminada por actividad minera. Así mismo, se obtienen resultados de la situación local y de elementos filtrantes naturales y de bajo costo útiles para el proyecto. La información recolectada es analizada mediante cuadros comparativos, promediación de encuestas, ilustraciones para graficar problemas, mapas mentales, mapas de empatía. La información recaudada fue analizada y probada para lograr obtener un filtro doméstico que logre limpiar el agua en Chillaco a niveles aptos para consumo humano.

*Keywords: Filtro de agua, Doméstico, Minería ilegal, Contaminación de agua, Zona rural, Diseño social, Fitorremediación*

## Abstract

Within the management of water resources in Peru, many villages far from the authorities do not have an adequate supply of water, especially drinking water. The scarcity of water resources has resulted in between 7 and 8 million people throughout the country not having drinking water, causing diseases in the population and decreasing the quality of life. The inhabitants are forced to consume water from sources whose supply has not had a correct cleaning and purification process, which causes the outbreak and transmission of diseases by viruses, parasites, bacteria, etc. Chillaco is a town that is located 2 hours from the city of Lima, and that in addition to having the aforementioned characteristics, has a water source whose water has indications of being contaminated by untreated waste product of illegal gold mining activity in the area. The cattail *Typha Dominguensis*, a local plant in Chillaco, has phytoremediation capabilities, that is, it removes harmful metal components from the water. On the other hand, ceramic filters have water purification capabilities. These characteristics are used in artificial wetlands and various types of ceramic filters. However, no domestic solution has been found to the purification of water contaminated with these metals, easy to produce and replicate, accessible both economically and geographically. The following hypothesis is proposed: Taifa is an artisanal domestic filter for the purification of water contaminated by residues from illegal gold extraction to reduce water diseases in the community of Chillaco. With the use of the Double Diamond methodology, through distance, virtual and telephone ethnographic studies, interviews with professionals and theoretical information, remote Social Design is achieved. In addition, an analysis of the state of the art is carried out: artificial wetlands, the slow ascending filter, Ecofiltro and Life ETAD. There is an innovation gap on the possibility of a filter that purifies water contaminated by mining activity. Likewise, results are obtained from the local situation and natural and low-cost filter elements useful for the project. The information collected is analyzed through comparative tables, survey averaging, illustrations to graph problems, mind maps, empathy maps. The information collected was analyzed and tested to obtain a domestic filter that manages to clean the water in Chillaco at levels suitable for human consumption.

*Keywords: Water filter, Domestic, Illegal mining, Water pollution, Rural area, Social design, Phytoremediation*

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Capítulo 1. Introducción</b>	<b>10</b>
1.1 Problemática	10
1.2 Problema específico	11
1.3 Pregunta de investigación	12
1.4 Lineamientos de la investigación	13
<b>Capítulo 2. Antecedentes</b>	<b>13</b>
2.1 Marco teórico	13
2.1.1 Escasez y contaminación del agua a nivel mundial	13
2.1.1.1 Derecho al agua potable y relevancia como Objetivo de Desarrollo Sostenible	13
2.1.1.2 Enfermedades hídricas	14
2.1.2 Escasez y contaminación del agua en la cuenca del Río Lurín	16
2.1.2.1 Situación en Lima, Perú	16
2.1.2.2 Actividad minera cercana a la cuenca Lurín	18
2.1.2.3 Acceso al agua en Chillaco	22
2.1.2.4. Causas de contaminación del agua en comunidades	23
2.1.3 Potabilización del agua	26
2.1.3.1 Potabilización industrial	26
2.1.3.2 Potabilización doméstica	27
2.1.3.3 La totora y su capacidad para la fitorremediación	27
2.1.3.4 La arena y grava como filtro	34
2.1.3.5 La cerámica como filtro	34
2.1.4. Diseño Social y sostenible	37
2.2. Estado del arte	40
2.2.1 LifeStraw - Suiza	40
2.2.2 Humedales Artificiales - Perú	42
2.2.3 Filtro lento ascendente - Escocia	43
2.2.4 Ecofiltro - Honduras	44
2.2.5 Life ETAD - España	46
2.3. Brecha de Innovación	48
2.4. Hipótesis	49
2.5. Objetivo general y específicos	49
<b>Capítulo 3. Diseño de estudio</b>	<b>50</b>
3.1 Metodología	50
3.2 Investigación	52
3.2.1. Estudios Inductivos	53
3.2.1.1 Material teórico, informes y registro audiovisual	53

3.2.1.2 Encuestas y entrevistas semi estructuradas a pobladores	53
3.2.1.3 Sobre las fuentes hídricas	56
3.2.2 Definición del problema general	59
3.2.3. Estudios de Conceptualización	59
3.2.3.1 Entrevistas a profesionales	60
3.2.3.2 Pruebas de materiales y el espacio a intervenir	65
3.2.4 Exigencias de diseño	79
3.2.5. Primeras propuestas de diseño	80
3.2.6. Estudios de Validación	83
<b>Capítulo 4. Resultados</b>	<b>87</b>
4.1 Concepto y tipología	87
4.2 Resultados técnico funcionales	89
4.2.1 Uso y funcionamiento	91
4.2.2 Usuario y estudio antropométrico	93
4.3 Resultados estético emocionales	95
4.4 Resultados socio ambientales	97
4.4.1 Producción	97
4.4.2 Mantenimiento	100
4.4.3 Plan de negocios	101
<b>Capítulo 5. Discusión</b>	<b>103</b>
<b>Capítulo 6. Conclusiones</b>	<b>105</b>
<b>Capítulo 7. Limitaciones</b>	<b>106</b>
<b>Capítulo 8. Trabajo a futuro</b>	<b>107</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>108</b>
<b>Anexos</b>	<b>120</b>
Anexo A. Resultados del monitoreo de la calidad de la cuenca del Río Lurín, 2013	120
Anexo B. Informe técnico de resultados del monitoreo de la calidad de agua superficial en la cuenca del Río Lurín 2020-1	121
Anexo C. Informe técnico del monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales en la unidad hidrográfica Lurín, 2020	122
Anexo D. Tablas de entrevistas a usuarios	123
Anexo E. Encuesta Sociodemográfica	125
Anexo F. Instrumento para etapa de inducción: entrevista a experto 1 - sobre filtros de olla cerámica	126
Anexo G. Planos de piezas cerámicas	127
Anexo H. Planos de estructuras metálicas	128
Anexo I. Plano de ensamble	129
Anexo J. Manual de construcción y mantenimiento	130

## Lista de de figuras

Figura 1. Mapa metalogénico de Lima Centro	18
Figura 2. Recorte de Mapa de Principales proyectos Mineros y Unidades en Exploración Edición 2020	19
Figura 3. Variación de la pequeña y gran minería, periodo 1990- 2014	20
Figura 4. Cuadro de producción nacional de oro de la gran, pequeña minería, minería artesanal e informal del 2007 al 2016	21
Figura 5. Fotografía Typha Domingensis	28
Figura 6. Ilustración de las partes de la totora Typha Domingensis	29
Figura 7. Tabla de concentraciones de plomo, cadmio, cromo, hierro y magnesio en diferentes plantas que pertenecen a la familia de los cyperaceae y tyhaceae: las totoras	31
Figura 8. Titora en su hábitat natural	33
Figura 9. Fotografía de LifeStraw classic	41
Figura 10. Fotografía de LifeStraw steel en uso	41
Figura 11. Ilustración del funcionamiento de un humedal artificial con hojas de papiro	42
Figura 12. Ilustración de Filtro lento ascendente	44
Figura 13. Ilustración de Ecofiltro (olla cerámica)	45
Figura 14. Ilustración del funcionamiento de la planta Life ETAD -Río Odiel	47
Figura 15. Foto aérea de la planta Life ETAD - Río Odiel en funcionamiento	47
Figura 16. Esquema de ejes de investigación	52
Figura 17. Encuesta a población	54
Figura 18. Mapa de empatía	56
Figura 19. Esquema de fuentes hídricas	57
Figura 20. Esquema de posibles casos hipotéticos	58
Figura 21. Insights de entrevista 1	60
Figura 22. Esquema de resultados de la entrevista	62
Figura 23. Insights de entrevista 2	63
Figura 24. Fotografía de Titora A, 1 mes luego de ser reubicada de el balde	66

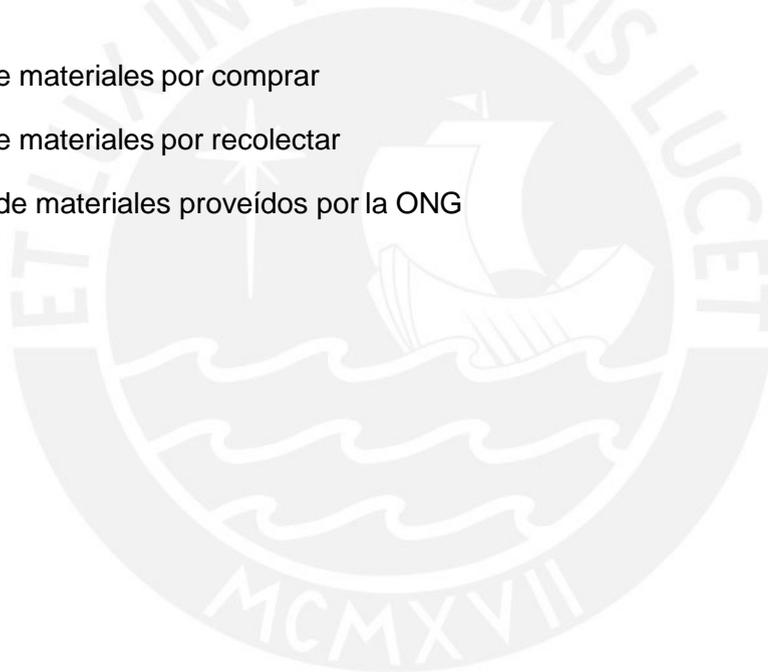
Figura 25. Totora A, 2 meses luego de extracción	67
Figura 26. Totora A, 5 meses luego de extracción	68
Figura 27. Totora B, al momento de extracción y 1 mes después	69
Figura 28. Secado de arcilla húmeda como barro sobre tela y ladrillos	70
Figura 29. Piezas en horno	71
Figura 30. Sumergido de piezas en agua	72
Figura 31. Filtros cónico (izquierda) y olla (derecha) con agua	73
Figura 32. Cocinas de viviendas en el poblado de Chillaco	75
Figura 33. Planos de las viviendas de Chillaco	76
Figura 34. Viviendas en Chillaco y su proximidad a las plantas y uso de los espacios abiertos	77
Figura 35. Patio estándar en la localidad de Chillaco	78
Figura 36. Primera propuesta de diseño	80
Figura 37. Resultados del fast prototyping	81
Figura 38. Rediseño, versión 2 del filtro Taifa	82
Figura 39. Rediseño, versión 3 del filtro Taifa	83
Figura 40. Ubicación de maqueta en locación de filtro. Casa de Sr. Giovanni	84
Figura 41. Ubicación de maqueta en locación de filtro. Casa de la Sra. Margarita	85
Figura 42. Ubicación de maqueta en locación de filtro. Casa de la Sra. Nilda	85
Figura 43. Taifa, filtro doméstico artesanal	88
Figura 44. Taifa, imagen explosiva con todas las partes y piezas	89
Figura 45. Taifa, parte superior	90
Figura 46. Taifa, parte inferior	90
Figura 47. Flujo del transcurso del agua por tandas diarias	92
Figura 48. Transcurso del agua por horas	92
Figura 49. Usuario hace uso del filtro	93
Figura 50. Vista antropométrica 1	94
Figura 51. Vista antropométrica 2 - Apertura del caño inferior	95
Figura 52. Fotomontaje de Taifa en contexto, Casa de la Sra Nilda	96

Figura 53. Fotomontaje de Taifa en contexto, Casa del Sr Giovanni	96
Figura 54. Esquema de producción del filtro Taifa	100
Figura 55. Esquema del Plan de negocios para la implementación del filtro Taifa	102



## Lista de de tablas

Tabla 1. Tabla de metales pesados y sus consecuencias al ser consumidos en grandes cantidades	15
Tabla 2. Tabla de parámetros máximos permisibles para el control de calidad de agua establecido por DIGESA	17
Tabla 3. Tabla comparativa de Estado del arte	48
Tabla 4. Recorrido del agua al hogar y preparación para el consumo	55
Tabla 5. Resultados de mezclas en horno a 750	72
Tabla 6. Comentarios de pobladores con respecto a la ubicación del filtro	79
Tabla 7. Comentarios de pobladores con respecto a las alturas de llenado y vaciado del filtro	86
Tabla 8. Lista de materiales por comprar	98
Tabla 9. Lista de materiales por recolectar	98
Tabla 10. Lista de materiales proveídos por la ONG	99



# Capítulo 1. Introducción

## 1.1 Problemática

El agua potable y el acceso al agua son un derecho humano (Organización de las Naciones Unidas, 2014) reconocido por la ONU en el año 2010. El agua con altos niveles de contaminación puede ser creadora y portadora de enfermedades. Algunas se deben a la ingestión de agua contaminada por microorganismos y productos químicos, resultando en enfermedades como la diarrea, la arsenicosis, la esquistosomiasis y la fluorosis, enfermedades que tienen un organismo causante que está presente en el agua. En países en vías de desarrollo, las enfermedades diarreicas son la segunda mayor causa de defunciones (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Según UNICEF, “1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso a agua potable” (UNICEF, 2019) ya sea en su hogar o en alguna fuente cercana. Según la Organización Mundial de la Salud, en el mundo casi 1 de cada 4 personas no tienen una fuente de agua potable dentro de su hogar. En todo el Perú, el 22.8% de la población consume agua no potable, mientras que en la sierra del Perú, este porcentaje aumenta, indicando que 68.4% de la población consume agua no potable (INEI, 2020) debido a un déficit de abastecimiento (INEI, 2018), por lo que los pobladores se ven obligados a consumir agua sin un proceso adecuado de potabilización, recogida de ríos y puquios, a invertir en otros medios que afecta la economía de las familias, o a colocar otros elementos químicos como lejía o cloro sin mayor regulación.

El Perú tiene miles de minas activas, hay alrededor de 500 mil extractores (ESAN, 2019) de minerales. En esa misma línea, la minería ilegal e informal es ampliamente practicada, donde el vertido de agua residual no es regularizado y contamina recursos de agua dulce. En el país, hay 25 regiones y 21 de ellas cuentan con minería ilegal e informal, “sobre todo para la extracción de oro, que es el proceso más sencillo”. La minería ilegal e informal produce un aproximado de 24 mil kilos anuales de oro que genera el doble de kg de mercurio al año: 48 mil, y cuenta Ricardo Cayu para la revista ESAN que este es un elemento altamente contaminante para cualquier organismo (ESAN, 2019). Este mercurio termina siendo un residuo del proceso de extracción irregularizado. Además, el 19% de los conflictos sociales nacionales entre el 2011 y el 2014 estuvieron ligados al acceso al agua (Cordova Rampant, 2019). De los 153 casos analizados hasta ese entonces “la institución (la Defensoría del Pueblo) encontró que 42 casos estaban ligados a la actividad minera

formal” (Cordova Rampant, 2019) y la contaminación que produce a las fuentes hídricas, es decir, alrededor de un tercio de ellos. Lo que concluye que tanto la minería informal como la formal, contribuyen a la contaminación de las aguas.

El Centro Poblado de Chillaco está situado a 2 horas en auto hacia el este de la ciudad de Lima en la cuenca del Río Lurín, donde viven aproximadamente 200 personas y su actividad económica principal es la agricultura. Ellas forman parte de las 160 mil personas que residen en la zona rural del departamento de Lima (INEI, 2017). El poblado de Chillaco, al igual que toda la cuenca del río, cuenta con diversa actividad minera legal e ilegal cercana y los pobladores han manifestado síntomas de presencia de metales pesados en su sistema digestivo como indican los mismos pobladores y el diagnóstico participativo realizado por la ONG Ecohumanita. Así mismo, la mala gestión de desechos, especialmente de excretas humanas, son grandes contaminadores de aguas subterráneas y superficiales, además del uso de pesticidas y fertilizantes químicos para los cultivos. Por otro lado, factores externos como la crisis climática que desarrolla fenómenos naturales como huaycos, afecta el sistema de suministro y las mismas fuentes hídricas destruyendo infraestructura y contaminando suministros de agua.

## **1.2 Problema específico**

Chillaco cuenta con 3 fuentes hídricas. La primera fue un sistema de tratamiento de agua potable construido por el gobierno local que por desastres naturales, mala ejecución y mal mantenimiento colapsó unos meses después de su implementación a inicios del 2017, y según cuentan sus pobladores, no ha sido recuperado hasta entonces. La segunda, la más importante fuente hídrica para regadío, es el río Lurín, el cual nutre el valle, fue además la primera fuente de agua que tuvieron accesible desde la cual transportaban el agua hacia sus casas con el uso de mangueras, baldes, bidones, para el uso doméstico además de para el regadío. Finalmente, la tercera fuente es un puquio o punto de agua que los pobladores utilizan para su uso doméstico. Sin embargo, los pobladores manifiestan que el agua viene con sabores extraños, problemas estomacales y problemas para cocinar (Bernable, 2020). Esta llega a través de tuberías de PVC construidas por el mismo poblado, a un almacén local de cemento, desde el cual se distribuye a las casas, las cuales la mayoría, según las encuestas realizadas cuentan con un sistema de tuberías interno que distribuye el agua a los caños de la casa. El puquio se encuentra dentro de un terreno concesionado por el proyecto minero La Palma (Ministerio de Energía y Minas, 2020) y las

manifestaciones de los pobladores podrían significar una contaminación producto de la actividad minera de la zona.

Chillaco presume contar con deficiencia en la calidad de agua accesible debido a posibles agentes contaminantes en ella, lo que vuelve el agua accesible nociva para la salud. Los pobladores manifiestan enfermedades hídricas transmitidas y causadas por su consumo a pesar de hervir el agua hasta 2 veces y echar unas gotas de lejía sin orientación profesional al agua antes de consumirla, enfermedades que ponen en riesgo su salud. Además, el uso constante de gas afecta su economía, y la leña afecta su salud al generar humo y gases tóxicos. En Chillaco, el usuario manifiesta pasar un promedio de 6 horas al día con el gas de la cocina prendido, de las cuales 3 horas diarias hirviendo agua. El costo del balón de gas tiene un promedio de S/ 55.30 y una duración promedio de 19 días, según los pobladores. Lo que se traduce a que en un año, el usuario promedio invierte S/ 1,062.34 en gas.

Según Flor Bernable, habitante de Chillaco y ex representante de la JASS (Junta administradora de servicios de saneamiento) ante la comunidad, la comunidad manifiesta la necesidad urgente de una fuente de agua potable debido a que el insumo actual presenta problemas de cocción de la comida así como la manifestación de enfermedades como diarreas y problemas estomacales (Ecohumanita, 2019). Es necesaria una fuente segura que aumente la necesidad de estabilizar y refuerce las necesidades básicas de supervivencia y seguridad, aumentando así el rendimiento personal físico y que disminuya la posibilidad de desarrollo de enfermedades hídricas mayores como la hepatitis y el cólera.

### **1.3 Pregunta de investigación**

El centro poblado de Chillaco tiene como problema hídrico las enfermedades transmitidas y causadas por el consumo de agua contaminada por bacterias coliformes, indicios de metales, y otros, que afecta la salud de los pobladores. Sonia Bernable, pobladora, comenta en relación al agua sobre casos de enfermedades estomacales, sabores metálicos en el agua y problemas al cocinar utilizando esta. Se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo a través del diseño de un filtro, económico o de autoproducción, para la potabilización del agua contaminada por bacterias y actividad minera, se reducen las enfermedades estomacales y diarréicas asociadas?

## **1.4 Lineamientos de la investigación**

La investigación se dió bajo el contexto de la pandemia del COVID-19 lo cual impactó en la forma de investigación y exploración. Se hizo un estudio de antecedentes sobre el acceso al agua y su importancia como derecho humano, la contaminación minera y el impacto en la vida de las personas que sufren sus consecuencias, los métodos de potabilización, y la importancia del diseño social y sostenible. Además, se hicieron estudios inductivos, empíricos y de conceptualización que dentro del confinamiento ofrecieron soluciones a las dudas y propuestas que iban surgiendo en el camino. Se trabajó junto a una ceramista profesional y se consultó con expertos en temas de botánica, diseño e ingeniería. Finalmente se llegaron a conclusiones que en base a pruebas, retroalimentación y participación del usuario concluyeron en una propuesta final de diseño.

## **Capítulo 2. Antecedentes**

### **2.1 Marco teórico**

#### **2.1.1 Escasez y contaminación del agua a nivel mundial**

##### **2.1.1.1 Derecho al agua potable y relevancia como Objetivo de Desarrollo Sostenible**

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) existen “844 millones de personas a nivel mundial que carecen de un servicio básico de suministro de agua potable” es decir, no poseen fuentes cercanas donde conseguirla y “1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso a agua potable” (UNICEF, 2019). En el 2015, la ONU elaboró 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible con el fin de “crear un futuro sostenible para todos” (Organización de las Naciones Unidas, 2020) en las cuales se contemplan problemas como la pobreza, el clima y medioambiente, la paz y la justicia, con la meta de cubrir todas estas necesidades para el año 2030. El objetivo número 6 abarca el recurso hídrico: Agua limpia y saneamiento. Algunos de las metas de este objetivo relacionados al proyecto en mención son las siguientes:

- A. De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos
- B. De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales

peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial

(Organización de las Naciones Unidas, 2020)

En adición, según un reporte del 2020 del INEI, en el Perú, más de 7 millones de pobladores no cuentan con acceso a agua potable (INEI, 2020), asimismo, la distribución del recurso hídrico no va en relación a la densidad poblacional geográfica debido a que en la costa del Perú, que “concentra más del 70% de la población, solo se cuenta con el 1.8% del total de agua que se produce” a nivel nacional (Municipalidad de Miraflores, 2021). En Lima, donde se concentra el 29.7% de la población total del Perú (INEI, 2020), es decir, 9.7 millones de habitantes (INEI, 2020), “1.5 millones de ciudadanos no cuentan con acceso a agua potable ni alcantarillado” (Municipalidad de Miraflores, 2021). No contar con un sistema de alcantarillado y administración de agua adecuada puede ser un peligro para la salud de los pobladores.

#### **2.1.1.2 Enfermedades hídricas**

El agua con altos niveles de contaminación es un medio en el que se crean, y transmiten, enfermedades hídricas. Estas enfermedades se propagan con la ingestión de agua contaminada por microorganismos (también conocidos como microbios) y productos químicos; que producen diarrea, arsenicosis y esquistosomiasis, fluorosis esquelética y poliomielitis (Nigay et al., 2017). Los resultados de estas enfermedades son dolores, calambres y atrofia muscular, problemas en el sistema digestivo, sarpullidos y comezones, fiebre, problemas neurológicos y hasta causar la muerte (World Health Organization, 2018). Otras enfermedades como las helmintiasis (causante de anemia y deterioro físico) (World Health Organization, 2020) son transmitidas por el suelo que se deben a la deficiencias de saneamiento e higiene. Además, en países de bajos ingresos, las enfermedades diarreicas son la segunda mayor causa de defunciones (Organización Mundial de la Salud, 2018). En el Perú, durante el 2020, se registraron más de 205 mil casos de enfermedades diarreicas de las cuales 1221 fueron hospitalizadas, agregando a lo anterior, 21 defunciones (Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades, 2021).

El consumo de agua con metales pesados también causa enfermedades siendo las diarreicas, náuseas y vómitos las más comunes (Genetic and Rare Diseases Information Center, 2017). El Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos menciona enfermedades como las mencionadas anteriormente, además de dolores abdominales, deshidratación, anomalías cardíacas, anemia, daño a los riñones y al hígado,

síntomas del sistema nervioso, pérdida de memoria, debilidades o malformaciones en los huesos de niños, entre otras, propias del consumo de metales pesados (Genetic and Rare Diseases Information Center, 2017). El siguiente cuadro demuestra los metales comúnmente encontrados en agua contaminada y sus consecuencias al ser ingeridos en grandes cantidades por el ser humano.

**Tabla 1**

*Tabla de metales pesados y sus consecuencias al ser consumidos en grandes cantidades*

<b>Metal Pesado</b>	<b>Consecuencias de consumo en el ser humano</b>
Arsénico	Según la OMS, su consumo causa vómitos y diarreas. Hormigueo y calambres musculares. En altos volúmenes, causa hasta la muerte.
Cadmio	Disfunción y fallo renal. Desmineralización de los huesos y cáncer. (Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social, 2021)
Cobre	Si bien una pequeña dosis de cobre en el cuerpo es necesaria para el desarrollo de distintas áreas del cuerpo, su consumo en exceso causa “lesión hepática, dolor abdominal, calambres, náuseas, diarrea y vómito” (NIH Office of Dietary Supplements, 2019).
Mercurio	Según la OMS, afecta a los sistemas nervioso e inmunitario, además del sistema digestivo, los pulmones y los riñones. En altos volúmenes, causa hasta la muerte. Así mismo, “produce trastornos neurológicos y del comportamiento, insomnio, pérdida de memoria, efectos neuromusculares, cefalea o disfunciones cognitivas y motoras.”
Plomo	El consumo de plomo causa hipertensión, anemia, además de inmunotoxicidad y toxicidad en los órganos reproductores. Además, “ataca el cerebro y el sistema nervioso central, provoca coma, convulsiones e incluso la muerte. Las intoxicaciones graves padecen secuelas como “discapacidad intelectual o trastornos del comportamiento.” (OMS, 2021)

El mercurio es uno de los metales pesados con mayor toxicidad y es una causa común de envenenamiento agudo por metales pesados (Monisha et al., 2014). Así mismo, el estudio afirma que el cerebro es el órgano al cual el mercurio suele afectar en mayor

proporción (Patrick, 2002 ). “Los vapores de mercurio pueden causar bronquitis, asma y problemas respiratorios temporales” (Monisha et al., 2014) además de “daño directo a los tejidos y a la función enzimática así como daño indirecto como resultado de la tensión del oxidante” (Patrick, 2002).

El posible consumo de este y otros metales dada la presencia de diversa actividad minera legal e ilegal de oro en la zona (se profundizará en el siguiente capítulo) significa una fuerte amenaza a la vida de los pobladores del valle del río Lurín. Son ellos mismos, pobladores como Nilda Zabaleta y Ana María Mantary, quienes manifiestan enfermedades estomacales en el poblado, sabores extraños y problemas en la cocción de la comida. En una entrevista a la pobladora Sonia Bernable, comentó sobre los casos de diarreas y problemas al cocinar ciertos alimentos, recalcando que no llegaban a cocinarse del todo.

## **2.1.2 Escasez y contaminación del agua en la cuenca del Río Lurín**

### **2.1.2.1 Situación en Lima, Perú**

En el departamento de Lima, en Perú, el sistema de abastecimiento de agua está a cargo de la empresa estatal SEDAPAL (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima) creada en el año 1981, que brinda servicios a privados (SEDAPAL, 2020) mediante un sistema de alcantarillado o de camiones cisternas para aquellos que no son parte de la red de alcantarillado y desagüe. Las fuentes hídricas superficiales utilizadas por SEDAPAL son el río Rímac y el río Chillón, y las subterráneas son los ríos Rímac, Chillón y Lurín. (SEDAPAL, 2017)

En el departamento de Lima hay una población de más de 9.5 millones de habitantes (INEI, 2017) y a pesar de que es el departamento con mayor cobertura del sistema de alcantarillado (Naupari, 2018), aún “1.5 millones no cuentan con acceso a agua potable ni alcantarillado” (OXFAM, 2020), la mayoría de ellos ubicados en las zonas periféricas del departamento, en pequeños poblados o asentamientos humanos, de un nivel socioeconómico bajo abastecidos a través de un camión cisterna, cuyo precio por litro puede ser hasta el doble que el litro abastecido por la red de alcantarillado (OXFAM, 2020). En zonas rurales, tan solo 1 de cada 6 personas de la población tiene acceso a un sistema de alcantarillado (Naupari, 2018).

El estrés hídrico o de agua es una condición en la cual los recursos hídricos de las personas “caen entre 1.000 y 1.700 metros cúbicos por persona por año” (PNUMA, 2010) quienes se encuentran debajo de la línea de 1.000 se describen como que experimentan estrés hídrico alto y es caracterizado por tener una escasez constante de agua que tiene

como consecuencia un efecto negativo en la salud, el desarrollo económico y el bienestar general de las personas. Debido a la escasa distribución y servicio de agua, según el Instituto de los Recursos Mundiales, el Perú se encuentra en un nivel *medio alto* de estrés de agua, sin embargo, en el caso del Perú, la escasez de agua es económica, es decir, no hay carencia de agua dulce, sino de infraestructura para su limpieza y transporte” (RPP Noticias, 2020), además “entre el 25% y el 30% del agua que produce Sedapal se pierde por una mala cultura de uso, problemas en la distribución, tuberías malogradas o filtración permanente” (Pontificia Universidad Católica del Perú, 2018).

Los parámetros permisibles de calidad de agua los establece DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental). Este organismo establece los límites máximos permisibles microbiológicos, parasitológicos, químicos, etc. (DIGESA, 2011). Estos son algunos de los parámetros importantes a tener en cuenta:

**Tabla 2**

*Tabla de parámetros máximos permisibles para el control de calidad de agua establecido por DIGESA*

<b>Elemento</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Mercurio	0.001 mg Hg L-1
Bacterias Coliformes	0 UFC/100 mL
Cloro	5 mg L -1
Plomo	0,010 mg Pb L-1
Arsénico	0,010 mg As L-1
Hierro	0,3 mg Fe L-1
Manganeso	0,4 mg Mn L-1
Aluminio	0,2 mg Al L-1

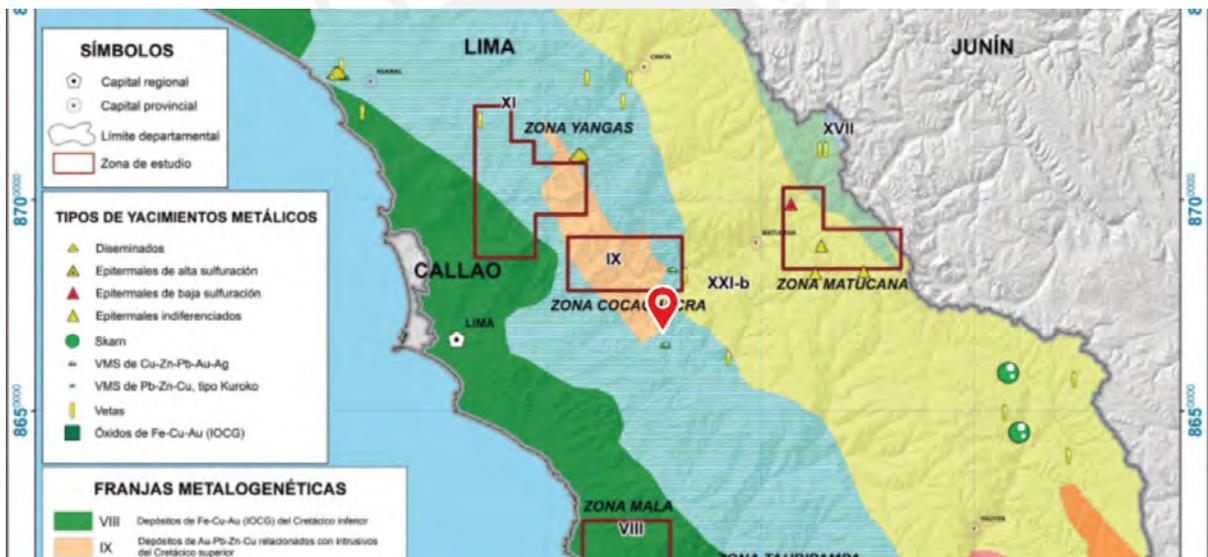
*Nota:* Estos son tan solo 8 parámetros de los cientos establecidos dentro del reglamento de calidad de agua. Se mencionan estos al ser relevantes para el contexto de estudio, comprendiendo metales, químicos utilizados en las viviendas y bacterias comunes.

### 2.1.2.2 Actividad minera cercana a la cuenca Lurín

El Ministerio de Energía y Minas reconoce al Perú como el “primer productor de oro en Latinoamérica y el 8vo en el mundo” (MINEM, 2020) en el que 14.17% del territorio está concesionado a la minería y 1.28% en actividad minera. (MINEM, 2020). En el departamento de Lima encontramos producción de diferentes tipos de metales en producción. Los principales productores de plata, plomo y zinc se encuentran en las provincias de Oyón y Huarochirí, como señala la Figura 1. Los principales productores de cobre están en Cañete y Huarochirí, y los de oro en Cañete y Barranca. (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET, 2019).

**Figura 1**

*Mapa metalogénico de Lima Centro*



*Nota:* Recorte de mapa metalogénico en el que se aprecia: señalado en rojo la ubicación del pueblo de Chillaco, resaltado en naranja la zona de depósitos de oro, plomo, cinc y cobre, y en el rectángulo de contorno rojo, una de las zonas de estudio (Fuente: Geocatmin, 2017).

El rectángulo de contorno rojo es la zona de Cocachacra, esta “forma parte del Bloque Centro y se encuentra ubicada a 45 km, aproximadamente, de la ciudad de Lima. Políticamente forma parte de las provincias de Huarochirí (80%) y Lima (20%)” (INGEMMET, 2019). El artículo de INGEMMET demuestra la presencia de depósitos de oro, plata, cobre, hierro, plomo y cinc en la zona de Chillaco.

Así mismo, en la Figura 2, encontramos en la zona una Cartera de Explotación minera y otra en los alrededores en fase avanzada de exploración como señalado en el siguiente mapa.

**Figura 2**

*Recorte de Mapa de Principales proyectos Mineros y Unidades en Exploración Edición 2020*



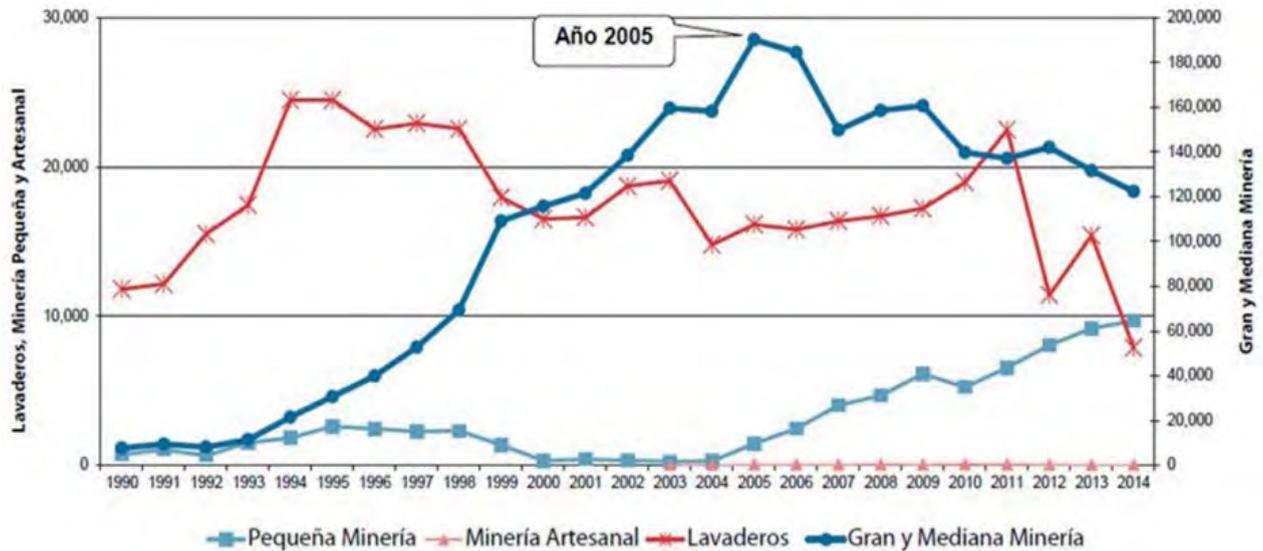
*Nota:* Recorte del mapa nacional en la zona central del Departamento de Lima. Señalado en rojo la ubicación del pueblo de Chillaco y con un círculo azul la Palma como zona en cartera de exploración minera y en un rombo rosado a Chanape en exploración avanzada. Extraído de la página web del ministerio de Energía y Minas <http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=622>

(MINEM, 2020).

La gran y mediana minería de oro en el Perú ha disminuido por diversas causas desde el año 2005 en adelante (Figura 3), sin embargo, la producción minera de pequeña escala tuvo un significativo aumento debido al crecimiento de la minería artesanal. Esta se lleva a cabo en depósitos de menor tamaño y que no requiere una gran inversión inicial ya que su infraestructura y herramientas son de bajo costo. Esto permite que los trabajadores generen ingresos en un corto periodo de tiempo (INGEMMET, 2019).

**Figura 3**

*Variación de la pequeña y gran minería, periodo 1990 - 2014*



*Nota:* El gráfico demuestra el pico de la gran minería de oro en el año 2005 y luego su descenso. Mientras que la pequeña minería de oro va en aumento logrando su mayor producción el último registrado. (INGEMMET, 2019).

El aumento de esta pequeña minería puede significar un peligro para los recursos hídricos cercanos al ser artesanal o informal, ya que muchas no cuentan con regulaciones de explotación y de gestión de desechos. El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú visitó 60 sectores o áreas con labores mineras dentro de las 10 zonas con mayor actividad minera en Lima, y encontró “un promedio de 4 mineros informales (mineros dentro del proceso de formalización que conviven con la minería formal e ilegal), por lo que nuestra muestra representa al 11% del total de mineros inscritos en el REINFO (Registro integral de formalización minera) para la región” (INGEMMET, 2019).

Observamos en el siguiente cuadro (Figura 4) cómo la minería “en formalización” es la mayor productora de oro con 806.49 miles de onzas finas, más del doble que la pequeña minería sumada a la minería artesanal.

**Figura 4**

*Cuadro de producción nacional de oro de la gran, pequeña minería, minería artesanal e informal del 2007 al 2016.*

2007 - 2016: PRODUCCIÓN NACIONAL DE ORO A NIVEL CONCENTRADOS, SEGÚN ESTRATOS (miles de onzas finas)										
ESTRATO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016*
<b>Total</b>	<b>5473</b>	<b>5783</b>	<b>5915</b>	<b>5275</b>	<b>5342</b>	<b>5194</b>	<b>5024</b>	<b>4504.22</b>	<b>4720.47</b>	<b>4919.24</b>
GRAN Y MEDIANA MINERÍA	4,817	5,095	5,164	4,495	4,408	4,567	4,234	3,948	4,038	3,762
PEQUEÑA MINERÍA	129	150	197	168	210	259	295	303.30	286.09	343.39
MINERÍA ARTESANAL	1	1	1	2	1	1	0	0	4.74	7.02
Artesanales en formalización /1	526	537	553	610	723	367	495	252.94	391.42	806.49
(*) Datos preliminares. 1/ Incluye producción estimada de los mineros artesanales de Madre de Dios, Arequipa, Piura y Puno.										

*Nota:* El cuadro demuestra las cantidades de oro producidas en miles de onzas finas. Se observa una tendencia decadente en la gran y mediana minería, y una tendencia en aumento exponencial a partir del 2012 en la minería en formalización.

Además, la minería informal “presenta una baja posibilidad de formalizarse debido a que la gran mayoría trabaja en yacimientos de vida útil menor al tiempo que demanda conseguir la formalidad.” (INGEMMET, 2019) a causa de la burocracia en el proceso y las grandes exigencias para conservar el medio ambiente. Esto resulta en más de 24 millones de onzas producidas sólo entre los años 2012 y 2016 de manera informal e ilegal, sin mayor regulación ni seguridad tanto del medio ambiente como del personal que lo trabaja, y siguiendo la tendencia de crecimiento de la minería informal e ilegal mencionada anteriormente, las actividades y residuos de esta explotación minera seguirán siendo grandes fuentes de contaminación para los ecosistemas cercanos tanto plantas como animales, y poblados enteros. Tomando como ejemplo la explotación del oro, la extracción de 24 millones de onzas de oro en 5 años, significa un uso de entre 97 y 487 millones de onzas de mercurio (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2012), residuos que son vertidos a los ríos o evaporados en el aire.

A partir de esta información, podríamos deducir que la zona del poblado de Chillaco y sus alrededores cuentan con canteras de explotación minera ilegal, cuyas actividades

tienen un impacto mayor en los recursos hídricos de la comunidad, afectando de manera negativa su bienestar.

### **2.1.2.3 Acceso al agua en Chillaco**

Chillaco es un poblado de aproximadamente 200 personas, ubicado a 2 horas al este de la ciudad capital de Lima. Se encuentra a una altura de 1183 m.s.n.m y a pesar de ser parte del Plan Regional de Saneamiento 2018-2021 del Gobierno Regional de Lima, no se ha implementado ningún sistema o red de agua y saneamiento en la zona según el Diagnóstico participativo elaborado por la ONG EcoHumanita (Gobierno Regional de Lima, 2018). La gestión del recurso hídrico en Chillaco sigue el marco legal vigente que menciona que “debiera ejercerse únicamente por las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento y por las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento” (Global Water Partnership South America, 2004) también denominada JASS, el poblado cuenta con esta última, asociada a la municipalidad de Antioquía. Según Flor Bernable, presidenta de la JASS de Chillaco, las fuentes hídricas actuales son 2: el río Lurín y un puquio ubicado aproximadamente a 10km de distancia desde el cual la comunidad, junto a comunidades vecinas, han construido su propio canal de agua, desde este último, hacia los poblados. Estos canales son administrados por los poblados cercanos respetando horarios de abastecimiento. El agua de las fuentes hídricas tiene diferentes usos en Chillaco. El primero, el agua proveniente del río Lurín, es utilizada principalmente para el regadío de la cosecha. El segundo, proveniente del puquio a 10km de distancia que se encuentra dentro del terreno concesionado por la minera La Palma, es dirigida hacia un tanque comunal mediante tuberías autoconstruidas en el cual se almacena y luego distribuye mediante tuberías a las viviendas, y es de uso diario tanto para aseo y consumo personal (Bernable, 2020).

El poblado de Chillaco, como mencionado anteriormente, no cuenta con un sistema de desagüe. La comunidad ha construido una fosa séptica que ha colapsado con los años (Bernable, 2020). La mala construcción y mal uso de las fosas sépticas puede causar problemas muy graves como la contaminación de aguas subterráneas (EcoCentury, 2016) y la propagación de enfermedades. Entre las enfermedades más severas podemos señalar la disentería, hepatitis, fiebre tifoidea, y otras enfermedades gastrointestinales agudas como el cólera.” (González Toro, 2020). Es necesario el mantenimiento constante del pozo séptico comunal para evitar la contaminación de otras fuentes de agua. Un servicio que no se le ha dado desde que fue instalado.

## **2.1.2.4. Causas de contaminación del agua en comunidades**

### **2.1.2.4.1 Por factores internos a la comunidad**

La mala gestión de desechos representa una fuente altamente contaminante de aguas subterráneas y superficiales. En poblados que no forman parte de un sistema de desagüe y alcantarillado, los desechos domésticos pueden terminar en zonas cercanas a sus mismas fuentes de agua limpia al tener una fosa séptica colapsada. Para evitar estos problemas, en Chillaco y en los poblados vecinos del valle del río Lurín, los desechos son recolectados por un volquete municipal 2 veces por semana. Además, en comunidades agrícolas como Chillaco, el uso de pesticidas y fertilizantes químicos puede contribuir a la contaminación de aguas subterráneas y superficiales. Los pobladores de Chillaco utilizan pesticidas en sus cultivos solo cuando hay plagas o insectos específicos, lo cual minimiza, pero no elimina, la cantidad de contaminación a las fuentes hídricas cercanas. Cuando uno de estos químicos es proporcionado a mayor cantidad de la capacidad de absorción del cultivo, los restos son absorbidos por la tierra y termina infectando fuentes de agua subterráneas (Lorenzo, 2019). Asimismo, el enjuague de contenedores de estos químicos en fuentes de agua como ríos y lagos es también una manera de contaminar los recursos hídricos inmediatos. (El Comercio, 2017).

Los contaminantes ingresan a los ecosistemas acuáticos a través de la descarga de aguas residuales de la escorrentía industrial, urbana y agrícola. En comparación con los contaminantes orgánicos, los procesos de descomposición natural no eliminan contaminantes inorgánicos como los metales pesados. Por el contrario, pueden acumularse en la dentro de la flora y fauna local y convertirse en complejos orgánicos, que potencialmente pueden volverse más tóxicos y causar daños irreversibles a la salud humana. (Cuadrado et al., 2019). Chillaco es vulnerable a estas formas de contaminación al ser un poblado agrícola, con actividad minera cercana, y con un sistema hídrico precario.

### **2.1.2.4.2 Por factores externos a la comunidad**

La crisis actual del calentamiento global tiene un impacto indudable en las fuentes hídricas globales. En Perú los aluviones, también llamados huaicos por su origen proveniente de la lengua quechua (Wikipedia, 2020), son una “masa enorme de lodo y peñas que las lluvias torrenciales desprenden de las alturas de los Andes y que, al caer en los ríos, ocasionan su desbordamiento” (Real Academia Española, 2020). Estos se dan debido a fuertes lluvias que caen en ríos o lagos, que provocan su desborde (Info Inundaciones, 2015), especialmente durante el Fenómeno del Niño, escenario que es cada vez más recurrente debido al incremento de temperatura en los océanos (Ashok et al., 2007)

y las grandes cantidades de agua del deshielo en la Antártida, el Ártico y Groenlandia, producto de lo mismo (National Geographic, 2019). Así mismo, la deforestación y la construcción de viviendas en estas zonas son también acciones que empeoran la situación (La República, 2017).

Este fenómeno natural afecta el sistema de suministro y a las mismas fuentes hídricas debido a que el caudal del huaico destruye a su paso construcciones y tuberías que pueden suministrar el agua. Además, el desprendimiento que se mezcla con el agua dulce del río la vuelve una misma enorme masa de lodo (Real Academia Española, 2020) cuya composición hídrica es muy difícil de extraer y consumir. El valle y las carreteras de Chillaco son considerados “zonas críticas de la provincia de Huarochirí” (INGEMMET, 2014) al ser una “zona de huaycos, erosión fluvial y derrumbes” las cuales podrían afectar la carretera a que sigue a lo largo del río Lurín ya que en época de lluvias acarrearán huaycos. (INGEMMET, 2014).

#### **2.1.2.4.3 Contaminación minera**

La minería es una actividad económica que puede causar impactos medioambientales como la “destrucción del paisaje, degradación del ambiente visible, destrucción de la tierra agrícola y forestal, daño a las áreas recreacionales, emisión de polvo durante la construcción, incremento de la erosión y sedimentación, e incremento de los niveles de ruido” Según el Ministerio de Energía y Minas. En las actividades mineras, las fuentes de contaminación de los recursos hídricos, son los efluentes líquidos de las plantas concentradoras, efluentes líquidos de las canchas de relaves, y la principal fuente: el drenaje de minas (Ministerio de Energía y Minas, 2020). Uno de los elementos utilizados para la minería a pequeña escala es el mercurio. “Las liberaciones antrópicas de mercurio pueden ocurrir principalmente asociadas con la combustión de combustibles fósiles, la producción electrolítica de cloro y sosa, la industrialización de pesticidas, amalgamas dentales y extracción de oro” (Teles Gomes et al., 2014). Según Bonanno & Cirelli, el mercurio “es uno de los elementos naturales más peligrosos de la Tierra, y puede convertirse en formas tóxicas como metil-mercurio, fácilmente asimilable por la biota acuática y terrestre. El mercurio es particularmente peligroso en los ecosistemas acuáticos, que se caracterizan por un mayor número de niveles tróficos” (Bonanno & Cirelli, 2017).

En Perú “existen diversas fuentes conocidas de exposición al mercurio, la principal es la minería, especialmente la informal” (Instituto Nacional de Salud et al., 2019). La minería informal y la ilegal (lo que las diferencia es que la informal se encuentra en un proceso de formalización mientras que la ilegal no) no tienen regulaciones. En el Perú hay

alrededor de 500 mil extractores informales (ESAN, 2019), y entre el 2011 y el 2014, de los 153 conflictos sociales ligados al agua, “42 casos estaban ligados a la actividad minera formal” (Cordova Rampant, 2019).

El mercurio se usa principalmente para la extracción de oro mediante el proceso de amalgamación. Este proceso implica separar el oro de las partículas sin valor con las que está mezclado (Ministerio del Ambiente, 2016). La tierra con oro y otros minerales, llamada sedimento, se extrae y coloca en un recipiente mezclándolo con agua y se le agrega una cantidad determinada de mercurio proporcional al oro que puede variar de 4 a 1 (4 partes de mercurio por cada parte de oro) hasta 20 a 1 (20 partes de mercurio por una de oro) para la amalgamación (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2012). Se remueve hasta que el mercurio aglomera las partículas de oro en una misma pieza llamada botón, donde se encuentra todo el oro y parte del mercurio. (Plataforma Integral de Minería, 2014) Luego se bota el agua con restos de mercurio, conservando solo el botón, que luego es quemado (Medicus Mundi Mediterrània, 2017) “con el fin de evaporar el mercurio del oro extraído”. Su evaporación es inodora, e invisible, y es nociva para la salud teniendo efectos como “trastornos neurológicos y de comportamiento (como) temblores, inestabilidad emocional, insomnio, pérdida de la memoria, pérdida de visión, alteraciones neurológicas, dolores de cabeza, problemas renales y afección al desarrollo del feto” (Ministerio del Ambiente, 2016).

#### **2.1.2.4.4 Minería y contaminación en la cuenca del río Lurín**

La cuenca del río Lurín “es la cuenca más pequeña de Lima, y se ubica al sur del área metropolitana” (AquaFondo, 2020) que tiene a lo largo “zonas arqueológicas, áreas agrícolas, sistemas de andenes, así como los sistemas de siembra y cosecha de agua conocidos como “amunas”. Así mismo, “el valle bajo del río Lurín, es considerado el último “pulmón verde” de la ciudad de Lima, importante para actividades turísticas y producción de alimentos” (AquaFondo, 2020). Sin embargo, a lo largo del río podemos encontrar fuentes contaminantes como las vertientes de minería formal e informal de la zona, como mencionado anteriormente, y vertientes de aguas servidas domésticas e industriales sin un previo tratamiento (AquaFondo, 2020). Además, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) realizaron análisis de metales en los se encontraron un ligero exceso de Plomo (Anexo A), de Magnesio (Anexo B) y de Fósforo (Anexo C), excediendo los límites permisibles establecidos por DIGESA (Autoridad Nacional del Agua, 2013), así como informes del 2014, 2018, 2019 y 2020 que confirman la existencia excesiva de coliformes y E. coli.

El río Lurín se enfrenta a diferentes amenazas como la “contaminación industrial y doméstica, la minería multi metálica, la pérdida de biodiversidad, las políticas extractivas, proyectos inmobiliarios” y la falta de acción por parte de las autoridades por encontrar soluciones a estos problemas (Proyecto Regional Andino Perú-Bolivia, 2021). Además, en los últimos años, el aumento de minería artesanal a lo largo de la cuenca media y alta ha aumentado. (Proyecto Regional Andino Perú-Bolivia, 2021). Los pobladores de Chillaco recalcan un cambio en la flora y fauna natural de la zona. En una entrevista a la pobladora Nilda Zabaleta, comenta; “el río tenía mucho camarón, ahora no hay nada. Dicen que el río es un río virgen pero no es así.” Comenta además sobre el aumento de la minería ilegal cercana y cómo ésta ha aumentado con la pandemia del COVID-19 ya que muchos han recurrido a ella como fuente de ingreso, aumentando también, el impacto medioambiental en la zona.

La contaminación del agua del río Lurín es una amenaza para la vida que la cuenca provee. Residuos mineros podrían amenazar tanto la salud humana como la de la fauna del río y perjudicar la calidad de vida de los pobladores, afectando su salud y sus cosechas, las cuales son su fuente de ingreso económico

### **2.1.3 Potabilización del agua**

#### **2.1.3.1 Potabilización industrial**

A nivel Lima región, SEDAPAL se encarga de la potabilización del agua. Esta se lleva a cabo en 8 pasos: la captación de agua, desarenado, precloración, embalse, tratamiento, decantación, filtración y finalmente cloración. Luego el agua se dirige a los reservorios en la ciudad para luego ser redireccionados a las viviendas. La captación consiste en la recolección del agua cruda a la planta luego de atravesar un primer filtro para retener elementos grandes. El desarenado consiste en empozar brevemente el agua para que precipiten elementos como arena u otras partículas pesadas. Luego se le agrega una pequeña cantidad de cloro en la precloración y se dirige el agua a un estanque regulador en el proceso de embalse. Más adelante, en el tratamiento, se matan algas restantes en el agua con sulfato de cobre y en la decantación se agregan coagulantes para formar un manto de lodo sobre el agua. Luego pasa por un segundo filtro que reduce las bacterias y la turbiedad del agua para finalmente aplicar cloro en la cloración antes de trasladarla a los reservorios (Perú21, 2017).

### **2.1.3.2 Potabilización doméstica**

Cabe recalcar que la potabilización doméstica realizada en zonas urbanas es un proceso sencillo ya que el agua suele haber pasado por un primer proceso como el mencionado en el punto anterior y cualquier contaminante que se encuentre en el agua se debe a elementos impuros en los canales de abastecimiento a las viviendas. Cuando nos referimos a espacios rurales que no forman parte de la red de distribución de alcantarillado y desagüe, el agua captada es agua cruda (agua sin tratamiento previo, en estado puro). En estos casos, la potabilización mediante un filtro permite un proceso de limpieza flexible, adaptable al contexto en cuanto a partes, elementos filtrantes, tamaño y diseño, y “un tratamiento de alta calidad”. (Agarwal et al., 2016). Fornaguera propone como solución al abasto de agua y saneamiento en comunidades pequeñas, responder a cinco aspectos, siendo uno de ellos “la potabilización del agua”, para la cual considera necesaria la “participación comunitaria, cuidado del medio ambiente, bajo costo, adecuación sociocultural y económica” (Fornaguera, 2004).

### **2.1.3.3 La totora y su capacidad para la fitorremediación**

La fitorremediación es un “conjunto de tecnologías basadas en el uso de plantas naturales o modificadas genéticamente, en orden para reducir, eliminar, romper o inmovilizar contaminantes, trabajar como alternativa al tratamiento de aguas residuales, debido a su sostenibilidad, bajo coste de mantenimiento y energía” (Teles Gomes et al., 2014) a través de las diferentes partes de la planta “que involucra enzimas de fluidos corporales vegetales y microbiota, por medio de lo que los contaminantes se convierten en sustancias con toxicidad reducida” (Teles Gomes et al., 2014). Carranza-Álvarez et al. afirman que esta alternativa de fitorremediación, “la capacidad de algunas especies vegetales para acumular altas concentraciones de metales pesados en raíces u hojas, representa una estrategia importante en la remediación de sitios contaminados por metales pesados” (Carranza-Álvarez et al., 2007) además de ser segura y de bajo costo al ser realizada en la misma locación en que sea necesaria, ya que tan solo “depende de especies vegetales naturales para extraer, secuestrar y desintoxicar los contaminantes” (Bonanno & Cirelli, 2017).

#### **2.1.3.3.1 Características**

La totora, *Typha domingensis*, (Figura 5) es una planta “herbácea y rizomatosa, cuya altura puede alcanzar hasta los 3 metros de altura, suele preferir suelos húmedos y poco profundos, de aguas mansas como ríos y lagunas (Bonanno & Cirelli, 2017), y climas cálidos, así como luz solar directa. Además, gracias a un estudio empírico realizado a lo

largo de un año, se comprobó que también tiene la capacidad de crecer aproximadamente un metro de altura en un año, y desarrollar raíces al estar en un contenedor con agua en un patio doméstico con 5 a 8 horas de luz solar directa al día. La totora tiene 4 partes principales: las raíces, el rizoma, el tallo sumergido y el tallo aéreo (ADESU & PELT, 2001) como se muestra en la Figura 6. Al ser una planta perenne, logra vivir más de 2 años, son plantas perennes en constante crecimiento (Melo Hormaza, 2018). Sus hojas emergen del agua de manera vertical ya que son una planta “macrófita acuática emergente” (Teles Gomes et al., 2014), sin embargo, su expansión se da a través de las rizomas, (tallo y raíces que crecen tanto hacia abajo como hacia los lados, esparciéndose por el espacio disponible) por el cual se reproducen y multiplican (Melo Hormaza, 2018). La totora puede alcanzar una densidad de 300 plantas por metro cuadrado (ECURed, 2022), sin embargo en el estudio empírico mencionado anteriormente, en un ambiente controlado de un balde de 20 lt, la totora mantuvo un tallo no mayor a 15 cm de diámetro. En su ecosistema, la *Typha Dominguensis* sirve de un “hábitat de protección y reproducción de aves y peces” (Autoridad Binacional del Lago Titicaca, 2011) mientras que para el uso humano se utiliza “como forraje para el ganado, como abono en la agricultura, en la construcción de balsas, artesanías, vivienda, salud y alimentación.” (Autoridad Binacional del Lago Titicaca, 2011).

### Figura 5

Fotografía *Typha Dominguensis*.



*Nota:* Fotografía de Gerardo Machado en Marzo del 2020 en Mazatlán, México.

<https://ecuador.inaturalist.org/observations/40655278>

La totora es capaz de soportar condiciones ambientales extremas, incluyendo la presencia de contaminantes tóxicos (Cuadrado et al., 2019) así como “fluctuaciones de alta salinidad” (Carranza-Álvarez et al., 2007). Debido a su alta resistencia a estas condiciones, es fácil de encontrar en múltiples partes del mundo y alrededor de todo el Perú, desde los alrededores del lago Titicaca a más de 3800 m.s.n.m de clima seco que cuenta con una temperatura promedio anual de 0°C (La Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico del Lago Titicaca, 2021), hasta los Pantanos de Villa en Lima, a 0 m.s.n.m con un clima que alcanza humedades de hasta 99% y una temperatura promedio anual de 19°C (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, 2021). Las especies de totora *Typha domingensis*, *Typha latifolia* L., y *Typha angustifolia* L. “están distribuidas en todo el planeta en la zona trópica y en humedales de clima templado, lagos y ríos” (Bonanno & Cirelli, 2017).

**Figura 6**

*Ilustración de las partes de la totora *Typha Domingensis*.*



Carranza-Álvarez et al. mencionan que la capacidad de los diferentes tipos de totora de sobrevivir en aguas altamente contaminadas es resultado “del desarrollo de mecanismos fisiológicos relacionados con la tolerancia de estas plantas a metales pesados” (Carranza-Álvarez et al., 2007). Así mismo, “estas especies de *Typha* también son plantas invasoras y fuertes competidoras, es decir que crecen tanto y tan rápido como el espacio lo permita. En un humedal construido para el tratamiento de efluentes, la invasividad es una característica deseable de la planta” (Bonanno & Cirelli, 2017), es por esto que Bonanno y Cirelli afirman que en un mundo cada vez más afectado por la contaminación, los sistemas naturales brindan soluciones eficientes y rentables para contrarrestar la degradación del suelo y el agua. Estos sistemas pueden ser una gran solución para “la remediación de metales de los humedales contaminados”. (Bonanno & Cirelli, 2017).

#### **2.1.3.3.2 La fitorremediación y capacidad de limpieza de agua**

En los últimos años, el uso de un tratamiento biológico con plantas para la limpieza de metales pesados del agua ha aumentado, es el tercer tipo de tecnología utilizado, detrás de la floculación o precipitación, y el tratamiento biológico utilizando microorganismos. (Instituto Nacional de Salud et al., 2019). La fitorremediación es un proceso natural que sucede en algunas plantas semiacuáticas que traslada los contaminantes a otras partes de la misma. “Los metales pesados, en particular, pueden eliminarse del suelo contaminado, los lodos, los sedimentos y el agua, gracias a plantas particulares que captan los contaminantes a través de las raíces y los transloca a las partes superiores de la planta” (Bonanno & Cirelli, 2017) que luego puede ser podado. Además de que su implementación como elementos de limpieza de metales pesados resulta ser muy económica (Carranza-Álvarez et al., 2007).

Una planta acuática (en este caso la totora) deberá contar con las siguientes características para un proceso óptimo: rápido crecimiento, el cual la totora posee al crecer un aproximado de 100 cm cada 4 meses (ADESU & PELT, 2001); una alta producción de biomasa y la habilidad de acumular nutrientes y metales pesados en grandes cantidades y por un tiempo prolongado (Carranza-Álvarez et al., 2007). Las *T. domingensis*, *T. latifolia* y *T. angustifolia* son 3 tipos de totora que cuentan con estas características de rápido crecimiento, gran biomasa al ser una planta que crece y se reproduce en cantidades grandes, y han sido utilizadas múltiples veces y de manera exitosa para “varios usos de fitorremediación, como fitoestabilización, fitoextracción y tratamiento de agua en humedales construidos” (Bonanno & Cirelli, 2017) como lo veremos en el estado del arte, en el humedal artificial del Fundo Casablanca en Pachacamac de la Ing. Agrónoma Carmen

Felipe-Morales. En la Figura 7 se muestra la capacidad de las diferentes totoras de fitorremediar los contaminantes metálicos del agua:

### Figura 7

*Tabla de concentraciones de plomo, cadmio, cromo, hierro y magnesio en diferentes plantas que pertenecen a la familia de los cyperaceae y tyhaceae: las totoras.*

**Table 3** Lead, cadmium, chromium, manganese and iron concentrations (mg/Kg) in macrophytes belonging to Cyperaceae and Typhaceae families used for comparison with this study

Plant specie	Family	Pb	Cd	Cr	Mn	Fe	Reference
<i>Scirpus tabernaemontani</i>	Cyperaceae	1.31	0.05	4.93	235.2	1,241	Vardanyan and Ingole 2006
<i>Eleocharis palustris</i>	Cyperaceae	3.29	0.04	2.21	1,791	1,284	
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	Cyperaceae	2.16	0.28	7.20	1,855	1,874	
<i>Typha angustifolia</i>	Tyhaceae	1.82±1.62	0.3±0.2	3.35±2.0	NA	NA	Demirezen and Aksoy 2004
<i>Typha angustifolia</i>	Tyhaceae	6.0±0.4	0.5±0.1	3.4±0.2	59±5	NA	Samecka-Cymerman and Kempers 2001
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	Cyperaceae	1.5±0.2	15.3±0.7	4.9±0.2	67±7	NA	
<i>Carex remota</i>	Cyperaceae	26.8±1.2	2.3±0.2	7.0±0.6	2,116±58	NA	
<i>Typha latifolia</i>	Tyhaceae	350.7±625.5	4.96±3.42	NA	465±233.34	845±643.4	Hozhina et al. 2001
<i>Scirpus sylvaticus</i>	Cyperaceae	22.75±15.9	1.45±0.14	NA	665±445	560±59.39	
<i>Scirpus lacustris</i>	Cyperaceae	2.1	0.2	NA	420	NA	Sawidis et al. 1995
<i>Cyperus longus</i>	Cyperaceae	2.2	0.6	NA	244	NA	
<i>Cyperus longos</i>	Cyperaceae	NA	NA	0.3	1.7	48	Sawidis et al. 1991
<i>Scirpus americanus</i>	Cyperaceae	26.5±3.5	4.3±0.05	344.6±15.4	3330.2±125	1,229.9±20	Present study
<i>Typha latifolia</i>	Tyhaceae	18±0.8	4.6±0.08	110±13.1	1,651.9±106	669.2±7.1	

NA Not analyzed

*Nota:* La tabla muestra una recolección de información de las concentraciones de 5 diferentes metales en el siguiente orden: plomo, cadmio, cromo, hierro y magnesio, en diferentes plantas, producto de 7 estudios desde el año 1991 hasta el 2007 (Carranza-Álvarez et al., 2007).

En estudios en los que se mide la concentración de metales pesados en diferentes partes de la planta luego de la absorción, se revela una mayor concentración de estos en las raíces que en los tallos y hojas. (Carranza-Álvarez et al., 2007). Carranza-Álvarez et al. lo explican debido a que el tejido de las raíces es el que cuenta con mayor exposición a los metales en el agua (Carranza-Álvarez et al., 2007) a lo que Bonnano y Cirelli agregan que estas especies “restringen la acumulación de metales en las partes sobre el suelo de la planta” (Bonanno & Cirelli, 2017). Estas concentraciones de metales se almacenan en la hoja la cual al crecer hay que podar y desechar de manera adecuada debido a que se

saturan de estos elementos, y pueden llegar a causar el efecto contrario al esperado, es decir, re-contaminar el agua (Eduardo, 2021).

Un estudio realizado en Brasil, 2014, llamado Fitorremediación de agua contaminada con mercurio utilizando *Typha domingensis* en humedales construidos se basó en el uso de totora, específicamente *Typha domingensis*, para la limpieza de mercurio del agua. Los resultados demostraron la gran capacidad de la planta para su limpieza, extrayendo el mercurio del agua contaminada en el que como estudio crearon dos espacios. En el primer espacio, sin el uso de la totora (*T. domingensis*), se ve una reducción de mercurio en  $59.4\% \pm 0.7$  en los primeros 27 días debido a otros microorganismos presentes en el agua (Teles Gomes et al., 2014), mientras que en el espacio con *T. domingensis*, se redujo un  $99.6\% \pm 0.4\%$  en la misma cantidad de tiempo (Teles Gomes et al., 2014). La mayor reducción se dio en las primeras 24 horas, luego de las cuales solo se encontró menos del 20% de la concentración del mercurio original (Teles Gomes et al., 2014), siendo este el principal momento de limpieza de la totora, y el resto se redujo gradualmente los siguientes 14 días. Si el agua fuese consumida con las concentraciones originales, el usuario podría sufrir enfermedad y hasta intoxicaciones como explicado en capítulos anteriores. El nivel máximo de mercurio en agua potable deberá ser de  $0.001 \text{ mg Hg L}^{-1}$  según lo establecido en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano por DIGESA, es la cantidad que se lograría con las primeras 24h del experimento. Por otro lado, en un estudio realizado en Huancayo, Perú, se probó la remoción de cobre, plomo, hierro y cinc con *Scirpus californicus* (otro tipo de totora) al condicionar la totora con 1.5lt de solución de los metales previamente mencionados, ante las cuales tuvieron como resultado que “las tasas de eliminación de metales pesados en los experimentos fueron relativamente lentas en los dos primeros días (...) debido a que las plantas necesitan una cierta cantidad de tiempo para adaptarse a un nuevo entorno” (Cuadrado et al., 2019). El estudio empieza a mostrar una mejora en los resultados sobre la absorción de metales a partir del 3er día debido a la adaptación de la planta a un contenedor de vidrio. En una entrevista, la Ingeniera Ambiental Alicia Eduardo, menciona que estableció un plazo de dos meses de adaptación de la totora a su nuevo ambiente (Eduardo, 2021) en un humedal artificial para la limpieza de residuos industriales. La adaptación de la misma dependerá del medio para el cual se proponga.

En el estudio de Bonanno y Cirelli, se utilizaron muestras de cada planta, con raíces de entre 10 y 50 centímetros de profundidad. Las 3 especies de la familia *Typha* previamente mencionadas “mostraron concentraciones de elementos generalmente similares, lo que sugiere que en general *T. domingensis*, *T. latifolia* y *T. angustifolia* tienen capacidades comparables de absorción de elementos” (Bonanno & Cirelli, 2017). Así

mismo, las 3 demostraron tener “los mismos patrones de concentraciones de elementos en sus órganos. Específicamente, las concentraciones de elementos disminuyeron consistentemente en todas las especies de Typha en el orden de la raíz > rizoma > hoja” (Bonanno & Cirelli, 2017). El estudio comprobó que diferentes especies de Typha pueden asimilar metales pesados (Bonanno & Cirelli, 2017) y es por esto que deberían ser consideradas de las mejores especies para la fitorremediación como resultado de su gran tolerancia a los metales pesados y su amplitud ecológica (Bonanno & Cirelli, 2017), a lo que Millán et al. concuerdan afirmando que “las especies de Typha pueden ser adecuadas para múltiples opciones de fitorremediación de Hg, incluida la fitoextracción” (Millán et al., 2014).

En Chillaco se encuentra una gran variedad de plantas de tallo alto como son el junco, el carrizo, la caña y la totora. Estas plantas crecen en climas cálidos y de tierras húmedas, como los valles de los ríos. La totora en Chillaco es la Typha Dominguensis, de la familia Typhaceae, la cual puede ser encontrada a lo largo del valle, en los bordes del río Lurín, en zonas donde se empoza el agua o la corriente es suave (Figura 8). En este hábitat alcanza alturas de 3 metros y puede ser recolectada para diferentes propósitos tanto cortándola como jalándola suavemente en mociones circulares para extraerla desde la raíz cuando tienen entre 50cm y 1m de altura.

**Figura 8**

*Totora en su hábitat natural*



#### **2.1.3.4 La arena y grava como filtro**

La arena está compuesta por partículas de rocas que miden entre 0,063 y 2 milímetros de diámetro, mientras que la grava mide de 2 a 64 milímetros (Cedeño Pincay, 2018). La arena y la grava como elementos filtrantes son capaces de “tratar el agua y reducir la presencia de microorganismos (virus, microbios, coliformes, la bacteria E. coli, etc.) sin necesidad de productos químicos” (Cedeño Pincay, 2018). La filtración con estos elementos “consiste en un conjunto de procesos físicos y biológicos que destruyen los microorganismos patógenos presentes en el agua no apta para consumo humano” (Torres Parra & Villanueva Perdomo, 2014). A lo largo de este método de filtración, las partículas contaminantes se separan físicamente del agua contaminada por medio de la filtración, además de la absorción química, en la cual “los contaminantes se pegan a la superficie de la arena” (Lesikar et al., n.d.). Así mismo, Cedeño recomienda el “uso de arena de cantera o de río y no el uso de arena de mar por el alto contenido de sal que contribuye al aumento de cloruros” (Cedeño Pincay, 2018).

Para llevar a cabo la filtración, se forma una capa de arena y grava “que detiene por simple efecto de tamizado las partículas de tamaño superior al de los espacios existentes entre dichos granos” (Cedeño Pincay, 2018). Estos materiales permiten “el paso del agua pero no el de partículas mayores o de igual tamaño”. (Cedeño Pincay, 2018). Debido a la fácil implementación y bajo costo de producción y mantenimiento, el filtrado por arena y grava son “un sistema ideal para implementar en zonas rurales y pequeñas comunidades” (Torres Parra & Villanueva Perdomo, 2014).

#### **2.1.3.5 La cerámica como filtro**

Los filtros de cerámica para agua potable son una solución al proceso de potabilización de agua en lugares de escasez de servicios básicos debido a su “bajo costo, facilidad de fabricación y uso, y su capacidad para filtrar las bacterias del agua de manera muy efectiva” (Yakub et al., 2013). Están compuestos por arcilla y carbón activado que mezclados crean una cerámica porosa a través la cual el agua fluye pero las bacterias son retenidas debido a tu tamaño mayor al de los poros de la cerámica. Tienen una mejor retención de los contaminantes que los filtros de arena, además de ser una solución sostenible para pequeñas comunidades y con gran potencial para adoptar el proceso a gran escala (Yakub et al., 2013). Asimismo, tu trabajo conjunto ofrece un mejor filtrado y una más larga vida útil del filtro cerámico al filtrar agua que ya ha pasado por un filtro de elementos de mayor tamaño.

### **2.1.3.5.1 Composición de la cerámica**

La cerámica para la producción de filtros de agua se crea a partir de “la mezcla de arcilla, aserrín y agua” (Nigay et al., 2017), el aserrín, pequeños pedazos usualmente desperdicios de la madera trabajada, se usa con el objetivo de crear un componente extra que tomará la forma de carbón activado en el horneado (se explicará más adelante), que aporta en la limpieza y filtración del agua. Una vez mezclada la arcilla con los otros elementos, se crea la forma del filtro “y es luego horneado a 900°C aproximadamente en la que se obtiene como resultado una estructura porosa a través de la cual el agua puede fluir. La temperatura de cocción de la arcilla dependerá de la misma, algunos autores mencionan los 850°C suficiente (Annan et al., 2016), mientras que otros los 950°C (Nigay et al., 2019). Sin embargo, todas son temperaturas cercanas entre ellas. Una vez cocida, es retirada del horno tras un lento proceso de enfriamiento para evitar el “cold shock” o golpe frío el cual puede debilitar la estructura cerámica y crear grietas debido al choque térmico (Annan et al., 2016).

El aserrín (u otro material como los mencionados anteriormente) mezclado con la arcilla, al entrar al horno a altas temperaturas, se quemará y formará carbón activado . “La función que cumple es la de eliminar olores, sabores y turbiedad del agua, ya que se convierte en carbón” (Romero Lara & Mejillón Salinas, 2018). La relación entre arcilla y aserrín suele ser 80%-20% respectivamente, así, la plasticidad de la mezcla no es afectada y permite la formación de poros para el filtrado del agua (Romero Lara & Mejillón Salinas, 2018).

### **2.1.3.5.2 El funcionamiento**

La filtración de la cerámica “se basa en el traspaso del líquido a través de un medio poroso que retiene bacterias, partículas e impurezas cuyo tamaño de partículas sea mayor al de los poros” (Romero Lara & Mejillón Salinas, 2018). Estas bacterias son retenidas en los poros cuyo tamaño tiene una relación directa con la calidad de filtrado, sin embargo “lamentablemente no es muy eficiente con la retención de metales pesados” (Romero Lara & Mejillón Salinas, 2018).

Como cualquier filtro, al retener elementos de mayor tamaño “la acumulación de sólidos en la superficie interna” (Yakub et al., 2013) conlleva a un “bloqueo gradual de los poros por contaminantes atrapados” (Yakub et al., 2013) y es por esto que los filtros de cerámica deben ser lavados cada 2 meses y tienen una “vida recomendada de entre 2 y 3 años” (Yakub et al., 2013), luego de los cuales deben ser reemplazados.

En un estudio publicado en el 2013 por la Revista de Ingeniería Ambiental, se probaron 3 relaciones arcilla-aserrín diferentes para determinar la variación del tamaño de los poros. Se mezclaron la arcilla y el aserrín en proporciones de “50:50, 65:35, y 75:25” respectivamente. Lo que obtuvo como resultado que los 3 filtros obtuvieron poros “entre 0.05 y 1  $\mu\text{m}$  de tamaño. Esto es más pequeño que los tamaños típicos de la mayoría de las bacterias y patógenos no virales, que generalmente tienen un tamaño de  $\sim 1\text{-}3 \mu\text{m}$ ” (Yakub et al., 2013) teniendo un resultado positivo para su retención. Nigay et al. concluyen su estudio con la siguiente conclusión: “La combustión del aserrín aumenta la permeabilidad y el caudal, lo que resultó en una reducción en el tiempo de descarga” (Nigay et al., 2019).

La forma de los filtros de arcilla domésticos suelen ser en forma de olla, redondos y de base plana. Al momento de filtrar el agua, en los primeros minutos, sucede la absorción de agua por parte de la cerámica y el tiempo de filtrado puede variar dependiendo de esta parte del proceso, “la variabilidad se atribuye a la humedad de los filtros cerámicos de agua. Si los filtros no están completamente empapados cuando se introduce agua, se produce cierta absorción antes de que el agua comience a fluir” (Nigay et al., 2017). Una vez terminado este proceso, empezará a filtrar. La rapidez del filtrado también dependerá de la cantidad de agua que ejerce presión sobre la base cerámica, “los caudales disminuyen con el aumento del tiempo. Esto se debió a la disminución de la presión hidráulica” explican Annan et al. como resultado de su estudio, al igual que Nigay et al. en los años 2017 y 2019, “un menor volumen de agua permanece en los filtros, lo que resultaría en una menor presión aplicada sobre la base y en un menor caudal” (Nigay et al., 2017) y “los resultados muestran que los caudales más altos se alcanzan al principio. Esto corresponde al momento en el que los filtros contienen los mayores volúmenes de agua. Después de que parte del agua se descarga de los filtros, se aplica una presión más baja en su base, lo que resulta en una disminución de las tasas de flujo con el tiempo” (Nigay et al., 2019).

Así mismo, una vez entendido el funcionamiento y la importancia de la porosidad de la cerámica, debemos encontrar un balance adecuado que no perjudique la resistencia del material ya que “a medida que aumenta la porosidad, la fuerza de flexión disminuye” (Annan et al., 2016). Además, en un intercambio de información con la ceramista Tania Gutierrez, afirma que la frecuencia de uso, manipulación y tamaño son aspectos importantes a tener en cuenta en las consideraciones de diseño. Principalmente debido a que es una pieza (cerámica) no esmaltada y con poros no 100% cerrados, volviendola de por sí una pieza frágil (Gutierrez, 2021).

### **2.1.3.5.3 Efectividad del filtrado en un filtro cerámico**

La efectividad del filtrado del agua, además de tener una relación directa a la porosidad de la arcilla, “se logra por adsorción de los contaminantes en óxidos de hierro, aluminio o magnesio que se mantienen sin cambios en la matriz de arcilla” (Nigay et al., 2017). Nigay et al. plantean como hipótesis que “dopar filtros cerámicos de agua con óxidos metálicos también puede conducir a la eliminación del 97.4881% de los contaminantes” del agua potable como el fluoruro y la bacteria E. coli (Nigay et al., 2017) quienes dos años después, en el 2019, comprueban la efectividad de los “filtros de agua de cerámica dopados fueron iguales al 99,45% en la eliminación de contaminantes químicos, al 99,97% en la eliminación de contaminantes virales y al 99,998% en la eliminación de contaminantes bacterianos” (Nigay et al., 2019).

El estudio de Nigay et al. en el 2017 produjo piezas de arcilla de “diámetro de la base interna de 210 mm (...) y altura interna de 240 mm, con un espesor de 15 mm para la base y 10 mm para los lados” (Nigay et al., 2017) con aditivos de aserrín, hidroxiapatita, y alúmina en las siguientes proporciones: arcilla, 45% en peso; aserrín, 15% en peso; hidroxiapatita, 20% en peso; y alúmina, 20% en peso (es decir, 30% en volumen de arcilla, 50% en volumen de aserrín, 10% en volumen de hidroxiapatita y 10% en volumen de alúmina) (Nigay et al., 2017) obteniendo como resultado una “porosidad igual al 63,25%  $\pm$ 0,31% en volumen” (Nigay et al., 2017). Como resultado de la filtración, obtuvieron una remoción de “99.2734% de los contaminantes químicos y 99.8600% de los contaminantes virales del agua potable” (Nigay et al., 2017) además de un caudal de hasta 60 litros por día.

### **2.1.4. Diseño Social y sostenible**

El diseño social se diferencia del diseño de mercado principalmente por su intención principal, la satisfacción de las necesidades humanas, (Margolin & Margolin, 2012) mientras que la del mercado “es la creación de productos para la venta.” Estos no son conceptos opuestos límites de un espectro. Los mismos autores afirman que “muchos productos diseñados para el mercado también satisfacen una necesidad social,” sin embargo, el diseño social refiere a “poblaciones y comunidades que no constituyen una clase específica de consumidores en el sentido del mercado” ya sea por cuestiones económicas, sociales, geográficas, de salud, etc. Es decir, el diseño social tiene como objetivo principal “satisfacer las necesidades de poblaciones marginadas o desatendidas” (Margolin & Margolin, 2012). Bastidas y Martínes apoyan la misma premisa, mencionando que el diseño social tiene “un enfoque centrado en la resolución de problemas sociales, orientado al mejoramiento de la

calidad de vida, la equidad social, la humanización de la tecnología y la sostenibilidad ambiental” (Bastidas & Martínez, 2016).

Por otro lado, autores como Manzini estudian el Diseño Social desde la perspectiva del diseñador, como “una actividad de origen ético que busca cubrir o solucionar problemas que no han sido atendidos por el mercado o el Estado” (Manzini, 2015). Esto es apoyado por Buchanan quien afirma que el diseño en sí está “fundamentado en la dignidad humana y los derechos humanos” (Buchanan, 2019), quien también menciona que en el diseño se trabaja junto o en conflicto con la naturaleza, y así, apoyar la realización humana (Buchanan, 2019). Cabe además mencionar que dentro del perfil de un diseñador está “el compromiso social como diseñadores” (Manzini, 2015) a lo que Margolin suma “los diseñadores tienen una capacidad de visualizar y dar forma a productos materiales e inmateriales que puedan resolver los problemas humanos en una escala amplia y contribuir al bienestar humano” para luego agregar, “los diseñadores industriales deben reconsiderar su práctica tanto individual como colectiva” (Margolin, 1999).

El Diseño Social abarca consigo áreas tanto de necesidades fisiológicas como mentales y emocionales. Norman menciona el poder que tienen las emociones para “cambiar nuestra percepción como resultado de nuestra interacción y relación afectiva con los objetos con los que convivimos en nuestro entorno” (Norman, 2003). Podemos afirmar que el diseño social puede ir muy en paralelo al diseño emocional al abarcar aspectos dentro del mejoramiento de salud, trabajo y estilo de vida. “Para plantear un diseño emocional (...) es importante conocer sus fundamentos desde diversas disciplinas de estudio, las cuales analicen y subrayen el importante papel que juegan las emociones a nivel colectivo o social.” (Bedolla Pereda, 2019). Además, autores como Bedolla, Melles, Vere y Misic afirman la importancia de que el diseño a implementar establezca un vínculo con su usuario, un vínculo emocional que logre aceptarlo e incluirlo en su rutina, para esto es necesario abarcar a lo que Bedolla menciona “la dimensión emocional” la cual “está conformada en gran medida a partir de tres aspectos: interacciones sociales, valores dictados por la cultura y aquéllos establecidos por instituciones en que se desenvuelve el individuo.” (Bedolla Pereda, 2019). Asimismo, es importante reconocer las emociones sociales, “aquellas que tienen sentido en relación con los demás y que surgen en un contexto social determinado.” (Bedolla Pereda, 2019). Vemos como “el diseño debe ir más allá de la satisfacción de necesidades del mercado y convertirse en un proceso o modo de acción para responder a problemáticas y necesidades más complejas, en aspectos sociales, ambientales, políticos y culturales” (Bastidas & Martínez, 2016).

Tomar en cuenta todos estos aspectos: social, emocional, medioambiental, tecnológicos, etc, mencionan Bastidas y Martínez, puede ser uno de los mayores retos cuyo objetivo es “lograr coherencia y equilibrio entre la ética y la responsabilidad social y medioambiental de la profesión, con la innovación y el desarrollo tecnológico y científico. (Bastidas & Martínez, 2016). Es por esto que Margolín respalda la idea mencionando la necesidad de “una visión crítica que le permita (al diseñador) analizar el contexto social y económico en el que trabaja y evaluar los múltiples artefactos materiales e intangibles que constituyen el mundo social” (Margolin, 2006) dentro del cual se está trabajando.

Enfatizan en que “La solución no es lanzar tecnología al problema, sino utilizar materiales y procesos locales adecuados que puedan replicarse, mantenerse, mejorarse y adaptarse fácilmente para satisfacer las necesidades cambiantes” (Melles et al., 2011). Es por esto que la co-creación tanto en el proceso creativo como en la etapa de investigación son importantes. Establecer comunicación con la comunidad abrirá las puertas a la mejor solución ya que son ellos mismos quienes conocen mejor que nadie su entorno. El diseño social conlleva entonces, la necesidad de tener el aspecto de replicabilidad. Esta necesidad en contextos vulnerables permiten la transferencia de conocimientos, tecnologías y empoderamiento de la población. Es de vital importancia implementar soluciones simples, asequibles, de autoproducción, replicables y sostenibles, y así permitir el cambio e impacto positivo de situaciones vulnerables como lo es en el caso de Chillaco.

Dentro del Diseño Social como disciplina debe haber un cambio del planteamiento para un usuario amplio, a un co-diseño participativo tanto de mentalidad como en la práctica (Melles et al., 2011). Ellos plantean:

que el éxito del diseño social y responsable puedan medirse siguiendo los siguientes criterios:

- Necesidad: ¿la comunidad o el usuario necesita este producto o solución?
- Idoneidad: ¿es culturalmente apropiado el diseño?
- Asequibilidad relativa: ¿es asequible el resultado a nivel local y regional?
- Avance: ¿crea empleos locales o regionales y desarrolla nuevas habilidades?
- Control local: ¿se puede entender, controlar y mantener la solución localmente?
- Usabilidad: ¿es flexible y adaptativo a las circunstancias cambiantes?
- Empoderamiento: ¿empodera a la comunidad para desarrollar y poseer la solución?
- Dependencia: ¿se suma a la dependencia del tercer mundo?

(Melles et al., 2011)

Por otro lado, también se explora la posibilidad de no limitar el foco del Diseño Social a poblaciones marginadas en específico, Bedolla comenta sobre el potencial de esta disciplina al decir que “es necesario reflexionar acerca de la potencialidad que ofrece el diseño para, mediante su uso e interacción, guiar a las personas a adquirir prácticas y conductas prosociales que conduzcan a una mejora relevante del contexto social actual.” (Bedolla Pereda, 2019). Explorando esta cita, podemos ver el Diseño Social como algo más amplio, idea luego respaldada por Bastidas y Martínez al mencionar que el diseño tiene la capacidad y la responsabilidad de involucrarse en diversas comunidades sin importar la situación económica o cultural. La esencia del elemento social en el diseño yace en compartir conocimientos y empoderar a las personas, y así fomentar comunidades creativas y autosostenibles (Bastidas & Martínez, 2016).

## **2.2. Estado del arte**

### **2.2.1 LifeStraw - Suiza**

LifeStraw es un proyecto desarrollado por la compañía danesa Vestergaard cuyas primeras propuestas comenzaron en el 2005, con el fin de brindar la posibilidad de consumo de agua potable en las zonas más pobres de África y ayudar a la erradicación del ébola (LifeStraw, 2016). Con los años, LifeStraw ha ido desarrollando nuevos productos, entre ellos tomatodos, jarras y otros proyectos para emergencias con respuesta humanitaria, y su público varía desde viajeros empedernidos hasta ONGs. Sin embargo, todos comparten el mismo principio y sistema de potabilización.

Para profundizar en el principio de potabilización se explicará el funcionamiento del filtro LifeStraw básico. Fue la primera y la más comercializada propuesta de la marca. El producto cuenta con un ingreso y una salida de agua, y en el medio el cuerpo donde se encuentra el sistema de filtrado. El agua ingresa por la parte inferior del LifeStraw hacia las membranas que contiene el cuerpo del producto. Las membranas de fibra cuentan con orificios o poros de de 0.02 micrones (o 0.00002 milímetros) de diámetro. Este pequeño espacio no permite que bacterias, parásitos y virus la atraviesen, de esta manera quedan retenidos tras ella, tan solo el agua limpia puede pasar. Luego, una capa de carbón activado atrapa químicos restantes que le atribuyen un sabor y olor metálico al agua cuando está contaminada por estos (LifeStraw, 2016). Finalmente, el agua sale por la boquilla de salida para consumir directamente de él el agua que acaba de ser filtrada.

### Figura 9.

*Fotografía de LifeStraw classic*



*Nota.* Imagen del filtro clásico recuperado de la página web de LifeStraw <https://www.lifestraw.com/> (2020)

Esta propuesta demuestra una posibilidad de gran accesibilidad y portabilidad del filtro, ya sea para su distribución masiva o personal. Además de ser de uso personal, lo que brinda un aporte de higiene y personalización. Sin embargo, sus filtros necesitan un constante mantenimiento y reposición. Se estima que cada 2 meses o cada 150 lt de agua, estos deben ser reemplazados. Dependiendo del nivel de contaminación del agua que filtren, los poros en estos podrían llegar a obstruirse rápidamente, volviéndolo una alternativa costosa si se trata de un uso doméstico ya que el producto tiene un precio actual de hasta \$50 y el repuesto de \$24 .

### Figura 10.

*Fotografía de LifeStraw steel en uso*



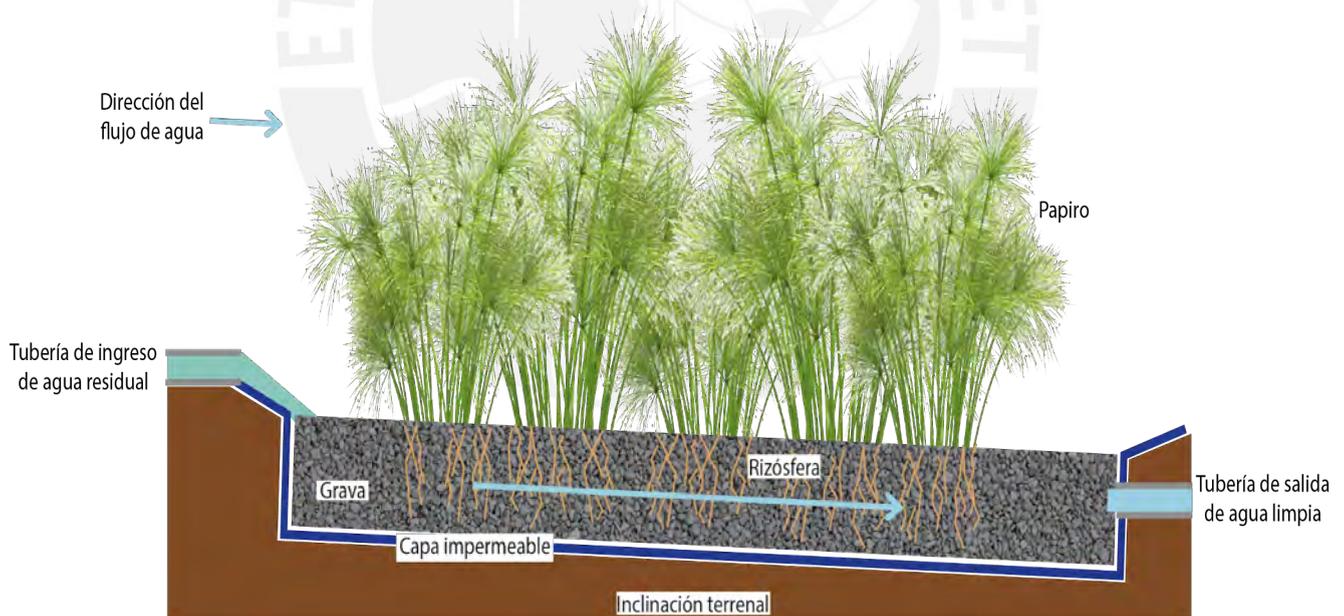
*Nota.* Foto del filtro LifeStraw Steel en uso, recuperado de la página web de LifeStraw <https://www.lifestraw.com/> (2020)

## 2.2.2 Humedales Artificiales - Perú

Los humedales artificiales replican el proceso de purificación que sucede en humedales naturales con diferentes plantas, pero acelerando el proceso. Esto se logra creando un sentido de flujo del agua ya sea por inclinación de la tierra o el bombeo de agua. Como se aprecia en la figura 11, el agua ingresa por un lado hacia un área impermeabilizada contenida con arena gruesa o grava. Sobre esta, plantas como papiro o totora, plantas “adaptadas a condiciones de hidromosismo permanente, (que significa) la acumulación de agua” (Felipe-Morales, 2020). El agua sigue la dirección establecida, pasando la rizósfera (área de raíces) que actúan como filtros de bacterias. En este caso se utiliza el papiro por su nivel de filtración y por su resistencia a secarse con los años y el clima. El agua filtrada sale por el lado opuesto tras haber pasado por este proceso.

**Figura 11.**

*Ilustración del funcionamiento de un humedal artificial con hojas de papiro*



*Nota.* Ilustración del funcionamiento de un humedal artificial bajo las pautas de la Ing. Agrónoma Carmen Felipe-Morales, basada en el humedal artificial ubicado en el Fundo Casablanca en Pachacamac. No todos los humedales utilizan el papiro, pero se utilizó en esta ilustración al ser la planta de elección en el humedal personal de la Ing. Felipe-Morales.

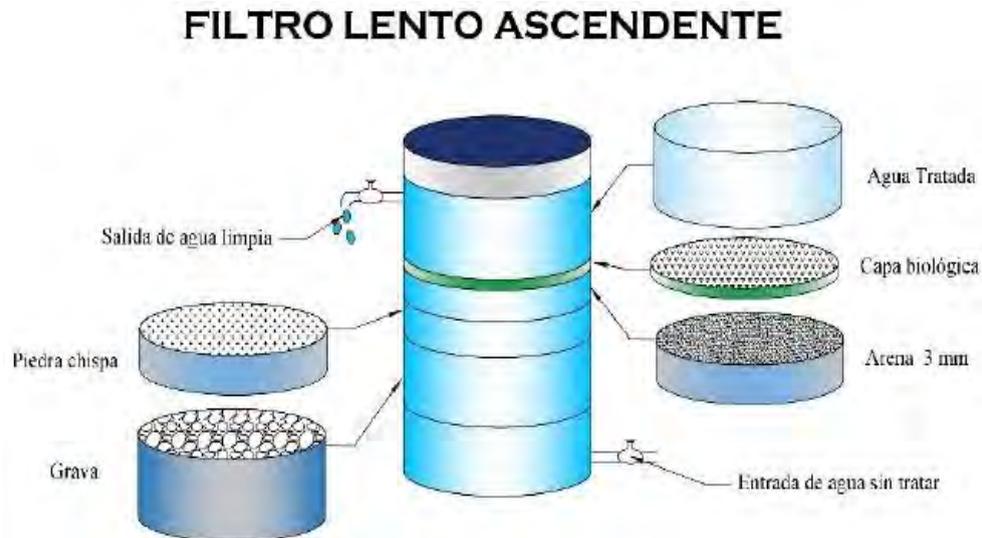
Los humedales artificiales son un filtro natural cuya intervención en el paisaje es poca o nula, además de que el único elemento no natural o local es la capa o malla impermeable que se coloca debajo. Este debe permitir que el agua fluya, es por eso que debe tener una bomba de agua instalada o cierto nivel de inclinación. Para su inclinación se puede aprovechar la inclinación del terreno, especialmente en valles o montañas como en la sierra peruana, para determinar el recorrido del agua, de esta manera no es necesario bombear el agua para que fluya. Si bien todas las plantas podrían llegar a funcionar ya que todas tienen rizósfera, algunas funciona mejor que otras dependiendo de las características de sus raíces, algunas llegan a purificar el agua residual minera, y su construcción puede variar de tamaño dependiendo de la necesidad (Felipe-Morales, 2020), haciendo posible la construcción de un humedal artificial doméstico. Su construcción no es muy costosa ya que el único elemento por comprar sería la capa impermeable. De igual manera, se tiene que construir un sistema de tuberías que llegue a este y salga, hacia el río o hacia las casas. Cabe mencionar que el crecimiento de un humedal artificial es un proceso que demora ya que mientras las plantas son pequeñas, su filtración aún no es la adecuada, este nivel lo alcanzan una vez grandes, y ahí es necesario un mantenimiento para controlar su tamaño. Asimismo, el agua que filtran tiene una gran disminución de elementos tóxicos y bacterias, mas no llega a ser potable.

### **2.2.3 Filtro lento ascendente - Escocia**

El filtro lento ascendente es una propuesta utilizada desde la Segunda Guerra Mundial en Escocia, para luego ser globalizado. La filtración en este sistema propone un envase cilíndrico cuyo flujo de agua es vertical y ascendente. El agua no potable es bombeada por la parte inferior del envase a la primera parte donde está vacía. Luego sube, atravesando una capa de grava gruesa (piedras entre 20 y 30 milímetros), seguida de una capa de grava delgada de aproximadamente 5 milímetros, para seguir su camino hacia una tercera capa de arena fina (Rodríguez, Ortiz, Rodríguez, Santos, 2018). Por último, se puede agregar una capa biológica (plantas) cuya función será la misma que la de las otras 3 capas filtrantes, pero cuyos poros de filtración son menores y retienen cualquier elemento que haya podido atravesar los anteriores. Finalmente, el agua potable sale por la parte superior del filtro (Figura 12).

**Figura 12.**

*Ilustración de Filtro lento ascendente*



*Nota.* Ilustración del diseño de un filtro potabilizador ecológico para comunidades rurales, utilizando la Moringa Oleifera recuperado del ensayo (2018)

El filtro lento ascendente es una propuesta de filtrado cuya tecnología es simple y accesible para pequeñas comunidades y de una aplicación doméstica. Además, su mantenimiento y limpieza es fácil de hacer por sus mismos dueños con un intervalo de 2 meses aproximadamente. Al ser también un filtro autoconstruible, el usuario cuenta con la posibilidad de personalizar su filtro, aprender el proceso de filtrado y establecer un vínculo personal al construirlo con sus propias manos, fortaleciendo su importancia y fomentando su uso. Sin embargo, puede llegar a ser un proceso lento, como su mismo nombre lo dice. El uso de una bomba podría aumentar costos y la alternativa de invertir el filtro y utilizar la gravedad a su beneficio, arriesga a que el proceso sea apurado y la filtración no resulte adecuada ya que se debe respetar un tiempo de procesamiento.

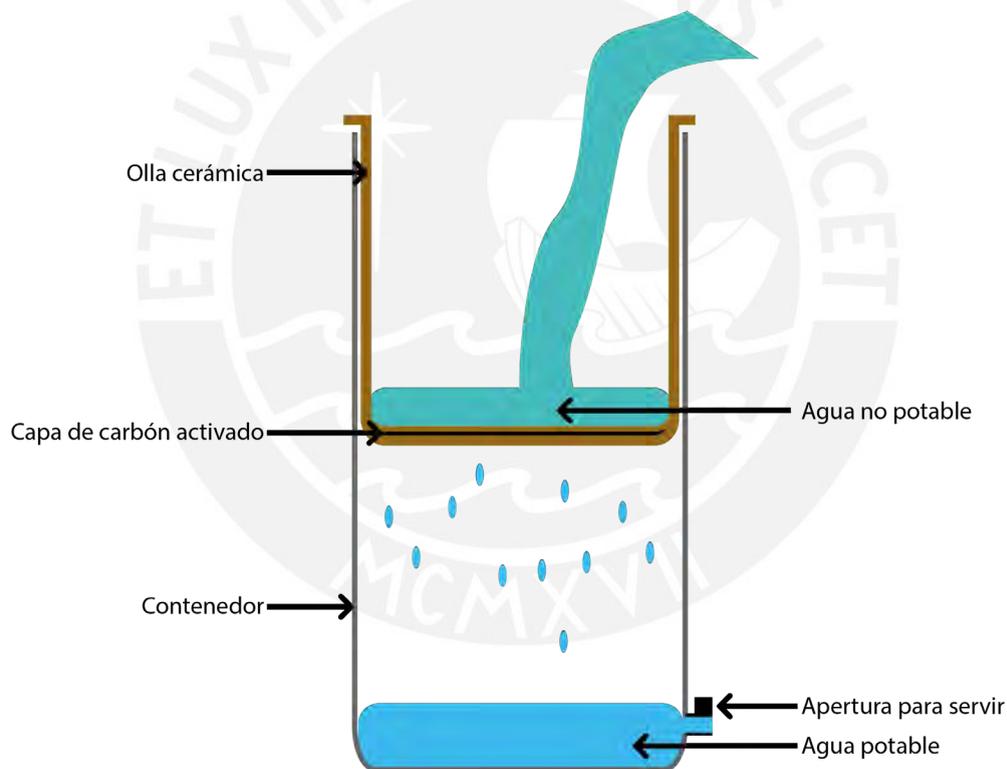
#### **2.2.4 Ecofiltro - Honduras**

El Ecofiltro es un proyecto desarrollado desde 1990 en Honduras (Ecofiltro Honduras, 2016). La propuesta se basa en los filtros de olla cerámica comunes. Estos tienen forma de olla, están hechos por arcilla y aserrín mezclado, con una capa interna de carbón activado. Estos son prensados, dejados secar y horneados en un horno de cerámica.

Finalmente, se le aplica una capa de plata coloidal, un bactericida natural (Mi Canal GT, 2019). El proceso toma alrededor de 2 semanas en realizarse. El filtro funciona vertiendo el agua por la parte superior dentro de la olla cerámica, esta ha sido puesta sobre un contenedor más grande, dejando un espacio entre ambos, donde pueda caer el agua filtrada. El agua vertida no potable atravesará entre 1 y 2 litros por hora las capas de cerámica y carbón (Mi Canal GT, 2019), cuyos microporos detendrán elementos nocivos para la salud humana y gracias a la capa de plata coloidal, el agua podrá almacenarse hasta por 6 meses sin recontaminación (Figura 9).

**Figura 13.**

*Ilustración de Ecofiltro (olla cerámica)*



*Nota.* Ilustración propia basada en información del funcionamiento de Ecofiltro.

Página web Ecofiltro <https://www.ecofiltro.hn/como-funciona/> (2019)

Los filtros de olla cerámica son una gran alternativa de filtración para poblados de bajos recursos económicos ya que su fabricación es posible con tecnologías accesibles y rápidas. La capacidad de mantener el agua potable por 6 meses brinda la posibilidad de dedicarse a él constantemente un día para luego solo tener el agua potable almacenada

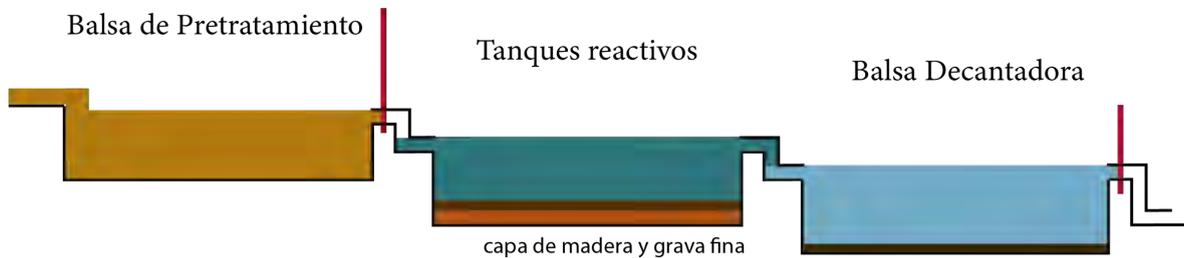
para el momento en que necesaria sin tener que pasar por todo el proceso. Además, la vida del producto es de muchos años, y para su mantenimiento es solo necesario lavar la olla cerámica cada 2 meses (Ecofiltro Honduras, 2016). Los poros de la olla cerámica solo permiten el pase de agua limpia y serán retenidas bacterias, parásitos y virus, depende de la granulometría de la arcilla y para saber la eficiencia de esta, es necesario un estudio de la misma, de las canteras accesibles en el poblado, y de su extracción, sin embargo, ninguna es lo suficientemente eficiente para el filtrado de metales pesados. En contraparte, esta es una posibilidad de trabajo para el poblado y propuestas de nuevos proyectos cómo hacer cerámica para uso propio y para ventas (Diez Canseco, 2020). El Ecofiltro es un producto que ofrece solución a situaciones muy parecidas a las estudiadas en este proyecto, sin embargo, la principal, que es la limpieza de metales pesados, no es un proceso factible en esta propuesta.

### **2.2.5 Life ETAD - España**

Life ETAD es un sistema de filtrado de agua de relave minero, de drenajes ácidos que contienen arsénico, cromo, zinc, cadmio, entre otros, de más de 100 minas (SACYR, 2021) desarrollado por la Universidad de Huelva en España en el año 2012. ETAD (Ecological Treatment of Acid Drainage) fue implementado en el Río Odiel, España, para drenar las grandes cantidades de agua contaminadas no solo por bacterias, parásitos y virus, sino además, metales pesados que acidizan el agua y la vuelve inhabitable para especies marinas, y tóxica para plantas cercanas. Su funcionamiento se resume en 3 etapas ilustradas en la figura 13: la balsa de pretratamiento, el tanque reactivo y la balsa decantadora (Life ETAD, 2012). En la primera, el agua residual de actividad minera, que contiene los metales tóxicos, es estancada para que estos metales se oxiden antes de entrar al siguiente paso. Una vez oxidados, una compuerta es abierta para que el agua fluya al tanque reactivo el cual tiene una capa de madera y caliza, cuyas propiedades alteran las del agua. Estos materiales naturales logran aumentar el pH del agua, es decir, la alcaliniza, resultando en la precipitación natural de los metales pesados como cromo, cadmio, mercurio y arsénico hacia el fondo del tanque. Finalmente el agua es trasladada al siguiente paso, la balsa decantadora, donde el agua es estancada una vez más para la precipitación de algún metal restante (Figura 7). El proceso se repite una vez más y finalmente el agua es liberada (Life ETAD, 2016).

**Figura 14.**

*Ilustración del funcionamiento de la planta Life ETAD - Río Odiel*



*Nota.* Elaboración propia siguiendo las pautas del video Life ETAD <https://www.youtube.com/watch?v=nbC-z0qe1gQ&t=1s> (2014)

**Figura 15.**

*Foto aérea de la planta Life ETAD - Río Odiel en funcionamiento*



*Nota.* Captura de imagen del video Life ETAD <https://www.youtube.com/watch?v=nbC-z0qe1gQ&t=1s> (2014)

El proyecto ETAD muestra una implementación de tecnologías accesibles para cualquier proyecto industrial ya que la limpieza del agua se hace solo con el empozamiento de la misma y la alteración de su pH, el cual es logrado mediante el uso de maderas y piedra caliza (Life ETAD, 2016), sin la necesidad de ningún químico o elemento que requiera constante mantenimiento. Así mismo es una muestra de la posibilidad de tratar el agua a nivel comunal. Además, el uso de energía en esta planta es casi nulo ya que debido al aprovechamiento de la gravedad, su única función es la de abrir y cerrar compuertas, acción

fácilmente reemplazable por el uso de poleas y mano de obra. Finalmente, la duración de la planta es de décadas y los beneficios son tanto para los pobladores cercanos como para animales y plantas del ecosistema. Sin embargo, el agua tratada deja de ser contaminante más sigue sin ser potable. Por otro lado, implica una primera inversión grande para cuyo impacto puede afectar a pequeñas poblaciones. Así mismo, el agua limpiada puede volver a contaminarse en el traslado de la planta al hogar y esta agua debe pasar por un segundo tratamiento ya que sigue sin ser apta para el consumo humano por que se se enfoca en la eliminación de los metales pesados, no en bacterias. Por otro lado, el mantenimiento de una planta de tratamiento implicaría una gestión regional constante la cual ha sido escasa o nula por parte de la autoridad en otros proyectos o deberes.

### 2.3. Brecha de Innovación

A partir de lo investigado, se realiza la tabla 3 tabla comparativa del estado del arte tomando como características comparativas cuatro elementos importantes como requerimientos del diseño: nivel de producción tecnológica , costo, sostenibilidad en tiempo y lugar y nivel de potabilización, medidos como “alto”, “medio” y “bajo”. Se espera un producto de autoproducción y bajo costo, y de alto nivel de sostenibilidad y potabilización.

**Tabla 3.**

*Tabla comparativa de Estado del arte*

	LifeStraw	Humedal Artificial	Filtro Lento Ascendente	EcoFiltro	Life Etad
<b>Capacidad de replicabilidad tecnológica</b>	Baja	Alta	Alta	Medio	Medio
<b>Costo</b>	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
<b>Sostenibilidad en el tiempo y lugar</b>	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto
<b>Potabilización</b>	Alta	Bajo	Medio	Medio	Bajo
<b>Eliminación de residuos metálicos</b>	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto

*Nota.* El color verde indica el resultado deseado de cada requerimiento, el amarillo indica un resultado intermedio, y el rojo indica un resultado opuesto al necesario como requerimiento.

Se concluye que no existe un producto replicable en el contexto que tenga la capacidad de limpiar el nivel de contaminación de metales pesados del agua del poblado de Chillaco, ni un mismo sistema que logre filtrar y potabilizar el agua a bajo costo. Se propone un filtro doméstico artesanal para la potabilización de agua residual minera que pueda ser accesible para poblaciones de bajo ingreso económico y que sea sostenible en el tiempo.

Es necesaria la creación de un producto que pueda utilizarse en un ambiente doméstico, para evitar la posible contaminación del agua por elementos externos que podrían encontrarse en el recorrido de una planta de potabilización al hogar, la cual además de requiere un alto nivel de inversión por parte del Estado o de la comunidad. El filtro doméstico deberá ser capaz de eliminar los residuos contaminantes tanto los orgánicos como los metálicos.

El proyecto pretende rescatar elementos importantes de los estudiados previamente como la simplicidad técnica del LifeStraw. La simpleza y capacidad de personalizar y establecer un vínculo personal con del Filtro Lento Ascendente y de la olla cerámica, el uso de referentes y elementos naturales potenciados del humedal artificial y la capacidad de limpiar agua residual de actividad minera a bajo costo y con el uso de tecnologías básicas del Life ETAD. Será necesaria la implementación de estas características para lograr el mejor resultado dentro del contexto estudiado.

## **2.4. Hipótesis**

En respuesta a la pregunta de investigación, surge la hipótesis del estudio: Taifa, un biofiltro doméstico artesanal de autoconstrucción para la potabilización, mediante fitorremediación, de agua contaminada por la explotación minera y otros agentes contaminantes en la comunidad cercana a Chillaco. Utilizando como filtrante principal la planta *Typha Domingensis*.

## **2.5. Objetivo general y específicos**

Como objetivo general del estudio se planteó: Diseñar un filtro autoconstruible que potabiliza agua contaminada por residuos tóxicos resultados de la extracción minera ilegal de la zona para mejorar la salud de los pobladores de Chillaco. Para llegar a este, se seguirán los siguientes objetivos específicos:

1. Diagnóstico del uso actual del agua en la comunidad y sus fuentes hídricas. Conocer

- el estilo de vida y costumbres en torno al recurso hídrico.
2. Determinar los elementos contaminantes en el agua a través de exámenes de laboratorio de corrida de metales en el agua e identificar elementos que afectan la salud física de los pobladores.
  3. Explorar y determinar materiales locales útiles (totora, grava y arena) para filtrar agua residual contaminada e investigar y testear su capacidad de filtrado, así como evaluar la viabilidad técnica, económica y social.
  4. Diseñar un manual de instrucciones de construcción del mismo filtro, con materiales y tecnologías accesibles a poblados con bajos recursos económicos para que puedan replicarlo.

## **Capítulo 3. Diseño de estudio**

### **3.1 Metodología**

Las metodologías que se utilizarán para esta investigación son la Doble Diamante o Double Diamond propuesto por la organización británica del Design Council (Design Council, 2005) y el Design Thinking, un proceso que Donald Norman afirma tiene 4 principios: “Entender a las personas, solucionar el problema, no solo los síntomas, es un sistema, y siempre itinerar en la búsqueda y la mejora.” (Norman, 2020). El Design Thinking “usa un proceso centrado en el usuario que comienza con data, crea artefactos de diseño que responden a necesidades reales y no imaginarias, y luego las testea con usuarios reales” (Norman and Norman, 2016).

Esta metodología se escogió ya que trabaja tanto de manera cuantitativa como cualitativa. Los sujetos de estudio serán aquellas personas que residan en la comunidad de Chillaco, futuros usuarios del resultado de la investigación, además de profesionales de los temas específicos a investigar dentro del proyecto. Esta metodología se caracteriza por los procesos divergentes y convergentes de investigación y proposición para conocer el problema y la solución (Lipiec, 2019) sin embargo, no es un proceso lineal de desarrollo sino uno iterativo que permite la continua investigación y cuestionamiento del proyecto para mejorar la solución y su desenvolvimiento.

La metodología parte de un problema general y entra a la etapa de descubrimiento en la cual se utilizarán encuestas presenciales, entrevistas virtuales o telefónicas, e investigación teórica, con el objetivo de entender y conocer la situación del poblado con respecto a problemas hídricos y potabilización. La segunda etapa de la metodología es la de definición. Luego de recolectar la información, se analiza a través de mapas de empatía, triangulación de información y realización de gráficos para la definición. En esta se utilizarán tres métodos: entrevistas, exámenes de laboratorio y mapas, con el objetivo de determinar problemas puntuales, insights, detalles y elementos clave para enfocar un problema específico a solucionar. Esta etapa se realizó a distancia debido al distanciamiento social y la inmovilización social obligatoria impuesta en el año 2020. La tercera etapa de Doble Diamante es la de ideación. En esta se implementarán cinco diferentes métodos que son lluvia de ideas, la recolección de materiales locales, pruebas de porosidad del material y entrevistas con el objetivo de investigar los mejores materiales, formas y procesos con los resultados más adecuados para la potabilización de agua local. Finalmente, la cuarta etapa del proceso es la de desarrollo. En esta última etapa de cinco métodos de prototipado, entrevistas, visitas de campo, pruebas de producto y una única validación presencial de la maqueta ya que debido a la coyuntura de salud por el COVID-19, se buscará mantener el menor acercamiento físico posible. Se busca concretar resultados y diseñar la propuesta de producto basado en resultados anteriores, para así, obtener un resultado final.

La investigación primaria se ha realizado mediante videollamadas, llamadas telefónicas y encuestas virtuales. Esto comprende un número de limitaciones de comunicación no verbal, abarcando campos de la comunicación corporal, la confianza, el acompañamiento, etc. que se ve reflejado principalmente en la comunicación con los usuarios, miembros de la comunidad. Como resultado de esto, se generaron nuevas maneras de levantar información a distancia y tratando de minimizar el distanciamiento físico o que este se vuelva una barrera para la empatía y confianza que se debió desarrollar junto a los usuarios. Utilizar Whatsapp fue la plataforma más confiable al intentar comunicarse con usuarios que vivían en un poblado con baja señal telefónica y un internet precario. Las entrevistas fueron realizadas de manera abierta de tal forma que los usuarios puedan desenvolverse lo más libremente posible, conocer opiniones y darle mucho énfasis a su tono de voz, ya que el lenguaje corporal fue imposible de leer. Audios, fotos, videos. Se le dio un gran valor al contenido que mandaban ya que no fue solo una observación más, sino un registro desde su propio punto de vista.

Si bien para la investigación mediante entrevistas se han planteado guías de preguntas para encaminar la conversación y tener un registro de los elementos necesarios a investigar, para combatir esta brecha que limita la comunicación entre el entrevistador y

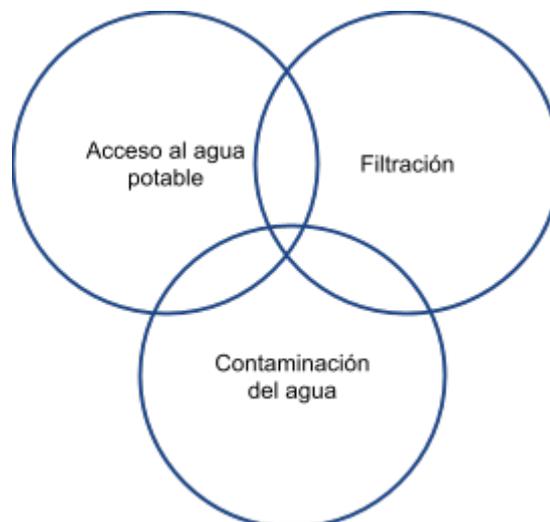
entrevistado, se optó por seguir los objetivos de las partes de las guías, pero no limitó la conversación a esta solamente. Las entrevistas se convirtieron en una conversación casual pero informativa en la que el entrevistado contaba experiencias y conocimientos que surgían producto de otra respuesta brindada y no necesariamente de manera directa a la pregunta establecida por la guía. Esta información fue tomada como válida y confiable debido a tu fuente y a la naturalidad de la información brindada sin la presión de responder una pregunta. Para el análisis de los datos se usarán cuadros comparativos, promediación de encuestas, ilustraciones para graficar problemas, mapas mentales y mapas de empatía.

### 3.2 Investigación

Para el desarrollo de la investigación teórica se tuvieron 3 ejes principales que guiaron la indagación. El primero, el acceso al agua. En este se busca determinar los sistemas por los cuales la comunidad puede abastecerse de agua además, la importancia del acceso a este recurso como personas, para la supervivencia y el desarrollo. El segundo, la contaminación del agua. En este tema se investigan elementos dañinos que afectan la salud y seguridad de los pobladores, además de manifestaciones de los mismos pobladores sobre los problemas e inconvenientes que han ocurrido a causa del consumo de agua contaminada. Finalmente, el tercer eje se enfoca en la filtración del agua, las posibilidades de la misma, y en la filtración para consumo humano (potabilización). Mediante la articulación de estos temas podrá luego desarrollarse un análisis que una los 3 ejes de la investigación para el mejor desarrollo posible de una propuesta final.

**Figura 16.**

*Esquema de ejes de investigación*



### **3.2.1. Estudios Inductivos**

Los estudios inductivos son los métodos utilizados para definir la problemática y el problema específico. La función principal de los estudios realizados en esta etapa es la de encontrar el problema a resolver en Chillaco. Para el proceso inductivo se realizó la siguiente investigación:

#### **3.2.1.1 Material teórico, informes y registro audiovisual**

Todo el material teórico fue obtenido de informes y material del Estado de acceso público, páginas web y documentos digitales debido a las medidas de confinamiento actuales. Esta gira en torno a conocer propuestas y resultados de casos similares en otros países o ciudades. Además, el diagnóstico participativo de Chillaco realizado por la ONG EcoHumanita (EcoHumanita, 2018), logra identificar más características de la población a la cual se dirige el estudio.

El registro digital audiovisual permite un acercamiento más emocional y cercano al poblado a pesar de la distancia. Con material registrado in situ por docentes y los mismos pobladores, este brinda información valiosa para entender el entorno y el estilo de vida. Además de tenerlo como una fuente primaria de información. Su función fue identificar elementos que forman parte del poblado que puedan ser aprovechados para el proyecto. Además, desarrollar una estética del producto acorde a el entorno. El análisis de este registro se hizo mediante la observación detenida de los elementos, materiales, personas y actividades registradas. Así mismo, se realizó una exploración geográfica virtual. La información geográfica permite ubicar el poblado además de sus alrededores. Esto es lo más cercano a una visita y caminata por el poblado dentro de las medidas de confinamiento por la pandemia a inicios del 2020. Este método permite investigar las vías de acceso al poblado, el tamaño y extensión del poblado, los materiales de construcción de las casas y calles, el tipo de terreno, y los servicios con los que cuentan.

#### **3.2.1.2 Encuestas y entrevistas semi estructuradas a pobladores**

A través de ellas se dió a conocer el estilo de vida de la población de Chillaco, su entorno, sus rutinas, sus valores y costumbres, algunos inconvenientes. Fueron estas el primer acercamiento a los pobladores y el problema a resolver. Las encuestas tuvieron como objetivo principal la recolección de información cuantitativa sobre el consumo de agua potable y enfermedades en la familia y sobre las experiencias personales sobre el acceso y uso del agua dentro del poblado. En esta se identifica al usuario principal y el contexto del

problema ya identificado, en este caso el acceso al agua, el uso del recurso y el sistema local. En estas entrevistas se hizo énfasis en la calidad y accesibilidad de agua potable en casa y en el poblado. Sobre el consumo de agua, enfermedades locales que esta pueda causar y atención médica recibida (Anexo D). Además, se hizo una encuesta rápida para saber el estado de salud de la población y el acceso al agua de manera cuantitativa (Figura 16).

### **Figura 17.**

#### *Encuesta a población*

**¿Usted consume agua embotellada y/o empaquetada?**

SÍ                      NO

**¿Algún miembro de su familia tiene o ha tenido alguna de las siguientes enfermedades?**

- Diarrea
- Cólera
- Hepatitis
- Constante dolor muscular
- Constante dolor de cabeza

**¿Algún miembro de su familia presenta alguna de las siguientes molestias?**

- Fiebres bajas
- Falta de apetito
- Náuseas
- Vómitos
- Coloración amarillenta de la piel o los ojos
- Dolores o calambres en el abdomen
- Boca seca o mucha sed
- Rápido cansancio físico

**¿Algún miembro de su familia ha acudido al servicio de salud?**

SÍ                      NO

Para el análisis de la información recolectada en estos primeros métodos de investigación se realizaron cuadros, journey maps y mapas de empatía. Con el uso de estas herramientas se pudo identificar información cuantitativa para conocer el poblador promedio de Chillaco y los servicios a los que tiene acceso, así como su relación con el agua y la salud. Además, se conocieron los momentos clave en el recorrido del agua desde la fuente

hídrica hasta las manos del poblador como indica la Tabla 4, y visualizar la rutina del usuario y el contexto dentro del cual se está diseñando.

La ONG EcoHumanita realizó una encuesta a inicios del año 2020. Luego de esquematizar las respuestas a la encuesta sociodemográfica se estableció que el poblador promedio de la comunidad de Chillaco vive en una familia patriarcal, en una casa de 4 personas. Esta casa está compuesta por paredes de adobe y suelo de tierra. Cuentan con energía eléctrica y el almacenaje de agua que llega mediante tuberías a sus hogares como se menciona en la siguiente tabla, se realiza en bidones de plástico. Además, los ingresos económicos mensuales se encuentran entre 301 y 700 soles. (Anexo E)

**Tabla 4.**

*Recorrido del agua al hogar y preparación para el consumo*

Poblador	Sra Sonia Bernable	Sra Nilda Zabaleta	Sra Ana María Mantary y esposo	Sr Giovanni	Sra Margarita Vargas
<b>Comentario</b>	Las tuberías del tanque comunal llegan directo a tuberías internas en su casa. Ella hierva el agua antes de cocinar y en la noche para tener agua fría al día siguiente.	Las tuberías del tanque comunal llegan directo a tuberías internas en su casa. Comenta a veces llenar su “tacho” (pequeño tanque de agua de 50 lt aprox) de agua para tenerla almacenada. Antes de tomar el agua la hierva.	Las tuberías del tanque comunal llegan directo a tuberías internas en su casa. Coloca el agua en un balde y lo deja asentarse, para que algunas impurezas caigan al fondo. Luego la hierven antes de cocinar.	Las tuberías del tanque comunal llegan directo a tuberías internas en su casa. Hierva el agua para cocinar pero no para tomarla. Comenta que no le hace mal el consumo “porque está acostumbrado”.	Las tuberías del tanque comunal llegan directo a tuberías internas en su casa. Ella hierva el agua antes de cocinar. Comenta a veces llenar su tanque Rotoplas para tener agua almacenada.

Así mismo, luego de las entrevistas personales con los usuarios, se pudieron recoger *insights* de la vida cotidiana de un poblador agricultor de Chillaco. Flor Bernable, representante de la Junta Administrativa de Servicios y Saneamiento (JASS) de Chillaco, pudo detallar elementos clave en el día del agricultor que se esquematizan en un mapa de empatía (Fig. 17).

**Figura 18.**

*Mapa de empatía*



Dentro de este mapa de empatía se hace énfasis en los recursos hídricos. Comentan sobre la presencia de enfermedades de procedencia y transmisión hídricas, y síntomas de estas, además de prácticas medicinales naturales. Las enfermedades más comunes en la comunidad son las “diarreas en niños y ancianos, y el resfriado común.” (Bernable, 2020). Por otro lado, la accesibilidad a un servicio médico es limitada debido a la distancia y el transporte. El servicio médico más cercano se encuentra en Antioquía, entre 15 y 20 km de distancia. Cuentan los pobladores que se puede ir en carro sin embargo este servicio de transporte no está disponible todos los días de la semana. Además, suele tomar toda la mañana y Giovanni Robert, uno de los usuarios entrevistados, comentó que hay una interrupción en el trabajo para acudir al servicio, “cuando uno se siente mal, (...) se deja de hacer las cosas y se va.” Este último comentario refleja el enunciado en cómo el ser humano debe primero encargarse de la satisfacción de las necesidades básicas y de seguridad (salud) para luego poder enfocarse en otras.

### **3.2.1.3 Sobre las fuentes hídricas**

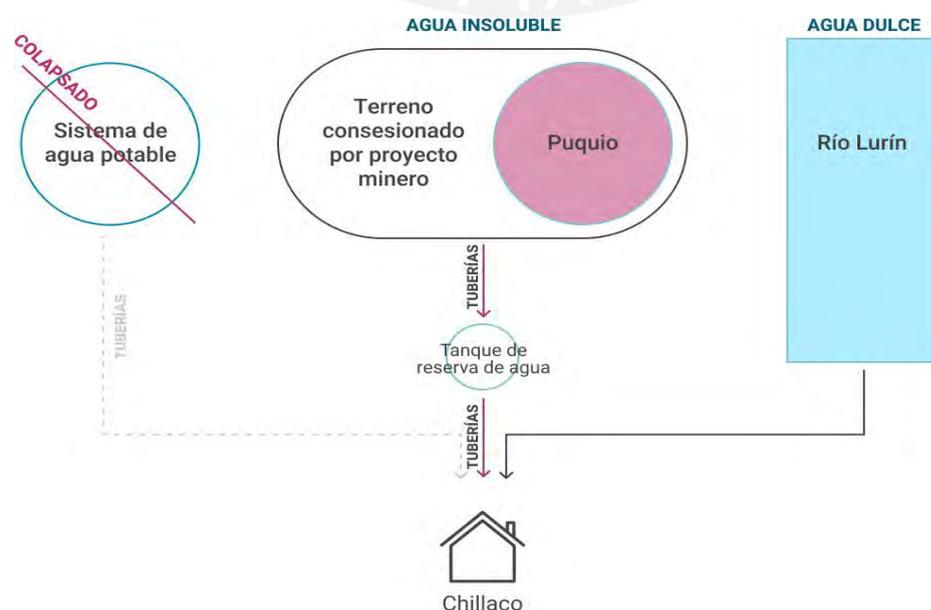
Se pudo recolectar información de las fuentes hídricas que tiene el poblado. El siguiente esquema (Fig. 18) visualiza las principales fuentes a través de las cuales Chillaco ha podido acceder al agua. El primero es un sistema de agua potable construido por el gobierno local. Sin embargo este sistema, por desastres naturales, mala ejecución y mal mantenimiento colapsó a inicios del 2017, unos meses después de su implementación, y no ha sido recuperado hasta entonces. El segundo es un poquío o punto de agua. Desde este

nace un sistema de tuberías que llegan a la comunidad y en ella se utiliza esta agua para consumo personal, para cocinar y para la limpieza en el hogar. Sin embargo, los pobladores manifestaron enfermedades y problemas al momento de usarla para cocinar, entre ellos sabores metálicos y dificultad para cocinar ciertos alimentos, “esa agua tenía un sabor medio raro que no se podía tomar. Si hacíamos quaquero con leche, se cortaba la leche. Si preparábamos las menestras, las menestras nunca cocinaban. Preparábamos el arroz, tenía otro sabor. Era feo.” (Bernable), mediante este insight proporcionado por Flore Bernable en una entrevista, se demuestra cómo a pesar de tener problemas y dificultades con la salud al utilizar y consumir esta agua, igual se hizo por un tiempo prolongado. Una vez más, tenemos evidencia de cómo la base de la pirámide sobre necesidades fisiológicas como la alimentación, se necesitan cubrir antes que las de seguridad (salud). El puquio se encuentra dentro de un terreno concesionado por un proyecto minero y las manifestaciones de los pobladores podrían significar una contaminación producto de la actividad minera de la zona.

Finalmente, el río Lurín, el cual nutre el valle, y es su principal fuente de agua para regadío. Actualmente, después de múltiples casos de enfermedades por el agua del puquio, algunos de los pobladores han optado por no usarla y volver a usar como fuente hídrica principal el río Lurín, “Entonces ya nos guiamos por tomar agua del río. Actualmente tomamos agua del río.” No obstante, el río es también una fuente contaminada, como comenta Nilda Zabaleta, “el río tenía mucho camarón, ahora no hay nada. Dicen que el río es un río virgen pero no es así.”

**Figura 19.**

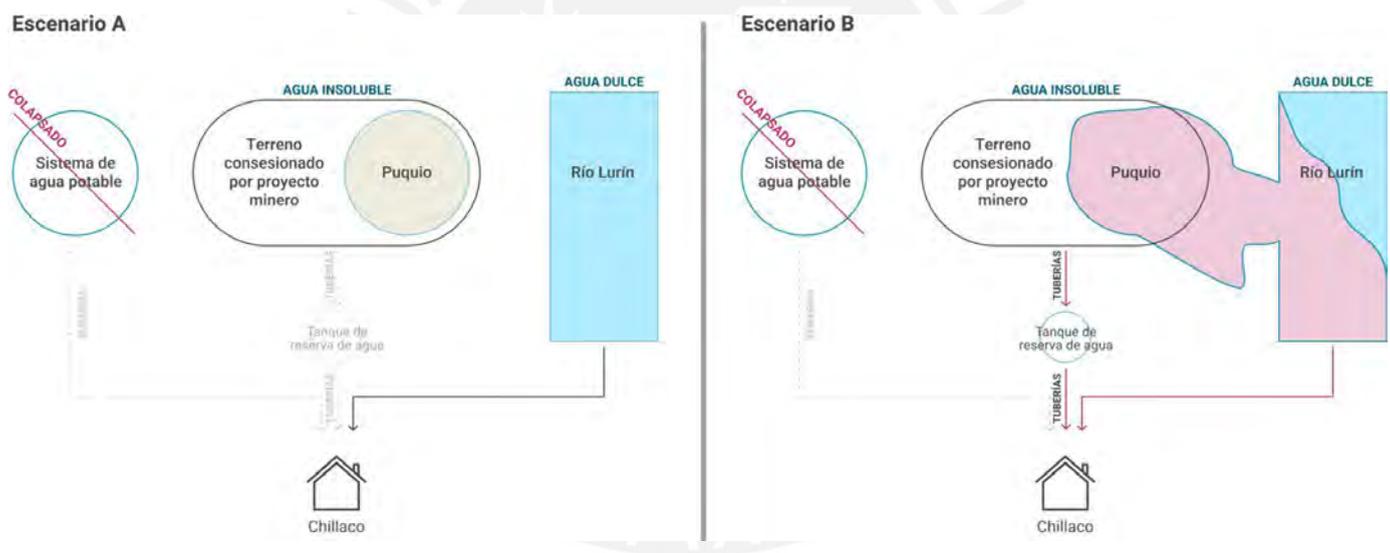
*Esquema de fuentes hídricas*



La comunidad de Chillaco enfrenta un gran problema con sus fuentes de agua, y plantean 2 posibles escenarios futuros (Fig. 18), en los cuales en ambos salen perjudicados. En el primero, escenario A, se repite un evento que en época de sequía, los pobladores manifiestan que ha sucedido, el puquio se seca y deja al poblado sin este abastecimiento de agua. El problema percibido es que esto suceda por un tiempo prolongado o hasta permanente. En el escenario B, se habla de un desborde del puquio en época de lluvias. Como mencionado previamente, este puquio posiblemente tiene residuos producto de la actividad minera cercana y el desborde podría llegar al río y también contaminar esa fuente de agua.

**Figura 20.**

*Esquema de posibles casos hipotéticos*



Los 3 casos representados (el actual y los posibles escenarios futuros) representan peligro para la comunidad ya que actualmente consumen agua contaminada, no potable, y a futuro podrían regresar a depender del acarreo manual del agua del río, o la contaminación del mismo, incrementando la posibilidad de enfermedades y hasta contaminación de las cosechas.

Por otro lado, los pobladores entrevistados comentan dificultades o inconvenientes con el agua accesible. Actualmente su fuente más confiable de agua es el Río Lurín,. En el último año, las tuberías que proveen agua del puquio se han visto afectadas y la fuente se

ha visto afectada. También mencionaron que durante épocas de lluvia y huaycos, el agua llega a las casas con piedras, maderas o “palitos” y los pobladores recurren a esperar la sedimentación de estos elementos para poder recién verterlo a otro recipiente limpio y hervir el agua, “Como no tenemos filtro, a veces el agua aumenta y puede venir con palitos o cualquier cosita no? y entonces lo ponemos en un recipiente y esperamos que se siente el conchito y de ahí la parte de arriba ya lo tomamos. La utilizamos para cocinar o para hervir.” (Robert, 2020).

### **3.2.2 Definición del problema general**

Luego de tener un primer gran acercamiento a la población se pudo determinar el problema a tratar: la falta de agua potable de calidad en comunidades de la sierra del Perú, además de identificar sus causas y consecuencias. La temática principal es el agua y saneamiento, cuyo problema general concluye en la falta de agua potable de calidad en comunidades de la sierra del Perú. Algunas de las causas comprenden:

- Déficit de abastecimiento de agua
- Consumo humano de agua no tratada con presunta presencia de metales pesados
- Limitaciones físicas y económicas al agua embotellada

Lo que lleva como consecuencia:

- Enfermedades de origen hídricas (diarrea, cólera, hepatitis, entre otras)
- Desarrollo de enfermedades crónicas, calambres, migrañas, deterioro mental
- Saturación del servicio médico más cercano

Una vez determinado el problema, se buscaron las causas para poder describir plenamente este problema y plantear la pregunta de investigación. Las principales causas de contaminación de las fuentes de agua, como visto previamente, son la contaminación minera local y el abandono por autoridades para solucionar el problema y brindar agua potable a los pobladores. Se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo, a través del diseño de un filtro para la potabilización del agua contaminada por actividad minera, se reducen las enfermedades causadas por esta?

### **3.2.3. Estudios de Conceptualización**

Una vez clara la pregunta de investigación, los estudios de conceptualización ayudan a definir la hipótesis y se establecen el objetivo general y los objetivos específicos del estudio. Para obtener esta información se realizaron entrevistas y revisión de

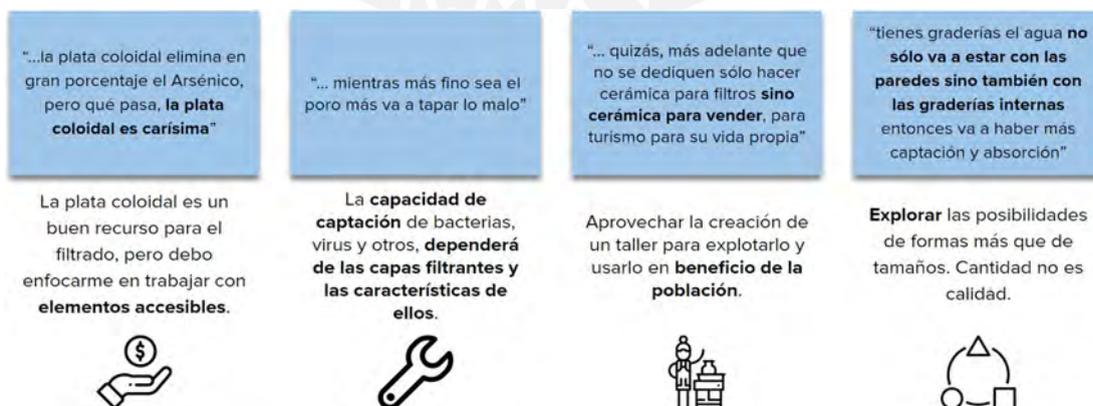
documentación teórica, así como la revisión de información brindada por los pobladores en métodos de investigación anteriores, para luego analizarla mediante cuadros comparativos, mapas conceptuales y gráficas.

### 3.2.3.1 Entrevistas a profesionales

Se realizaron dos entrevistas a profesionales. La primera de ellas a la Diseñadora Industrial Milagros Diez Canseco, de la cual se buscó conocimiento en torno a la cerámica, sus propiedades y necesidades de producción y, ayudó a conocer las dimensiones de proyectos de filtrado a través de la cerámica y el impacto social que conlleva (Anexo F). La información de la entrevista se dividió en el estudio del agua y el estudio de arcillas, es decir, el elemento a filtrar y el filtro. Dentro de cada una se resaltan elementos necesarios en la investigación para poder desarrollar el tema de estudio. Además, se comentó la posibilidad del desarrollo de la cerámica como disciplina y como fuente de producción e ingreso a la comunidad, la cual conlleva al estudio de las arcillas accesibles, las canteras, sus características, la creación de talleres y hornos, etc. El análisis de esta información se hizo mediante la triangulación de información, corroborando la investigación teórica con la mencionada por las profesionales. Se recogieron insights, se realizaron cuadros comparativos, mapas conceptuales, esquemas de resultados, e ilustraciones, fue esquematizada en un mapa conceptual en el que se resaltan elementos clave para el desarrollo de un filtro cerámico en la población. Finalmente, se obtuvieron insights.

**Figura 21.**

#### *Insights de entrevista 1*



Terminada la entrevista se pudieron obtener los siguientes *insights* (Fig. 21) para el desarrollo de un filtro cerámico. El primero detalla la importancia de materiales locales para

un filtro. Algunos filtros cerámicos llevan un revestimiento de plata coloidal que ayuda en el proceso de potabilización, sin embargo este material tiene un costo elevado para el usuario planteado. Es por esto que se hace énfasis en la importancia de utilizar materiales accesibles y que el usuario pueda producir este proyecto por sus propios medios según se concluyó en el capítulo de diseño social. Esto ayudará a la independencia del usuario y transferencia de conocimientos, y podría aportar en crear un vínculo con el producto, fortaleciendo la posibilidad de uso. Así mismo, el usuario llegaría a entender el funcionamiento del proceso y las funciones de los elementos en él.

El segundo insight hace referencia al material. Al igual que cualquier filtro, la capacidad de retención dependerá del tamaño de los poros u orificios que el elemento a filtrar podrá atravesar. Las variedades de barros y arcillas para el desarrollo del filtro comparten esta premisa y la capacidad de captación de la misma dependerá de su granulometría, es decir, el tamaño de los granos de arcilla. Con esta información se puede deducir que la capacidad de filtrado, si es que se trabaja con material local, dependerá en gran parte de la granulometría de la arcilla encontrada en, o cerca a, la población de Chillaco. Si es que la arcilla accesible en este caso no cuenta con la finura necesaria para la filtración de elementos tóxicos, este filtro no sería el adecuado para cubrir las necesidades de la población, por lo que se debería complementar con una solución que elimine estos residuos metálicos.

El siguiente insight plantea la importancia de ver las posibilidades de desarrollo del producto, y del entorno en el que se hará. En este caso, para el desarrollo de la cerámica para el filtro, se podría potenciar este recurso disciplinario, manual y de instalaciones para la producción de cerámica con otros fines. Se propone la explotación de este recurso en beneficio de la comunidad para el aumento de actividades e ingresos económicos de los pobladores. Una actividad como la cerámica, practicada de manera artesanal, cobra un valor personal y cultural, con un potencial a ser comercializado. Finalmente, el cuarto insight recalca la importancia de explorar las diferentes formas que este filtro puede adoptar. Parte del conocimiento del material y su función, para aprovechar su potencial y lograr un mejor y más efectivo desempeño.

La segunda entrevista realizada fue dirigida a la Ingeniera Agrónoma Carmen Felipe-Moreno. La información resultado de la entrevista realizada a la Ingeniera Felipe-Moreno fue esquematizada en un cuadro en el que se resaltan elementos clave sobre el funcionamiento de un humedal artificial, sus componentes y su potencial.

**Figura 22.**

*Esquema de resultados de la entrevista*



Finalizada la entrevista se procedió a resumir y graficar la información en 4 temas: Partes del humedal artificial, las funciones, la planta a utilizar y los elementos geográficos a tomar en cuenta. El humedal artificial busca replicar lo que sucede en un humedal natural pero potenciando el proceso en cuestión de tiempo y capacidad: realiza la limpieza de agua de manera más rápida y efectiva (Figura 23).

En las primeras dos partes (01 y 02) de la entrevista, se conocieron las partes del humedal y esto permitió entender las funciones e importancia de cada una, y posibilidad de construcción, los costos. De esta manera, se abre la posibilidad de seleccionar elementos claves en el humedal que se puedan replicar en otro contexto, partes de este sistema que puedan ser aplicadas y sigan siendo funcionales en otro tipo de filtrado.

Luego se procedió a detallar la planta utilizada en el humedal. Si bien esta clasifica como una de las partes del humedal (parte 01 de la entrevista), se profundizó más sobre este elemento, sus variedades y posibilidades de uso en otro contexto. El tipo de planta utilizada cuenta con variables como edad, rizósfera y capacidad de filtración que influenciarán en el resultado de la eficiencia del humedal artificial. Al igual que en el filtro de cerámica, la capacidad de filtrado dependerá de la composición del material, en este caso, de la planta. La suma de las 3 variables mencionadas podrá determinar el resultado del proceso. Si se implementara una planta cuya rizósfera es abundante y densa, de que haya alcanzado su determinada edad de desarrollo y tenga una capacidad de filtración alta, el

agua que pasará por este proceso de filtrado resultará con un número mucho menor de elementos contaminantes que el de agua que haya pasado por una planta de rizósfera angosta, de temprana edad, y con una capacidad de filtración media o leve.

Finalmente, se habló sobre las posibilidades de filtrado y el impacto ambiental del mismo humedal. La implementación del humedal artificial, además de limpiar agua residual, evita que, no solo esta permanezca sucia sino también se evita la contaminación de otras fuentes de agua. También, evita la contaminación de suelos y subsuelos, donde se encuentran otras fuentes de agua subterráneas. La preservación de suelos permitirá un mejor desarrollo del ecosistema, de la flora y fauna. Por otro lado, el aprovechamiento de la inclinación natural del terreno en valles o montañas facilita el flujo de agua con el uso de la gravedad y abarata costos al prescindir de una bomba o motor para su desplazamiento. El último elemento importante a detallar fue la integración visual del humedal con la localidad. Al ser un conjunto de plantas, piedra y grava, un humedal artificial no representa una interferencia en el paisaje natural. El valor de este aspecto es alto ya que la contaminación visual es un gran disruptivo en un ambiente natural como un valle, y podría volverse desfavorable y hasta desagradable un ambiente que debe ser preservado de manera armoniosa y natural.

**Figura 23.**

*Insights de entrevista 2*



Además, se resaltaron algunos insights de la información proveída. En la primera se habla sobre el referente natural. Como se ha mencionado anteriormente, el humedal artificial busca imitar y potenciar el funcionamiento de un humedal natural, de esta manera utiliza elementos naturales y su contaminación visual y auditiva es casi nula, además de no causar emisiones de gases o líquidos tóxicos. La naturaleza demuestra ser una gran fuente de inspiración y solución a problemas causados por el hombre, potencial que no puede pasar desapercibido. Luego, se recalca el funcionamiento de las diferentes plantas para diferentes filtrados. Cada planta tiene la capacidad de filtrar pero la cantidad de captación de bacterias, virus y residuos tóxicos dependerá de las variables de la misma. Este insight proviene de la tercera parte de la entrevista. Es cuestión de mayor investigación y hacer pruebas sobre la capacidad de retención de elementos. La Ing. Felipe-Moreno menciona además que algunas de ellas logran la retención de metales pesados, que son principalmente los elementos que se buscan controlar en este estudio. Finalmente, un detalle importante fue la flexibilidad de adaptación de estos humedales. El tamaño del humedal depende de la cantidad de agua residual a filtrar. Para un ambiente doméstico se podrá realizar uno con medidas menores al de un ambiente industrial o comunal. Esto abre la posibilidad de personalización del humedal para las necesidades específicas de la comunidad o del poblado. Existe la posibilidad de reducir el tamaño para uso doméstico. Así mismo, conocer la función de los elementos y la capacidad de personalización, se plantea la posibilidad de cambiar la forma del humedal por completo con tal de seguir los mismos principios de filtrado a través de la rizósfera de las plantas y el uso de gravedad para el desplazamiento del agua. El crecimiento y desarrollo de un sistema como el de humedal dentro de un contenedor limitado como un balde en un espacio doméstico, no afecta el crecimiento de la planta ni de la rizósfera como se demostrará luego.

Luego de las dos entrevistas a expertas sobre dos diferentes métodos de filtración de agua, se concluyó que el funcionamiento del filtrado de agentes dañinos es el mismo. Si bien dependerá del tamaño de los poros de cada elemento o material filtrante, el proceso en ambos consta de dejar pasar a través de ellos el agua y retener los elementos tóxicos o nocivos con menor o mayor precisión (otra vez, dependerá del tamaño de los poros y del resultado deseado). Además, en ambos se plantea el desarrollo del sistema de filtrado, factible para la construcción local por mano de obra local ya que las tecnologías son sencillas de implementar. La implementación de cualquiera de las dos propuestas estudiadas permite la implementación de trabajo local para su conservación o para otros proyectos.

### **3.2.3.2 Pruebas de materiales y el espacio a intervenir**

En este método se hicieron pruebas con los materiales que conforman el producto para observar sus capacidades y potencial. Se probó la adaptabilidad de la planta en un entorno doméstico además de la porosidad de la cerámica como medio filtrante. Para el análisis de estos datos se realizaron cuadros, comparaciones, mediciones y registro fotográfico.

#### **3.2.3.2.1 Desarrollo de la totora en un entorno doméstico**

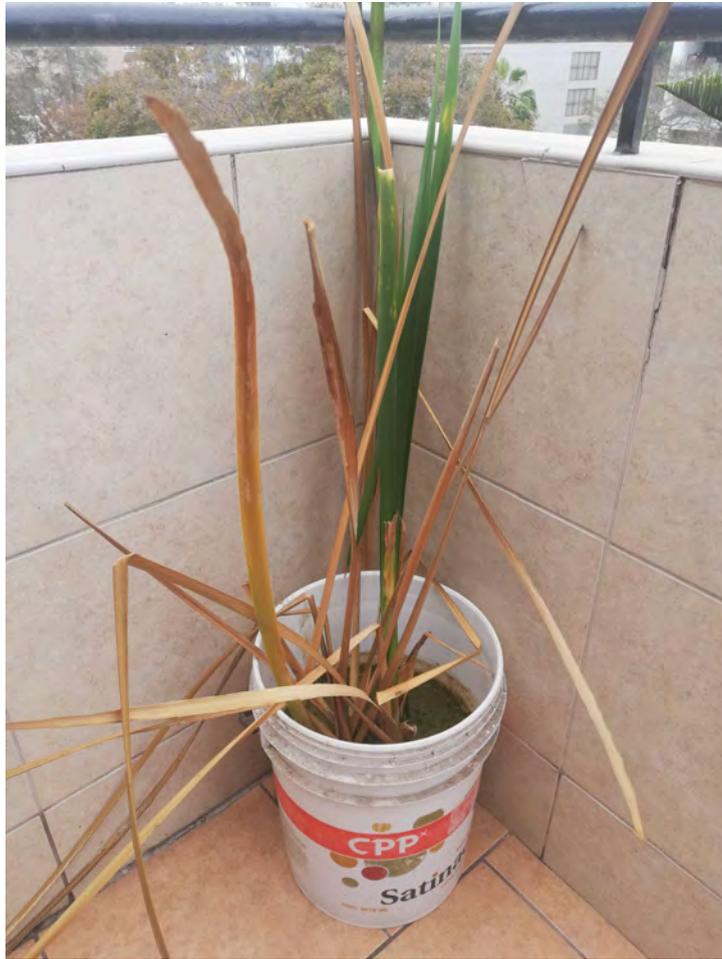
Sobre el uso de la totora, los resultados del material teórico fueron respaldados por comentarios de los mismos pobladores verificando su capacidad de limpieza del agua, “El río estaba turbio y lo que estaba por la totora el agua estaba clarita”, “la totora tiene buenas raíces, es como una malla” (Bernable, 2020).

Para el estudio práctico de la totora se recolectó la planta de dos lugares diferentes: Totora A, recolectada en la zona sur del distrito de Chorrillos, en Lima. y la Totora B, recolectada de la zona de Chontay, poblado vecino a Chillaco. Ambas totoras, *Typha Domingensis*, son la misma utilizada en los estudios de fitorremediación por Teles Gomes et al. en el cual demuestran su capacidad de absorción de mercurio en un 81% luego de 24 horas. El objetivo de estas pruebas es validar la adaptación de la totora a un ambiente doméstico, donde pueda crecer y reproducirse sin problemas.

Para la recolección de la primera muestra, Totora A (de Chorrillos), se retiraron 3 totoras de tamaño mediano (aprox 1m de altura desde la punta de la hoja hasta la rizósfera). Dos de ellas sin raíces y una con ellas. La totora necesita de sus raíces al cambiar de ambiente para poder sobrevivir en el nuevo, como demostró el primer estudio. Fue limpiada de tierra en las raíces y colocada en un balde de 20 lt con arena, grava y agua. El balde fue colocado en un ambiente destechado, donde pudiera recibir luz directa del sol. A las 4 semanas, las totoras sin raíces estaban completamente secas y no habían crecido nuevas raíces, por lo tanto no pudieron aferrarse y nutrirse del suelo, la tercera, la totora extraída con raíz, si.

**Figura 24.**

*Fotografía de Totora A, 1 mes luego de ser reubicada de el balde*



*Nota.* Las hojas secas son de las plantas sin raíces y las verdes de la totora extraída con raíces.

Habiendo pasado dos meses desde la extracción, la Totora A fue podada y empieza a secarse desde las hojas exteriores hacia dentro. Sin embargo, sus raíces se han multiplicado y una nueva planta empieza a crecer al lado. Este es un proceso de adaptación de la planta (Eduardo Pareja, 2021) en el cual la totora se adecúa y aclimata a este nuevo ambiente, nuevos nutrientes , espacio y clima.

**Figura 25.**

*Totora A, 2 meses luego de extracción*



*Nota.* En la foto se observa las hojas exteriores secas, raíces bajo el agua en la parte inferior de la imagen, y una nueva totora emergiendo, producto la adaptación y la reproducción de la totora original.

5 meses después, la totora demuestra una excelente adaptación al ambiente doméstico, es decir, al contenedor. Se ha reproducido pasando de ser un solo tallo a tener 6, 3 de ellos de gran tamaño y 3 recién emergiendo. Además, las raíces se han multiplicado y creado una capa tipo malla que cubre toda la superficie. Estas raíces son las encargadas de filtrar los metales pesados, y su crecimiento en el contenedor demuestran un buen resultado a su capacidad de crecer y actuar como material filtrante en el filtro a diseñar.

**Figura 26.**

*Totora A, 5 meses luego de extracción*



*Nota.* En la foto se observa la totora que se ha producido y creado una densa malla de raíces. En la parte superior se ven 3 tallos grandes y anchos, y en la parte inferior hay otros 3 recién emergentes, uno de ellos no visible debido al ángulo de la toma. Se observa además que el agua se mantiene clara.

La Totora B, extraída y transportada desde Chancay hasta Lima, pasó por mayores retos de transplatación y manipulación, sin embargo su proceso fue el mismo. Comenzó secándose, y a los meses, brotando nuevos tallos.

## Figura 27.

*Totora B, al momento de extracción y 1 mes después.*



*Nota.* La Totora B pasó por dos trasplantes: del río al balde y de un balde a otro. En la imagen de la izquierda se puede observar la totora recién recolectada, y en la derecha, un mes después. El tallo que se ve verde en la foto de la izquierda está seco en el de la derecha, pero emerge uno al lado.

Ambas totoras demuestran una gran resistencia a la manipulación, además de una flexibilidad a la adaptación en el entorno. Como explicado en el material teórico y como se observó en estos estudios, la totora pasa por un proceso de adaptación en el cual las hojas del tallo se empiezan a secar pero unos nuevos empiezan a crecer. Asimismo, las raíces forman una malla densa, como mencionó la pobladora Flor Bernable en una entrevista. Cabe recalcar que, en ambos casos, ambas totoras no han crecido más de 1.5m de altura, cuando en su ambiente natural logran llegar a los 3m, más no presenta un inconveniente para el proceso de filtración ya que las raíces se han desarrollado de manera exitosa creciendo aproximadamente 9 cm en diámetro y 1.30 cm de altura.

### 3.2.3.2 Composición de la cerámica

Para el estudio práctico de la cerámica se establecieron 2 objetivos: determinar las proporciones adecuadas de materiales para crear arcilla de la porosidad necesaria para el filtrado que, según material teórico previamente mencionado, oscila alrededor del 40% de porosidad, y determinar la forma del dicho filtro cerámico para evaluar el tiempo más óptimo de filtración.

Para la realización de las pruebas se optó por preparar la mezcla del barro utilizando arcillas moldeables y de fácil acceso en el mercado peruano. Junto a la ceramista Grimanesa Neuhaus, que bajo recomendación y expertise en la cerámica, recomendó las arcillas Potter Blanca y la Arcilla Roja. Se mezclaron con diferentes proporciones de caolín y aserrín para aumentar la porosidad y se hornearon a 750°C. Se obtuvo una cerámica muy frágil. Se volvió a realizar todo el proceso, esta vez colando el aserrín para obtener una mezcla más uniforme: Se coló el aserrín con una malla de #6 (3.35 mm de apertura) para obtener un aserrín de menor tamaño, y así, tener una mezcla de arcilla más homogénea. Agregando agua, se crea una pasta que se mezcla y luego se deja reposar sobre tela y ladrillos, de esta manera el barro se empieza a secar hasta estar en un punto moldeable para la formación de tabillas de pruebas.

**Figura 28.**

*Secado de arcilla húmeda como barro sobre tela y ladrillos.*



Luego se realizan las piezas para las pruebas en forma de rectángulos de 1cm de grosor y con una línea de 10cm, trazada sobre él, para medir el nivel de reducción de la cerámica al ser quemada y así saber el tamaño que debe tener la pieza en barro para que al reducirse en el horno y salga como cerámica, tenga como resultado el tamaño final que necesitamos para el producto final.

**Figura 29.**

*Piezas en horno*



Para obtener la porosidad de las piezas de diferentes mezclas, se realiza un primer pesado, luego de ser quemadas. Luego se sumergen en agua por completo, por un periodo de 24 horas para luego sacarlas y volverlas a pesar. Una vez obtenidas estas 2 variables se emplea la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Peso Mojado} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco} \times 100} = \text{Porcentaje de porosidad}$$

**Figura 30.**

*Sumergido de piezas en agua*



*Nota.* Las burbujas que emergen de la pieza tienen relación directa con la porosidad.

**Tabla 5.**

*Resultados de mezclas en horno a 750.*

	Arcilla	Mezcla (en tazas)		Bizcocho			
		Arcilla	Aserrín	Encogido (cm)	Peso Seco (g)	Peso mojado (g)	Porosidad (%)
		% vol					
13	roja	45	55	9,4	33,2	44,1	32,83
14	roja	40	60	9,2	29,9	39,9	33,44
15	potter	45	55	9,5	30,6	42,4	38,56
16	potter	40	60	9,5	29,8	44	47,65
17	roja	60	40	9,2	37,1	44,8	20,75
18	potter	60	40	9,6	33,3	43,5	30,63
19	roja	50	50	9,2	33,3	41,9	25,83
20	potter	50	50	9,4	31	42,1	35,81

Tener el aserrín colado y la quema a mayor temperatura permitió tener como resultado piezas mejor cohesionadas y resistentes a fuerzas externas manteniendo aún un alto nivel de porosidad. Las mezclas con mayor porosidad fueron las compuestas por la arcilla Potter tanto

en igual o menor nivel que el aserrín. Las mezclas consideradas para la composición del filtro de cerámica son las que están conformadas por arcilla Potter y aserrín en porcentajes de 40% arcilla y 60% aserrín y 45% arcilla y 55% aserrín que obtuvieron como resultado porosidades de 47.65% y 38.56% respectivamente. La mezcla escogida para la siguiente prueba y para el desarrollo del filtro es la de 38.56% de porosidad ya que se aproxima lo suficiente a un 40% de porosidad como propuesto en los estudios teóricos, y mantiene una mejor elasticidad del material para modelar cuando en estado de arcilla y una mejor sujeción y fuerza cuando en estado de cerámica. Se recomienda quemar las piezas a una mayor temperatura ya que luego de una exposición prolongada al agua, las piezas quemadas a 750°C empezaron a deteriorarse, una quema de 900°C resultará en una mayor resistencia de las piezas.

El siguiente estudio sobre la cerámica consiste en encontrar una mejor forma para filtrar el agua en cuanto a tiempos y superficie de filtración. Se realizaron dos piezas. Una en forma cónica y otra tipo olla. Ambas piezas se realizaron con la misma composición de barro, con paredes de 1cm de grosor, y se cocinaron en el horno a la misma temperatura: 900°C. De esta manera, ambas piezas tendrían la misma porosidad. Una vez convertidas en cerámica, ambas fueron colocadas en un soporte sobre un balde vacío para permitir la filtración de la pieza. Se vertieron 350 ml de agua, cantidad suficiente para llenar los contenedores.

**Figura 31.**

*Filtros cónico (izquierda) y olla (derecha) con agua.*



Los resultados de las pruebas fueron sorprendentes ya que ambos demostraron tener el mismo tiempo de filtración (1 hora) y la misma cantidad (350 ml). Si bien en el filtro cónico hay mayor presión sobre un punto de filtrado que el el filtro tipo olla, al ser este punto de menor área, los poros se saturan con mayor rapidez, bloqueando los poros de menor tamaño, volviendo al caudal menor. Cosa que no pasa en el filtro en forma de olla ya que al tener una superficie más amplia en contacto del agua, el filtrado se distribuye equitativamente y el caudal es constante a lo largo de todo el filtrado, además de ofrecer la posibilidad de hacerle limpieza al filtro en un plazo mayor de tiempo que al cónico. Es por estas diferencias que un filtro de base plana resulta ser la mejor opción para el filtrado del agua.

### **3.2.3.2.3 El espacio doméstico a intervenir**

Para la definición del espacio en donde debería ubicarse el filtro se hizo un análisis de dónde suelen estar las fuentes de agua potable en los hogares, además de unas entrevista cualitativas con los pobladores, y una visita a los hogares del Chillaco. El análisis de estos resultados se hizo mediante un cuadro comparativo y la comparación de esquemas realizados por los mismos pobladores. Así como el análisis del material fotográfico registrado.

La propuesta de diseño estuvo planteada en un primer momento para ser un filtro que se coloque en una encimera, en una mesa o autoportante en un ambiente interno, techado, como la cocina, pensando en el fácil acceso que el usuario tendría a este si se encuentra en la locación mencionada. Sin embargo, el área de cocina en las viviendas del poblado eran pequeñas (ver figura 33) y, debido a la falta de lugares de almacenamiento, las encimeras y mesas tenían un espacio libre limitado. Además, un ambiente de cocina incluye vapores y grasas inusuales en el desarrollo de la planta, así mismo, la totora necesita un espacio ventilado y con luz natural para un mejor desenvolvimiento. El diseño demandaba un espacio amplio, tanto los contenedores como la planta. Por otro lado, en algunos casos, las estructuras de las encimeras y mesas no demostraron solidez y seguridad para soportar el peso del agua que contendría.

**Figura 32.**

*Cocinas de viviendas en el poblado de Chillaco.*



*Nota.* En la foto a la superior se observa la cocina del Sr. Giovanni, en la inferior, la de la Sra. Nilda. En ambos casos se aprecia el uso constante de las encimeras debido a la falta de almacenamiento. El agua hervida suele colocarse sobre las encimeras o en alguna mesa en contenedores de 2 litros.

Los pobladores además, comentaron sobre el uso del patio para múltiples actividades, una de ellas cocinar, ya que algunos aún tenían cocinas a leña. En las casas de la zona, el patio es un ala más en la cocina, integrado al resto del hogar al ser un espacio que forma parte del día a día. Esto se debe a que el clima de Chillaco varía entre los 26°C y 21°C durante el día, a lo largo de todo el año, y una humedad promedio de 77%



**Figura 34.**

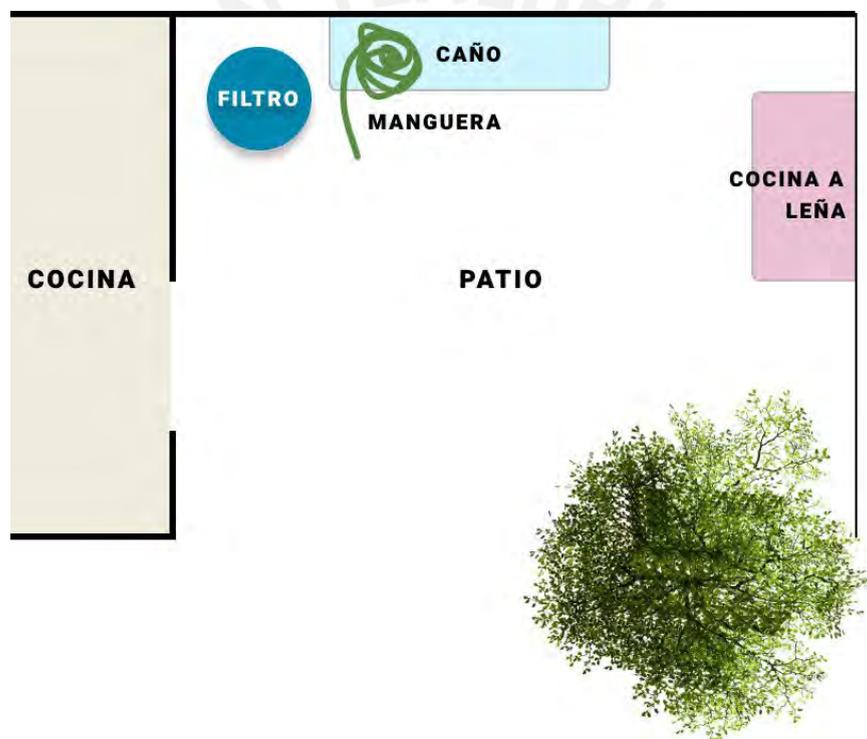
*Viviendas en Chillaco y su proximidad a las plantas y uso de los espacios abiertos.*



En todas se aprecia la proximidad de la cocina con el patio o espacio abierto. Así mismo, uno de los elementos en común que más resaltan en estas 3 ilustraciones de la Figura 34 es el hecho de que todos han ilustrado la localización de los árboles. Esto apoya la idea de la presencialidad e importancia de los espacios abiertos y el entorno exterior, en el día a día del poblador. No hay una distinción entre un dentro y fuera de la casa, sino el espacio interior y exterior conforman un solo hogar ya que en todos los lugares encontrados existe este espacio abierto cerca a la cocina y los espacios de mayor utilidad, con un punto de agua y manguera.

**Figura 35.**

*Patio estándar en la localidad de Chillaco*



Como resultado del análisis de los espacios de Chillaco, se diagramó un estándar de un patio en Chillaco (Figura 36). Este suele tener un techo de caña, o ser destechado y con la protección de un árbol. Además, tiene un suelo de tierra aplanada y un acceso directo a la cocina. En el patio encontramos un punto de agua como un caño grande, una manguera y una cocina a leña. En la mayoría de las casas encontradas se encuentra este tipo de espacio adecuado para el óptimo desarrollo de la planta y para la comodidad del usuario en la preparación de alimentos o para consumo directo de agua potable. Es así como el patio resulta una mejor opción para la colocación del proyecto (Tabla 8).

**Tabla 6.**

*Comentarios de pobladores con respecto a la ubicación del filtro.*

<b>Poblador</b>	<b>Sra Sonia Bernable</b>	<b>Sra Nilda Zabaleta</b>	<b>Sra Margarita Vargar</b>	<b>Sra Ana María Mantary y esposo</b>	<b>Sr Giovanni</b>
<b>Comentario</b>	Colocaría el filtro afuera de su cocina para que le caiga sol a la totora.	Colocaría el filtro en la esquina de su patio porque y lo llenaría con manguera desde el caño cercano.  También tiene fácil acceso a su cocina de leña.	Colocaría el filtro en su patio junto al caño cercano y lo llenaría con la manguera.  Está cerca a la puerta de la cocina.	Colocaría el filtro en su patio junto al caño cercano y lo llenaría con la manguera.  Tiene fácil acceso a la cocina.	Colocaría el filtro en su patio, acceso a 4m de la puerta de la cocina, al lado de un caño, donde le caería sol.

Con estas entrevistas, también se descubrió la importancia de tener una salida de agua cercana y la posibilidad de utilizar una manguera para evitar cargar peso al transportar el agua de un lugar a otro ya que utilizan este punto de carga para limpiar, humedecer la tierra y evitar polvadera, regar, etc. El 100% de los entrevistados contaban con una. Los pobladores coinciden en el fácil acceso del patio al área de cocina.

### **3.2.4 Exigencias de diseño**

Luego de toda la investigación se concluye en 3 tipos de exigencias del diseño que el producto deberá cumplir: funcionales, emocionales y socioambientales.

Las exigencias funcionales son la capacidad de potabilizar agua contaminada con residuos metálicos como principal requerimiento, además de potabilizarla de bacterias y otros contaminantes que afectan a la salud. Deberá ser un producto doméstico, adaptable al entorno en el que se situaría de fácil uso por los integrantes de la vivienda y que el usuario sea capaz de ensamblarlo y utilizarlo sin ayuda externa. Además, ser de fácil acceso económico. Por esto se propone un filtro de autoconstrucción o de fácil replicabilidad por los mismo pobladores.

Dentro de las exigencias emocionales estaría la capacidad de que el producto sea entendido por el usuario, es decir, que el usuario entienda cómo funciona el filtro. De esta manera, confiará en el producto y en su capacidad de filtración, y lo motivará a usarlo. Por otro lado, deberá acoplarse a la estética del entorno, así no será un elemento intimidante o extraño en casa.

Finalmente, como exigencia socioambiental está la capacidad de ser construido en la mayor parte posible con materiales locales y accesibles al poblado y que permita una potabilización que no afecte al ambiente ni a la seguridad del poblador. Esto disminuirá el impacto ambiental, económico y facilitará al poblador a replicar el producto de ser necesario sin depender de terceros.

### 3.2.5. Primeras propuestas de diseño

Una primera propuesta contempla un filtro que, en el nivel superior tiene totora y arena cuyas propiedades permiten la retención y absorción de metales pesados y otros contaminantes. El agua es vertida en este primer contenedor de cerámico y atraviesa las capas, luego atraviesa el mismo contenedor de cerámica cuya parte inferior no ha sido sellada. Este material es también un filtro que logra captar impurezas y elementos como bacterias y parásitos de menor tamaño.

**Figura 36.**

*Primera propuesta de diseño*



Con respecto a la forma de los 3 contenedores cerámicos, la producción del tercero complica el proceso de la producción del filtro en general. El contenedor final cuya utilidad es la de almacenar el agua contiene características que imposibilitan su producción en cerámica de un solo molde y un nivel técnico avanzado y de alta tecnología, lo que implicaría complicación o ralentizaciones en el proceso de producción. Asimismo, el poblador no es capaz de ver la cantidad de agua potable disponible dentro de él. Por otro lado, al momento de carga y ensamblado, el fast prototyping permitió ver la manera de sujeción del producto. Este es un producto muy grande para su manipulación y ocuparía un gran espacio dentro del ambiente doméstico, además de contar con una estructura muy frágil.

**Figura 37.**

*Resultados del fast prototyping*



La propuesta de rediseño contempla un cambio de producción. Esta vez se reducen los contenedores a 2, y se crea una base bajo la cual se pondrá un contenedor a parte, fácil de retirar. Esto se debe a la necesidad de tener un indicador del agua filtrada sin necesidad de desarmar todo el filtro. Además, se agregan asas para poder cargar los contenedores.

Una segunda propuesta con las modificaciones realizadas debido a los inconvenientes planteados en el primer diseño demuestran dos contenedores con asas y un espacio debajo para colocar y retirar un tercero, en el cual se almacenaría el agua limpia.

Sin embargo, luego este diseño presentaría inconvenientes al momento de ubicarlo en alguna encimera debido a su peso y tamaño. Así mismo, se observa que hacer todo el filtro de cerámica como su material principal aumenta los costos y debido a las necesidades de su producción, no sería una propuesta de autoproducción. Por otro lado, se busca una alternativa para un mantenimiento y limpieza del producto que sea sencilla.

**Figura 38.**

*Rediseño, versión 2 del filtro Taifa*



Finalmente se aterrizó en un tercer diseño. Ya teniendo como requerimiento de diseño un filtro de piso debido al peso que cargaría y el espacio que utilizaría. Además se optó por usar contenedores encontrados en el mercado nacional, como serían los baldes de 20 lt con caño. Esto debido a que son objetos que la población usa, de uso doméstico, y que algunas familias ya cuentan con estos o podrían conseguirlos con facilidad en mercados locales a bajo costo. Además que es un contenedor que permite un adecuado crecimiento de la planta así como de almacenamiento de agua potable. Esto ayudaría a abaratar los costos de producción del producto. Por otro lado, la cerámica pasó a ser solo una capa de filtro y no un contenedor entero para facilitar su producción y eliminar el elemento de fragilidad del diseño anterior. Fue este diseño el de la principal validación con los pobladores.

**Figura 39.**

*Rediseño, versión 3 del filtro Taifa*



### **3.2.6. Estudios de Validación**

La validación del diseño se hizo en noviembre del 2021. Aprovechando que las limitaciones físicas debido a la pandemia eran menores, se viajó a Chillaco llevando una maqueta de mediana fidelidad, compuesta por una estructura de plástico, dos blades y cartulinas, además de 5 folletos para anotar cada validación.

La meta fue validar en 5 hogares el uso del filtro con respecto a las alturas y el entendimiento de cómo funciona. En un poblado de 50 casas aproximadamente, esto

estaría cubriendo el 10% de la población. Las entrevistas tuvieron una duración aproximada de 30 minutos dentro de los cuales se armó el filtro, se explicó cómo funcionaba, se colocó en un lugar ideal y se conversó sobre el uso y mantenimiento. La muestra fue hecha en 4 casas y un restaurante local, a 3 mujeres, 1 hombre y una pareja hombre y mujer.

Los objetivos de la validación fueron confirmar tamaños, pesos y alturas. Así como ubicar el producto en el contexto y verificar que el poblador tenga un lugar dónde ubicarlo, una superficie estable y que sea de fácil acceso y mantenimiento. Además, era importante que el poblador entienda el funcionamiento básico de filtro, lo suficiente como para que le genere confianza y motive su uso.

Para la realización de la validación fue necesario el uso de la maqueta 1:1, lápiz, papel y una cámara fotográfica. El análisis de resultados se hizo mediante cuadros comparativos, recolección de insights y del material análisis fotográfico.

**Figura 40.**

*Ubicación de maqueta en locación de filtro. Casa de Sr. Giovanni*



**Figura 41.**

*Ubicación de maqueta en locación de filtro. Casa de la Sra. Margarita*



**Figura 42.**

*Ubicación de maqueta en locación de filtro. Casa de la Sra. Nilda*



**Tabla 7.**

*Comentarios de pobladores con respecto a las alturas de llenado y vaciado del filtro.*

<b>Poblador</b>	<b>Sra Sonia Bernable</b>	<b>Sra Nilda Zabaleta</b>	<b>Sra Ana María Mantary y esposo</b>	<b>Sr Giovanni</b>
<b>Comentario</b>	La altura le pareció bien para llenado y recojo de agua. No lo subiría más porque más alto no podría ver cuando lo llena.	Le parece una altura fácil para el llenado con la manguera.	Prefiere subir la altura del filtro para llenarla utilizando un banco y una manguera para así no doblar la espalda para recoger el agua.	El uso y llenado se le hizo “recontra” fácil. Lo haría con una manguera.

Luego de la validación de alturas, 3 de 4 pobladores demostraron estar conformes con las alturas del filtro ya que todas contaban con una manguera en casa para el llenado del filtro por la parte superior. Además, comentaron que la altura de servido podría ser baja, pero que no parece ser inconveniente alguno. 1 de los usuarios entrevistados preferiría subir el filtro y ayudarse de un banco para alcanzar la parte superior y así no tener que doblar la espalda al momento de servir. Sin embargo esto pondría en peligro al usuario al poder caer o empujar el filtro, de esta manera, resulta menos peligroso curvar la espalda ligeramente al servir, que utilizar un banco para el llenado. Además, los usuarios reconocieron que utilizarían el filtro alrededor de 4 veces al día. 3 para la realización de refresco en jarras de alrededor de 2lt, y una para llenar la olla para cocinar el almuerzo, así como múltiples veces para servirse un vaso de agua directamente. Es por esto que resultó conveniente tenerlo en un lugar cerca a la cocina y de gran frecuencia de uso.

Por otro lado, se validó la estabilidad de la estructura. Al ser terrenos de tierra, aplanados mas no pavimentados, muestran cierta irregularidad. Es por esto que se valida el uso de 3 patas, como trípode, para lograr una estructura estática y sin cojear, lo cual funcionó adecuadamente.

Para una última validación del diseño se contactó a los pobladores para que puedan apreciar el producto en el contexto. Se les mostró las imágenes creadas de manera digital del filtro Taifa en las viviendas y se les pidió su opinión sobre el producto, además de si les

parecía intrusivo en el contexto, si se ve mal, si lo tendrían en casa y por último, si lo usarían.

Finalmente, para la validación de la funcionalidad del filtro se realizaron 2 entrevistas a expertos. El primero, el Ingeniero Químico Marco Gusukuma y la segunda con la Bióloga Marisa Ocospoma, quienes gracias a su experiencia, compartieron sus observaciones. El Ingeniero Gusukuma confirmó que si bien siempre que se lleva un proyecto a campo surgen ajustes, todo lo planteado es plausible, es decir, es sujeto a ser cierto. Además agregó que las pruebas domésticas del crecimiento de la totora fueron una gran manera de demostrar su habilidad de crecimiento al haber recolectado nitrógeno, fósforo y potasio (elementos necesarios para su crecimiento) meramente del agua y el ambiente. Por otro lado, agregó que la propuesta del diseño en lote (o en batch) con un tiempo de residencia de 24 horas es una buena solución para tener un constante suministro de agua.

La Bióloga Ocospoma validó la capacidad de la totora de absorber los metales pesados de un cuerpo de agua como si fuesen un nutriente más en ella, para asimilar y luego incorporar en algún lado de su propio cuerpo, dentro de la vacuola de las células. Además, afirmó que algunas plantas, como la totora, logran desarrollar nódulos en las raíces. Estos son partes en el organismo que asimilan y descomponen elementos como los metales pesados, logrando que la planta pueda vivir con los elementos tóxicos sin problema alguno. Finalmente, cuando preguntada si el producto tenía potencial y lógica en su funcionamiento e implementación confirmó que sí, “claro que tiene sentido... es simple pero bien eficaz”, además de resaltar su capacidad de fácil replicabilidad debido a su diseño y costo.

## **Capítulo 4. Resultados**

### **4.1 Concepto y tipología**

La investigación tiene como resultado un filtro biológico doméstico artesanal de piso y autoconstruible llamado Taifa capaz de potabilizar residuos mineros, así como bacterias y coliformes presentes en el agua. Taifa está compuesto de dos estructuras metálicas que sostienen los elementos que realizan la potabilización. El primero de estos es el que se ubica en la parte superior, un balde con la totora, grava, arena y una rejilla para su limpieza y mantenimiento. El segundo, otro balde que contiene el filtro cerámico. Ambos con tapas de

doble apertura las cuales cubren el balde de polvo, pero permiten que a través de ellas crezca la totora, y se vierta el agua de un balde al otro. El filtro está conformado por dos partes. La primera de ellas filtra elementos como polvo, hojas y otros elementos grandes, además los metales pesados. La segunda, filtra bacterias y otros micro elementos contaminantes, logrando finalmente potabilizarla. Taifa tiene una capacidad máxima de 14lt, la cantidad de agua suficiente para cocinar y beber en un ambiente doméstico de 4 personas, el promedio en Chillaco de acuerdo a los resultados de la encuesta sociodemográfica.

**Figura 43.**

*Taifa, filtro doméstico artesanal.*

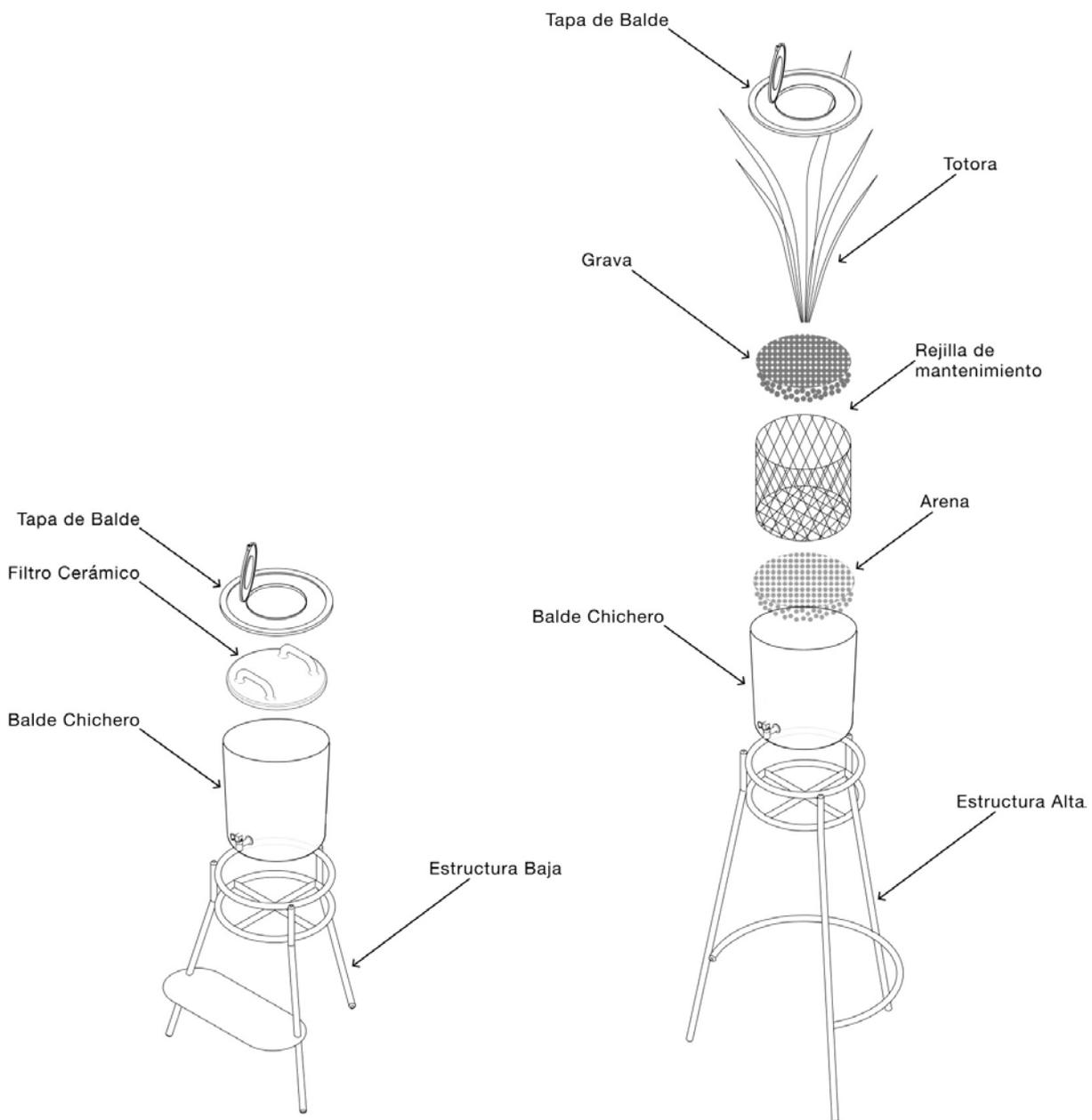


## 4.2 Resultados técnico funcionales

La estructura está compuesta por 2 baldes de 20 litros con caño, también llamados “Baldes Chicheros” y dos estructuras metálicas que los sostienen, mientras que los elementos filtrantes son la totora, la grava, la arena en la primera parte, y la cerámica en la segunda. El filtro tendrá una capacidad de filtrar 14 litros diarios, suficiente para la familia promedio de 4 personas, calculando 2 litros por persona = 8 litros, más 6 para cocinar.

**Figura 44.**

*Taifa, imagen explosiva con todas las partes y piezas.*



**Figura 45.**

*Taifa, parte superior.*



**Figura 46.**

*Taifa, parte inferior.*



#### 4.2.1 Uso y funcionamiento

Taifa funciona de manera constante ya que su proceso de filtrado demora 24 horas. Este proceso se divide en 2 partes y necesita 3 acciones del usuario. La primera parte es la limpieza de los metales pesados contaminantes del agua. El agua es vertida por el usuario en una primera intervención dentro del contenedor transparente que permite ver el volumen del agua llenada, mediante una manguera en el primer contenedor y permanecerá allí 24 horas, durante las cuales, la totora absorbe los metales a través de sus raíces, y trasladándolos a sus hojas a través de un proceso llamado fitorremediación, removiéndolos del agua. El proceso demora 24 horas ya que es esta la cantidad de horas necesarias para remover más del 80% de los metales. Una vez transcurrido el tiempo, el agua pasará del primer contenedor al segundo atravesando la grava, arena y mediante el caño que debe ser abierto por el usuario en una segunda intervención, que se encuentra en la parte inferior del primer balde en cuestión de segundos. La arena y grava funcionan al filtrar elementos medianos o grandes que puedan haber en el agua como restos de hojas, insectos, etc.

En este segundo contenedor, el agua deberá atravesar un filtro cerámico el cual, a través de sus poros, solo permite el paso de las partículas de agua, y retiene los elementos contaminantes antes mencionados. Al atravesar esta cerámica filtrante, el agua se deposita en la parte inferior del balde y está lista para ser consumida lo que pasará gradualmente a partir de los 30 minutos. Finalmente, el usuario puede utilizar el agua potable abriendo el caño en la parte inferior del segundo balde.

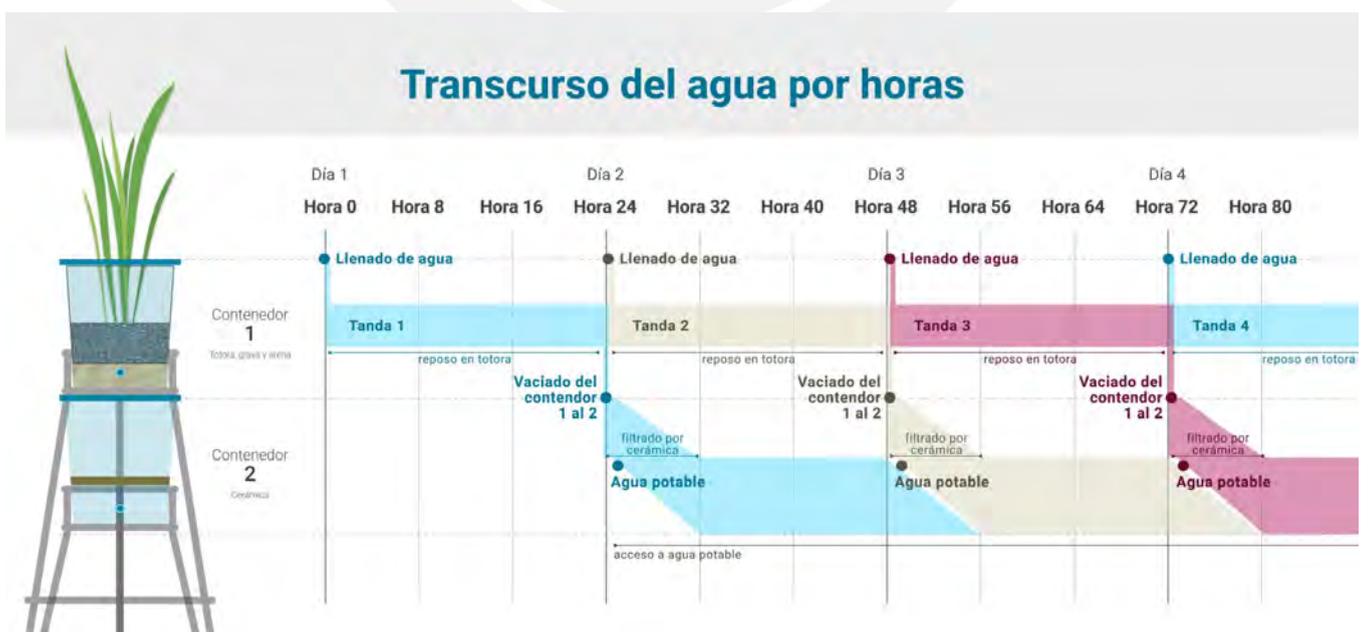
**Figura 47.**

*Flujo del transcurso del agua por tandas diarias*



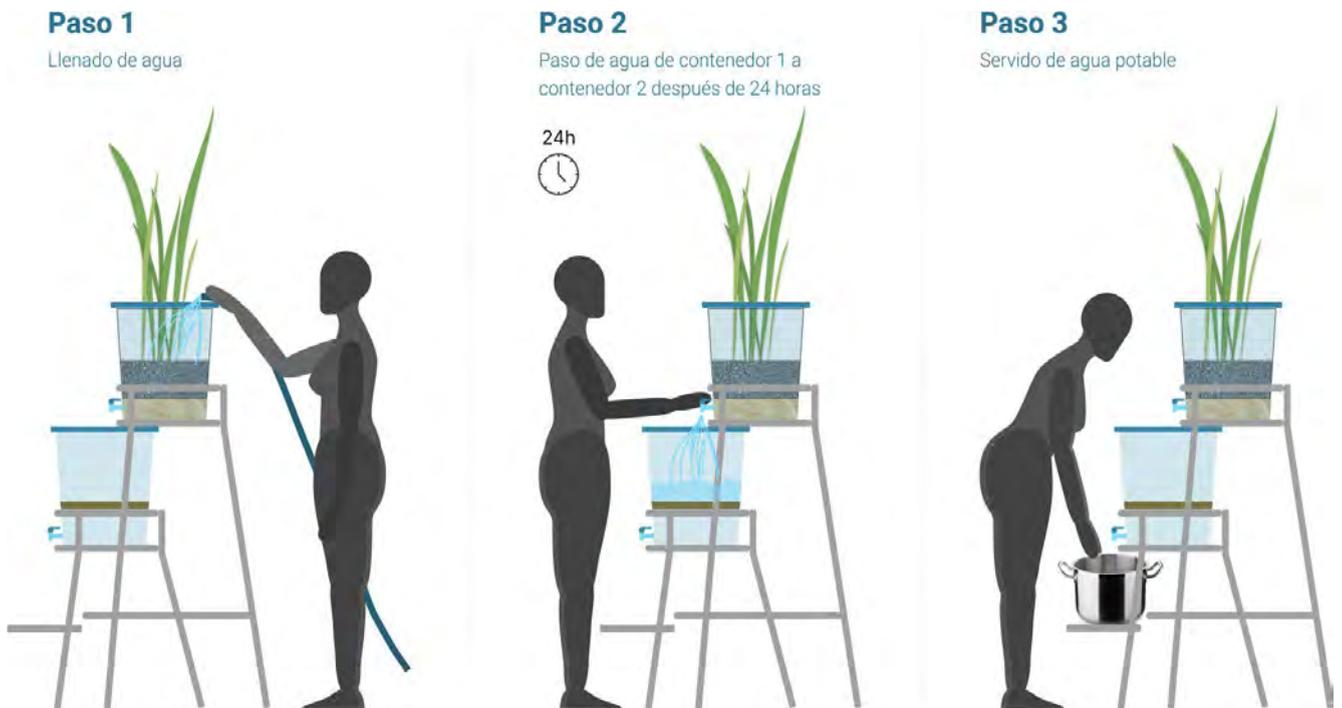
**Figura 48.**

*Transcurso del agua por horas*



**Figura 49.**

*Usuario hace uso del filtro*



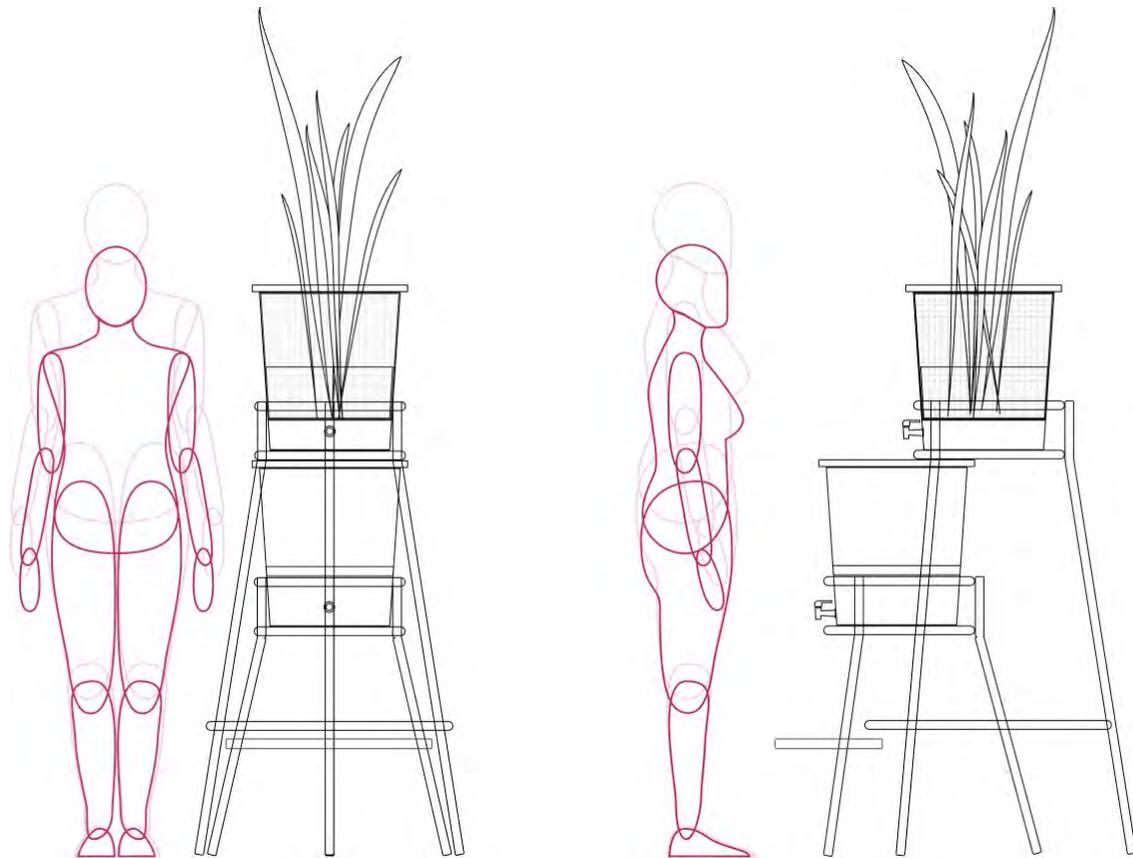
#### **4.2.2 Usuario y estudio antropométrico**

El usuario promedio es una mujer agricultora, adulta, entre los 30 y 60 años. Son ellas quienes se encargan de las labores domésticas principalmente, incluyendo la preparación de alimentos, refrescos, hervido del agua, etc. La mujer peruana promedio mide 151 cm de altura y no debe cargar más de 15 kg, según el Ministerio de Trabajo y Promoción de Empleo. Es por esto que el filtro tiene una altura máxima de 136 cm (sin contar la planta) y una capacidad máxima de 14 lt, esto quiere decir, una carga máxima de agua de 14 kg al llenar.

El filtro está diseñado para ser llenado con el uso de una manguera. Como resultado de las entrevistas y visitas a las casas, todas demostraron que sería la mejor opción al tener mangueras y caños cercanos accesibles en el patio o cerca al área de cocina, y el evitar cargar peso.

**Figura 50.**

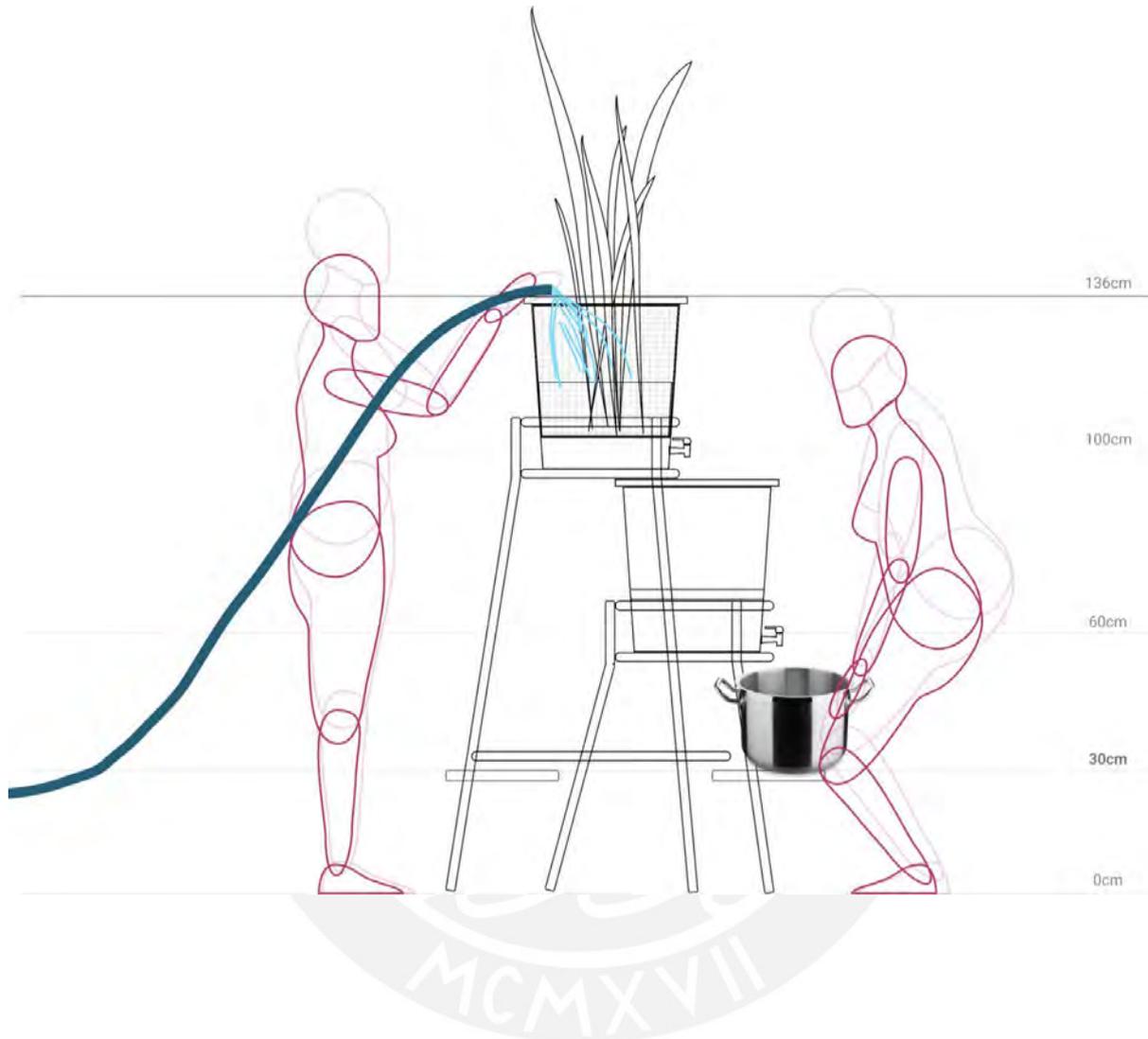
*Vista antropométrica 1*



Así mismo, la parte baja del filtro cuenta con una plataforma para el apoyo del envase a ser llenado en caso sea necesario. Se coloca a una altura de 30cm desde el caño inferior para proporcionar suficiente espacio para colocar una olla o jarra. De esta manera, el usuario no permanece agachado con la espalda doblada cargando el peso del contenedor que llena. Al momento de recoger este recipiente, el usuario llenará un máximo de 4 lt de agua en una olla una vez al día, y 2lt hasta 3 veces al día. Si bien lo ideal sería que el usuario no deba recoger peso alguno, resulta una mejor manera de recolectar el agua al ser un movimiento de poca duración, ya que elevar la altura de todo el filtro, elevando así el centro de gravedad y volviéndolo propenso a caídas. Como indicado en la Guía de seguridad y salud en el trabajo por el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, el objeto deberá ser recogido con la flexión de las piernas, el tronco puede inclinarse, mas no curvarse. Del mismo modo, el peso máximo a levantar de esta manera deberá ser de 12,5 kg. Nuestro usuario tan solo levantará un máximo de 4 kg por vez.

**Figura 51.**

*Vista antropométrica 2 - Apertura de caño inferior*



### **4.3 Resultados estético emocionales**

El filtro doméstico será colocado en el patio del hogar de cada familia. Los patios de las casas del poblado de Chillaco demostraron ser el perfecto espacio ya que cuentan con una conexión directa a las cocinas y son un área muy integrada a las actividades domésticas diarias. Además, el patio es un lugar ventilado y con sol, el cual proporciona un ambiente ideal para el crecimiento de la totora.

**Figura 52.**

*Fotomontaje de Taifa en contexto, Casa de la Sra Nilda*



**Figura 53.**

*Fotomontaje de Taifa en contexto, Casa del Sr Giovanni*



Las imágenes (Figura 52 y 53) fueron enviadas a los pobladores en la última validación y su opinión sobre el producto resultó positiva. Los 5 pobladores afirmaron que sí lo utilizarían. La Sra. Sonia reafirmó que le parece una propuesta interesante y estaría dispuesta a utilizarla, además la Srta. Karina, agregó que “parece un adorno, en sí, un macetero” puesto que “se acopla a la casa” por lo que no es un elemento intrusivo visualmente.

## **4.4 Resultados socio ambientales**

### **4.4.1 Producción**

Se propone que la producción del filtro Taifa se realice en comunidad dado su diseño de baja tecnología y de fácil replicabilidad con materiales de fácil acceso para permitir la autofabricación, y permitir la accesibilidad económica del producto. Es decir, que se realice por varios miembros del poblado o de la comunidad al mismo tiempo. De esta manera se abaratan los costos. El orden de producción será iniciar por realizar las compras que sean necesarias a los proveedores internacionales como la rejilla de mantenimiento (Figura 45), seguido de mandar a realizar las piezas necesarias como la estructura metálica y el filtro cerámico (Anexo G y Anexo H), accesibles en lugares cercanos al Valle de Lurín. Estas piezas se realizan por terceros ya que requieren maquinaria que no es doméstica como soldadoras, roladoras y hornos de cerámica. Sin embargo, estos son accesibles en ferreterías cercanas o en talleres de cerámica en la ciudad cuya conexión se realizará a través de la ONG (mencionado más adelante en el plan de negocio, Figura 55). Luego comprar los componentes faltantes para finalizar con la recolección de los materiales locales.

Este proyecto se ha basado en la auto fabricación. Es por esto que se ha creado un manual de fabricación y usuario que permite una adecuada replicabilidad. Su producción y armado es sencilla y se realizará siguiendo las instrucciones del manual (Anexo F). Los materiales para la producción del filtro completo son los siguiente:

**Tabla 8.***Lista de materiales por comprar.*

Proveedor	Parte	Material o servicio	Cantidad necesaria por filtro	Precio por 50u en S/	Precio final por filtro
Comprado por el usuario	Estructura metálica	Barras de Acero ½ pulgada	12 m	3,025.30	60.50
Comprado por el usuario	Estructura metálica	Plancha de acero LAF de 1.5mm	52 x 20 cm	316.00	6.32
Comprado por el usuario	Estructura metálica	Regatones ½ pulgada	8	490.00	9.80
Comprado por el usuario	Estructura metálica	Servicio de soldadura y acabado	1	3,000.00	60.00
Comprado por el usuario	Rejilla de mantenimiento	Rejilla de mantenimiento Diámetro: 28.8cm Alto: 30cm Material: acero inox. 316 Diámetro de alambre: 1mm Apertura: 4 mm	1	3,363.50	67.27
Comprado por el usuario	Balde Chichero	Balde chichero de 20 lt marca Basa	2	1100.00	44.00
Comprado por el usuario		Bolsa plástica de 50lt (para guardar los baldes limpios mientras no se instale aun el filtro)	2	30.00	1.20
			<b>TOTAL</b>	<b>11,324.80</b>	<b>249.09</b>

**Tabla 9.***Lista de materiales por recolectar.*

Proveedor	Parte	Material o servicio	Cantidad necesaria por filtro
Recolectado localmente	Filtro superior	Totora	2
Recolectado localmente	Filtro inferior	Grava	3kg
Recolectado localmente	Filtro inferior	Arena Gruesa	4kg

**Tabla 10.**

*Lista de materiales proveídos por la ONG.*

<b>Proveedor</b>	<b>Parte</b>	<b>Material o servicio</b>	<b>Cantidad necesaria por filtro</b>
Gestionado por la ONG	Filtro cerámico	Arcilla porter	2kg
Gestionado por la ONG	Filtro cerámico	Aserrín	2kg
Gestionado por la ONG	Filtro cerámico	Mano de obra	1
Gestionado por la ONG	Filtro cerámico	Servicio de horneado	1

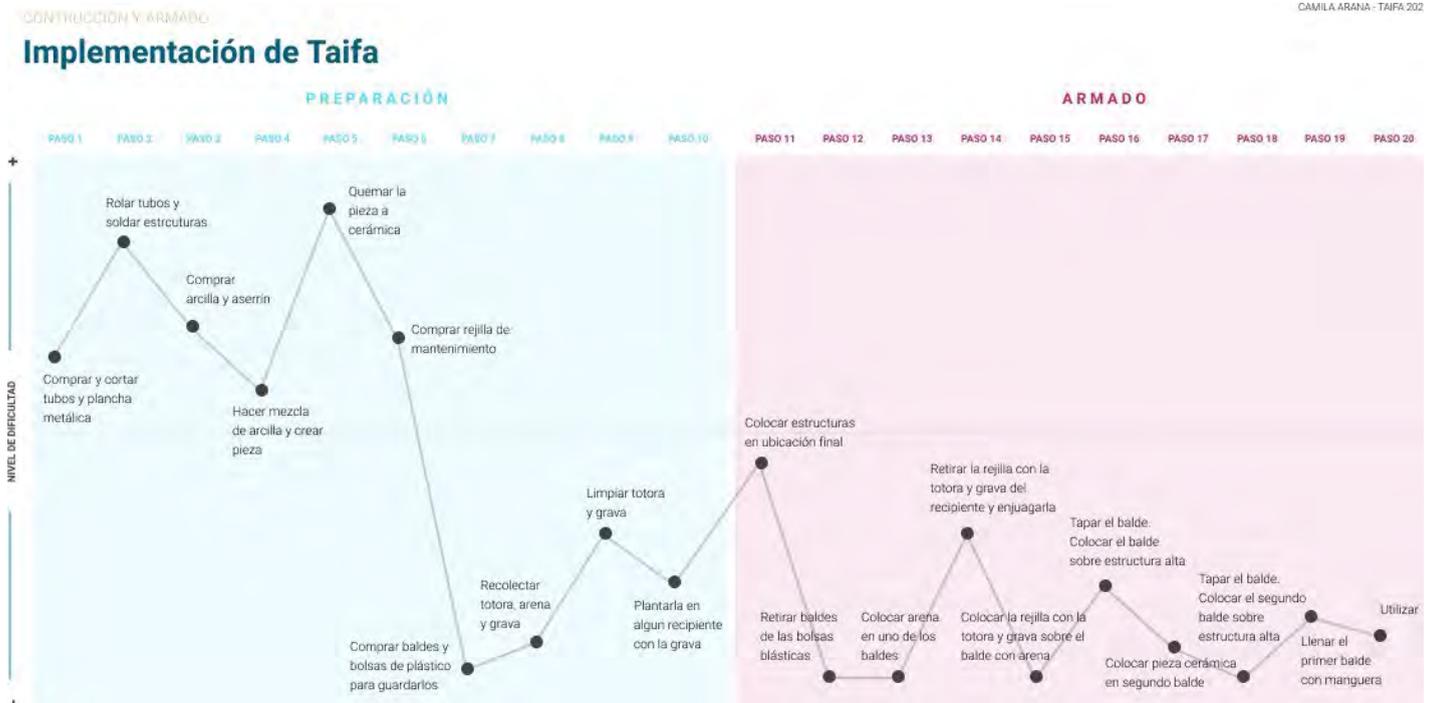
El ensamble final del biofiltro se aprecia en un plano de ensamble (Anexo I). El Manual de construcción y mantenimiento (Anexo J) indica la manera en que deberá suceder la recolección de los materiales señalados en la Tabla 11. La totora deberá ser extraída de aproximadamente 50cm a 1m de altura, desde la raíz, jalándole suavemente desde el tallo en mociones circulares y hacia arriba. Luego se lleva a casa y enjuaga para eliminar cualquier residuo de barro, tierra o polvo, tanto de las raíces como de las hojas. Sobre la grava recogida, las piedras deberán tener un máximo de 1cm de diámetro.

La rejilla de mantenimiento deberá ser encargada a terceros. Proveedores internacionales ofrecen soluciones económicas para la manufactura de estos productos especialmente para compras al por mayor. Esta rejilla deberá estar hecha de acero inoxidable 316, tener un diámetro de 28.8cm y alto de 30cm. El diámetro del alambre deberá ser de 1 mm y la apertura entre alambres no mayor a 4 mm.

El filtro cerámico que proveerá la ONG deberá ser gestionado junto a un o una ceramista con experiencia en el tema. Deberá estar hecho de hecho de arcilla porter y aserrín y con 2 asas para su retiro. La ONG deberá también encargarse de la distribución del producto hacia los pobladores.

Figura 54.

Esquema de producción del filtro Taifa



#### 4.4.2 Mantenimiento

El filtro Taifa cuenta con 4 elementos a los que se les debe hacer limpieza como mantenimiento: la totora, la arena, la grava, y el filtro cerámico. La limpieza de las partes se hace cada dos meses y el reemplazo de la cerámica cada 2 años.

Para realizar el mantenimiento de la totora, se deberán podar las puntas cada dos meses realizando un corte en diagonal a las hojas cuando éstas midan más de 80 cm, a 15 cm de la punta. Es importante desechar este retazo a la basura y no utilizarlo para otros fines. La grava y la arena deberán ser lavados cada dos meses. Será necesario utilizar una manguera y agua a presión. Se retira la rejilla de mantenimiento del balde y con la manguera y agua a presión se debe enjuagar por todos los lados, no será necesario retirar la totora ni las gravas de la rejilla. Para la limpieza de la arena se recomienda enjuagar en un balde limpio con agua limpia.

Finalmente, para la limpieza del filtro cerámico, se deberá retirar jalando de las asas del filtro. Al tenerlo afuera, con una esponja nueva se limpiará la restregando suavemente con la misma agua filtrada por el filtro, sin utilizar jabones, lejías u otros químicos. Con los años, el filtro cerámico se saturará. Es recomendable reemplazar esta pieza por una nueva cada dos años (Anexo G).

#### **4.4.3 Plan de negocios**

Para la implementación del filtro Taifa en la comunidad de Chillaco, se plantea un plan de negocios que involucra a la ONG EcoHumanita que trabaja con el pueblo local. Esto permite dos cosas principales: abaratar costos de producción para el poblador, y gestionar la ayuda de terceros para la construcción del filtro, como lo sería un soldador y un ceramista.

Con lo último en cuenta, cabe destacar que la ONG cuenta con ceramistas aliados que facilitan el trabajo con ellos. Esto quiere decir que la financiación de todo lo que involucre la cerámica, talles y quema, estaría cubierto económicamente por ellos. Asimismo, deberán luego transferir esta información al poblado para que puedan ellos a futuro gestionar la producción de nuevos filtros cuando sea necesario (aproximadamente 2 años después). Se planteó además que la ONG sea quienes faciliten la información a la población, con la entrega de manuales de construcción.

La implementación de Taifa está planeada en 4 pasos, por 3 perfiles diferentes: La ONG, el usuario individual, y la comunidad:

1. El primer paso comienza con la ONG entregando a la comunidad el Manual de construcción, uso y mantenimiento, y los planos. Por otro lado, cada usuario deberá contar con un balde grande de 20 lt o algún recipiente de tamaño aproximado, limpio. En paralelo, la comunidad como grupo podrá ir realizando la compra al proveedor que venda las rejillas de mantenimiento. Comprarlos al por mayor abarata costos.
2. El segundo paso es donde comienza la producción. La ONG deberá ponerse en contacto con su ceramista y comenzar la producción de las piezas cerámicas. Asimismo, los pobladores deberán recolectar los materiales filtrantes: estos son la totora, la grava y la arena. Como comunidad, deberán adquirir los materiales para las estructuras metálicas y mandar a fabricarlas a algún taller de metales.
3. Como tercer paso, cada usuario deberá lavar las totoras recolectadas, y plantarlas en la rejilla dentro del recipiente. Luego se procede a esperar un mes a que la totora se adapte y crezca. También deberán lavar la grava y la arena. Como comunidad se

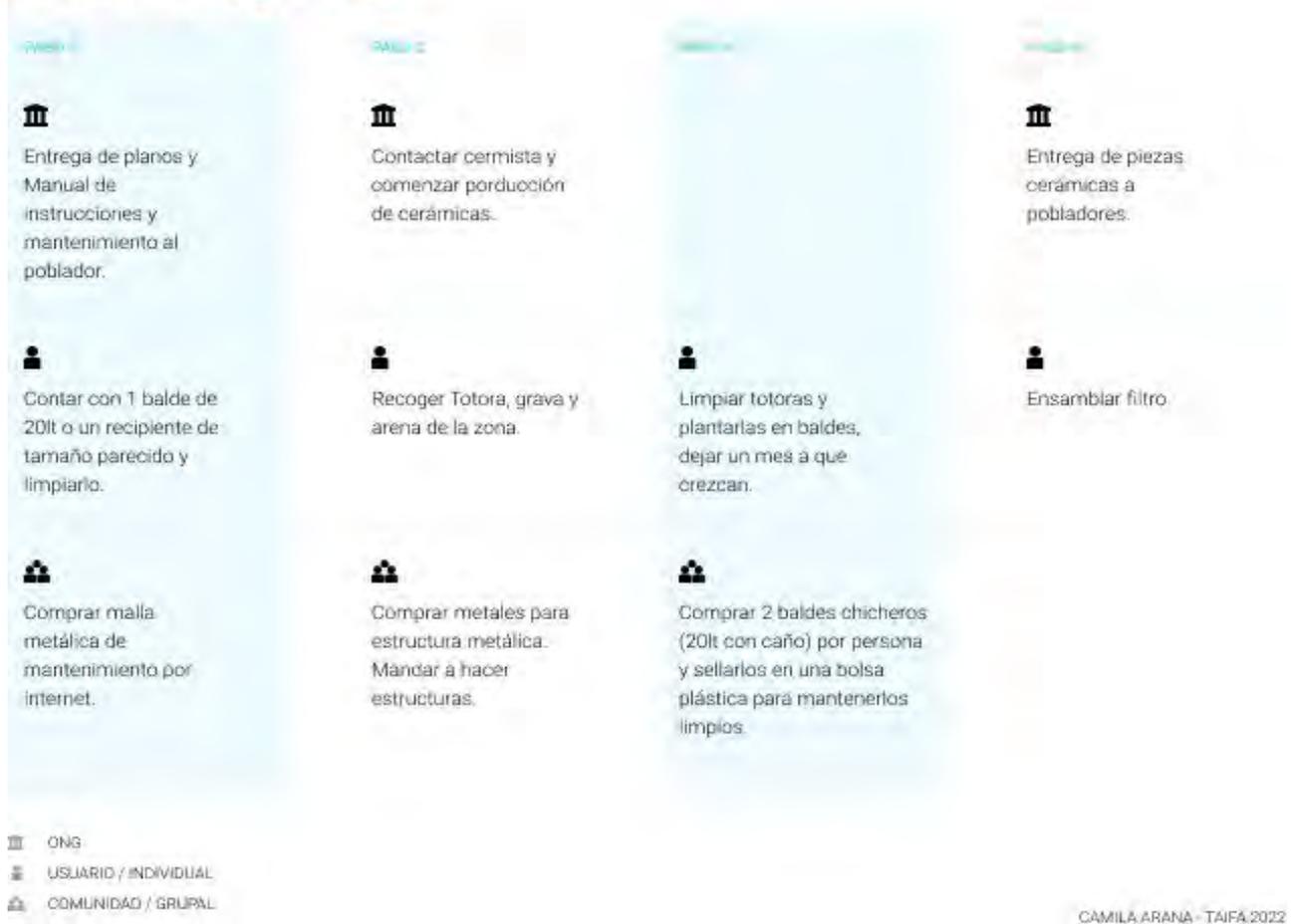
comprarán dos baldes de 20 lt con caño y tapa (de preferencia las tapas con doble tapa central) por persona. Así como dos bolsas plásticas donde quepan estos baldes, para mantenerlos limpios hasta su uso.

- Finalmente, en el paso 4, la ONG realizará la entrega de las piezas cerámicas a la población, y cada poblador podrá comenzar con el ensamble y uso del filtro.

**Figura 55.**

*Esquema del Plan de negocios para la implementación del filtro Taifa*

## Plan de negocios



## Capítulo 5. Discusión

Luego del estudio, las propuestas y validaciones realizadas, se comprobó teóricamente que la totora tiene capacidades de absorción y que las 24 horas que el agua permanece en reposo junto a ella en el diseño del biofiltro Taifa, son las suficientes para absorber los metales contaminantes como el mercurio y el plomo en el agua del río del Valle de Lurín. El llenado de Taifa será tan solo una vez al día, y esto proporcionará una constante fuente de agua potable a partir de las 24 primeras horas, en lugar de tener que hervir agua cada vez que necesitan hidratarse. Lo que resulta en un mayor riesgo a la salud, gasto físico, de tiempo y económico ya que el usuario promedio pasará de invertir aproximadamente S/ 1,062.34 anuales en gas, a S/ 249.09 soles en la implementación del filtro Taifa junto a la ONG. La implementación de Taifa contribuiría a la disminución de la cantidad de personas sin un suministro de agua potable, 7 millones de ellas en el Perú, y aportaría en el número 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la OMS: Agua limpia y saneamiento. Por otro lado, colabora con la reducción de enfermedades hídricas causantes de dolores, calambres y problemas en el sistema digestivo.

La totora es un elemento fundamental para la implementación y funcionamiento de Taifa. Como elemento filtrante, ofrece la posibilidad de retención de múltiples metales pesados, lo que multiplica su utilidad a diferentes contextos vulnerables a la contaminación de relaves mineros. Su capacidad de fitorremediación comprobó ser una solución asequible y contextual para la reducción y eliminación de los elementos contaminantes planteados. Además, la totora demostró ser un elemento adaptable a diferentes ambientes, variables en clima, humedad, temperatura, altura sobre el nivel del mar, etc., lo que secunda lo mencionado previamente. Su extracción y reproducción es notoriamente sencilla, realizada para este estudio y con la elaboración de un manual para el usuario final, demuestra la facilidad de autogestión por parte del usuario para manipularla exitosamente.

La grava y arena proporciona un filtrado de bacterias y elementos como el polvo y la tierra, muy presente en la localidad, ya que estos son dos materiales que actualmente funcionan en otros filtros. También se concluye que para una mejor ejecución de la pieza de cerámica y del producto entero, esta parte se debe tercerizar. Resulta mejor optar por esto ya que desarrollar las habilidades y conocimientos necesarios para la creación de arcillas y cerámicas involucra un proyecto mayor, así como la exploración de posibles canteras en la zona que permitan utilizar el material local. Resulta más factible utilizar arcillas en el mercado nacional ya que, de igual manera, son de fácil y rápido acceso. De la misma

manera, contar con un ceramista profesional primero introducido por la ONG con la que se trabaja, para luego establecer una relación directa con él o ella y no depender de la ONG cuando deba reemplazar la pieza. Este traslado de información permitirá al usuario gestionar su propio filtro a futuro.

Que el usuario pueda gestionar su propio filtro es un requerimiento del diseño primordial ya que la autoproducción es un concepto ya conocido en la comunidad. Sus beneficios, además del ahorro económico, son la posibilidad de crear un vínculo entre el producto y el usuario, volviéndolo un elemento más aceptado en un lugar tan personal como el hogar. Por otro lado, la producción en grupo promueve las actividades y gestión de la comunidad, impulsando habilidades sociales, comunicativas y de organización. El impacto medioambiental del producto es bajo al contar con elementos locales, de fácil acceso y duraderos. Un diseño realizado desde este enfoque logra mejorar la realidad socioeconómica local al permitir el ahorro, la gestión comunitaria y promover la salud.

La decisión de utilizar los Baldes Chicheros de 20 litros, se hizo también por priorizar la accesibilidad económica y el reconocimiento de productos y tipologías que el usuario final ya tiene y reconoce en su contexto y estilo de vida. Además, estos baldes demostraron contar con todos los requerimientos necesarios para su funcionamiento en el biofiltro como la facilidad de adquisición, materiales resistentes, capacidad de almacenar alimentos, etc. Este producto de fácil acceso en el mercado local también permite al usuario mismo gestionar su adquisición, incluso logrando obtener precios más bajos si se compran al por mayor.

A pesar de que se intenta interrumpir los hábitos de los usuarios en la menor manera posible, el uso de Taifa modifica ciertos hábitos en el día a día del usuario. Un nuevo comportamiento que deberá tener es el llenado diario del filtro. Este se realiza tan solo una vez al día tomando alrededor de 30 segundos. Ya que es una pequeña ventana de tiempo, no se toma como un impedimento para su uso. Así mismo, el filtro fue diseñado de manera en que funciona como un bidón de agua, desde el cual puede verterse directamente a una jarra o un vaso. Estos son comportamientos habituales ya en la vida del usuario. De esta manera, solo varía el punto de vertido y no la acción de esta.

El diseño de Taifa tiene un aspecto de integración natural en el ambiente doméstico. A diferencia de los hogares en una ciudad, el contexto en el que se implementa el filtro Taifa tiene un concepto de hogar más integrado con el ambiente y espacios exteriores. Como está demostrado, el patio y el trato con las plantas es parte vital del

desarrollo de la familia y las tareas domésticas de todos los días, es por esto que la implementación de una planta en él, no interrumpe el contexto o el status quo del poblador. Sin embargo, implica compromiso y cuidado extra, principalmente al inicio de su implementación. Es por esto que el manual de construcción e implementación facilitará el proceso.

El impacto medioambiental del producto es bajo al contar con elementos locales, de fácil acceso y duraderos, sin embargo, gran parte del valor del biofiltro Taifa yace en la revalorización de los productos y elementos ya accesibles a nuestros usuarios. Si bien la funcionalidad que se le da a cada elemento y su uso son nuevos, casi todos los elementos ya son del ecosistema del valle, lo que lo vuelve un producto que se integra de la mejor manera en el espacio, genera confianza en el usuario y no rompe con la estética ni el estilo de vida local. Así mismo, se fomenta la exploración de nuevas ideas y tecnologías locales, y la revalorización de elementos con los que se desenvuelve el usuario en su día a día, lo que podría impulsar la innovación y emprendimiento en el valle, abriendo nuevas posibilidades para el desarrollo de la comunidad.

En conclusión, Taifa satisface las necesidades de poblaciones marginadas o desatendidas con un enfoque centrado en la resolución del problema social de la escasez hídrica, “orientado al mejoramiento de la calidad de vida, la equidad social, la humanización de la tecnología y la sostenibilidad ambiental” (Bastidas & Martínez, 2016).

## **Capítulo 6. Conclusiones**

- El biofiltro doméstico Taifa es una solución eficiente, accesible y confiable para el poblador, al minimizar el problema de la contaminación de residuos metálicos en el agua que llega a sus casas y proporcionar al usuario agua limpia y segura para su consumo.
- Taifa permite a los usuarios ahorrar tiempo al pasar de llenar ollas y hervir agua hasta 4 veces al día, a llenar el biofiltro en 30 segundos una vez al día.
- Taifa minimiza los riesgos y peligros de hervir constantemente agua y contar con candelas prendidas por tantas horas del día.

- Taifa proporciona una constante fuente de agua potable a partir de las primeras 24 horas, en lugar de tener que hervir agua cada vez que necesitan hidratarse.
- El filtro doméstico Taifa promueve la revalorización de los elementos naturales locales.
- La recolección de los materiales muestra ser sencilla y con la ayuda de la ONG, la implementación de Taifa es aún más rápida y de menor costo.
- Su mantenimiento es fácil de realizar por el usuario mismo dentro de su ambiente doméstico.
- El ahorro de dinero es un gran factor al implementar el biofiltro. El usuario promedio pasará de invertir aproximadamente S/ 1,062.34 en gas, a S/ 249.09 soles en la implementación del filtro Taifa junto a la ONG.

## Capítulo 7. Limitaciones

El desarrollo de la investigación y propuesta de diseño enfrentaron múltiples limitaciones. La mayor de todas fue la pandemia producto del COVID-19 lo que impuso medidas estrictas de confinamiento y socialización. Esto perjudicó la investigación in situ, ya que no podía acceder presencialmente y ver el contexto, lo que generó demoras y procesos más largos. Sin embargo, esto permitió desarrollar otros métodos que permitieron investigar y sacar conclusiones adecuadamente. Por otro lado, las pruebas del crecimiento y adaptación de la totora tuvieron que realizarse en un ambiente doméstico en la ciudad de Lima, en lugar de Chillaco, cuyo clima es muy diferente, y podría diferir del ambiente real. Además, sería ideal la utilización de materiales locales en su totalidad, sin embargo la posibilidad de extraer arcilla de la zona requeriría mucha mayor investigación de la tierra local ya que Chillaco no cuenta con el tipo de arcilla necesaria para la producción cerámica, y la producción de la rejilla de mantenimiento aumentaría los costos, por lo cual se propone tercerizar. Se tuvo la limitación de las pruebas de laboratorio de la calidad de agua del río Lurín ya que debido al contexto mundial y las limitaciones de movilidad y servicios, la gestión de la realización de pruebas fue aplazado por muchos meses mientras que este estudio seguía avanzando. Sólo pudo realizarse el estudio teórico basado en resultados oficiales de años anteriores. El no poder realizar una prueba de laboratorio para tener evidencia de primera mano obligó a confiar en los estudios realizados por la ANA (autoridad Nacional del Agua) de agentes contaminantes presentes y la calidad general del agua del

río realizadas hace más de 5 años, sin embargo, idealmente, se tendrían análisis para conocer exactamente los componentes antes y después de potabilizarla con el filtro. Finalmente, la limitación de la falta de validación del diseño final y uso del filtro Taifa, se dio dado a que no se realizó el prototipo funcional y que no se cuenta con un análisis actualizado del nivel de contaminación del agua, tanto de antes como después de haber pasado por el filtro.

## **Capítulo 8. Trabajo a futuro**

Como trabajo a futuro, sería ideal contar con pruebas de laboratorio de la calidad de agua del Río Lurín actual. Además, la construcción del filtro en un prototipo funcional para poder implementarlo y medir la calidad de agua antes y después de su uso. Así mismo, entablar una relación sólida y aterrizar el plan de negocio junto a la ONG Ecohumanita, quienes ya tienen experiencia con el poblado, facilita el proceso de implementación a futuro. Asimismo, una vez implementado, sería una buena métrica de éxito realizar la medición de cuántos pobladores presentaban problemas estomacales e intoxicaciones antes de la implementación del biofiltro Taifa, y cuántos lo hacen un año después de su uso diario.

## Referencias Bibliográficas

Agarwal, M., Singh, K., & Renu. (2016). Heavy metal removal from wastewater using various adsorbents: a review.

AJ+ Español. (2019, Febrero 10). *Un refrigerador sin electricidad* [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=nKg17yLy40Y>

AJ+ Español. (2019, Mayo 5). *Refrigerador 100% ecológico* [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=QruDcDgAZHo>

American Psychological Association. (2020). *APA Style*. APA Style. <https://apastyle.apa.org/>

ANA. (n.d.). *¿Qué es el derecho al agua? | Drupal*. Autoridad Nacional del Agua - ANA. Retrieved November 10, 2022, from <https://www.ana.gob.pe/contenido/que-es-el-derecho-al-agua>

Andina, Agencia Peruana de Noticias. (2020, Diciembre 5). *Diseñan prototipo de refrigeradora artesanal que funciona sin electricidad*. ANDINA. <https://andina.pe/agencia/noticia-disenan-prototipo-refrigeradora-artesanal-funciona-sin-electricidad-824057.aspx>

Annan, E., Kan-Dapaah, K., Azeko, S. T., Mustapha, K., Asare, J., Zebaze Kana, M. G., & Soboyejo, W. (2016). Clay Mixtures and the Mechanical Properties of Microporous and Nanoporous Ceramic Water Filters. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(10). ASCE. 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001596

Annan, E., Mustapha, K., Odusanya, O. S., Malatesta, K., & Soboyejo, W. O. (2014). Statistics of Flow and the Scaling of Ceramic Water Filters. *Journal of Environmental Engineering*, 140(11). ASCE. 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000862

Antolín Hernández, M., Sanz Rodríguez, L., & Mancebo Piqueras, J. (2019). Tratamiento de bajo coste para aguas contaminadas por actividades de minería. *Universidad Politécnica de Madrid*.

Aquafondo. (2020). *Las cuencas de Lurín, Rímac y Chillón, fuentes de agua para Lima y Callao*. Aquafondo. [https://aquafondo.org.pe/wp-content/uploads/2015/11/2.\\_Las\\_Cuencas\\_de\\_Lima\\_-\\_Chillon\\_Rimac\\_y\\_Lurin.pdf](https://aquafondo.org.pe/wp-content/uploads/2015/11/2._Las_Cuencas_de_Lima_-_Chillon_Rimac_y_Lurin.pdf)

Ashok, K., Behera, S. K., Rao, S. A., Weng, H., & Yamagata, T. (2007, Noviembre 8). El Niño o Modoki and its possible teleconnection. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 112.

Asociación para el desarrollo sustentable (ADESU) & Proyecto especial Lago Titicaca (PELT). (2001). *Técnicas de reimplante de Totora*. Autoridad Binacional del Lago Titicaca. [http://www.alt-perubolivia.org/Web\\_Bio/PROYECTO/Docum\\_bolivia/21.03%20VOL1.pdf](http://www.alt-perubolivia.org/Web_Bio/PROYECTO/Docum_bolivia/21.03%20VOL1.pdf)

Autoridad Binacional del Lago Titicaca. (2011). *Programa de capacitación sobre el manejo de la totora*. ALT. [http://www.alt-perubolivia.org/Web\\_Bio/PROYECTO/Docum\\_bolivia/21.03%20manual.pdf](http://www.alt-perubolivia.org/Web_Bio/PROYECTO/Docum_bolivia/21.03%20manual.pdf)

Autoridad Nacional del Agua. (2013, Diciembre). *Monitoreo de la calidad de agua superficial de la cuenca del Río Lurín*. Repositorio Digital de Recursos Hídricos. <file:///C:/Users/camil/Downloads/ANA0001659.pdf>

Bastidas, A., & Martínez, H. R. (2016, Diciembre). Diseño social: Tendencias, enfoques y campos de acción. *Arquetipo*, 13, 89 - 113.

Bedolla Pereda, D. (2019, enero 15). Emociones para un diseño en favor del contexto social. *Dossier*, 19. DOI: 10.22201/fa.2007252Xp.2019.19.69872

Bernable, S. (2020). *Video sobre consumo de agua* [Respuesta sobre el consumo de agua en Chillaco, filmado por Claudia Cardenal]. Chillaco, Antioquía, Lima.

Bonanno, G., & Cirelli, G. L. (2017, Mayo 11). Comparative analysis of element concentrations and translocation in three wetland congener plants: *Typha domingensis*, *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*. *Exotoxicology and Environmental Safety*, (143), 92-101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.05.021>

Buchanan, R. (2019, Agosto 22). Human Dignity and Human Rights: Thoughts on the Principles of Human-Centered Design. *The MIT Press*, 17(3), 35-39. JSTOR.

Carranza-Álvarez, C., Alonso-Castro, A. J., Alfaro-De La Torre, M. C., & García-De La Cruz, R. F. (2007, Noviembre 20). Accumulation and Distribution of Heavy Metals in *Scirpus americanus* and *Typha latifolia* from an Artificial Lagoon in San Luis Potosí, México. *Springer Science*. 10.1007/s11270-007-9545-3

Cedeño Pincay, J. A. (2018). *Diseño de filtros Grava-Arena-Carbón para el tratamiento de aguas lluvias almacenadas en cisternas de viviendas unifamiliar en zonas Rurales de Jipijapa*. Repositorio Digital UNESUM. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1203>

Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades. (2021, Mayo 2). Boletín Epidemiológico del Perú 2021. 30(18). [https://www.dge.gob.pe/epipublic/uploads/boletin/boletin\\_202118.pdf](https://www.dge.gob.pe/epipublic/uploads/boletin/boletin_202118.pdf)

Cordova Rampant, A. (2019, Febrero 19). *Perú: afectados por contaminación de metales pesados en su sangre exigen atención del Estado*. France 24. <https://www.france24.com/es/20190215-peru-metales-sangre-comunidades-Glencore>

Cuadrado, W., Custodio, M., Espinoza, C., Vicuña, C., & Uribe, M. (2019, Marzo 4). Capacity of Absorption and Removal of Heavy Metals from *Scirpus californicus* and Its Potential Use in the Remediation of Polluted Aquatic Environment. *Open Journal of Marine Science*, 9, 74-85. Scientific Research Journal. 10.4236/ojms.2019.92006

Cuandovisitar. (n.d.). *Clima Chillaco Grande - Temperatura*. Cuandovisitar.com.bo. Retrieved August, 2022, from <https://www.cuandovisitar.com.bo/peru/chillaco-grande-2976415/>

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas. (2014). Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005-2015. [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml)

Design Council. (2005). *A Study of the Design Process*.

Dielh, J., Van Leeuwen, G., & Daalhuizen, J. (2007). *Base of the pyramid*. Delf University of Technology.

Diez Canseco, M. (2020, Julio). *Entrevista a la experta Diez Canseco, Diseñadora Industrial*.

DIGESA. (2011, Febrero). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. *Dirección General de Salud Ambiental*. [http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/Reglamento\\_Calidad\\_Agua%20D.S%20N%C2%B0031-2010-SA.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Reglamento_Calidad_Agua%20D.S%20N%C2%B0031-2010-SA.pdf)

EcoCentury. (2016, Septiembre 2). *Consejos de mantenimiento y limpieza de un pozo séptico*. EcoCentury Soluciones Ambientales. <http://www.ecocentury.pe/blog/mantenimiento-limpieza-pozo-septico/>

Ecofiltro. (2020, Abril). *Ecofiltro ¿Cómo funciona?* Ecofiltro. <https://www.ecofiltro.hn/como-funciona/>

EcoHumanita. (2018). *Diagnóstico Participativo y Plan de Desarrollo*. Suiza.

EcoHumanita. (2019). Comunidad de Chillaco-Distrito de Antioquía- Provincia de Huarochirí (Lima-Perú): Diagnóstico participativo y plan de desarrollo (2018-2023).

ECURed. (2022). *Typha*. EcuRed. <https://www.ecured.cu/Typha>

Eduardo, A. (2021, Junio 17). *Entrevista a Ingeniera Ambiental* [Videollamada]. Lima, Perú.

Eduardo Pareja, A. D. C. (2021, Junio 17). *Entrevista a Alicia Eduardo* [Entrevista a la Ingeniera Eduardo, Master In Science - MS, Water, Sanitation and Health Engineering en la Universidad de Leeds] [Videollamada]. Lima, Perú.

El Comercio. (2017, Agosto 28). *El uso inadecuado de pesticidas amenaza con contaminar las aguas, según informe Este contenido ha sido publicado originalmente por Diario EL COMERCIO en la siguiente dirección:*

<https://www.elcomercio.com/tendencias/pesticidas-informe-contaminacion-agua-qu>. El Comercio.

<https://www.elcomercio.com/tendencias/pesticidas-informe-contaminacion-agua-quimicos.html>

ESAN. (2019, Agosto 28). *Minería informal: ¿cuál es su situación actual en el Perú?*

Conexión ESAN. <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2019/08/mineria-informal-cual-es-su-situacion-actual-en-el-peru/>

Felipe-Moreno, C. (2020, Junio). *Entrevista a la experta Ing. Felipe-Moreno, Ingeniera Agrónoma*.

Genetic and Rare Diseases Information Center. (2017, Abril 28). *Heavy metal poisoning*.

U.S. Department of Health & Human Services.

<https://rarediseases.info.nih.gov/diseases/6577/heavy-metal-poisoning>

Gibbons, S. (2016, Julio 31). *Design Thinking 101*. NN Group.

<https://www.nngroup.com/articles/design-thinking/>

Global Water Partnership South América. (2004). Agua para el siglo XXI para América del Sur. <https://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23355/InPe00404.pdf>

Gobierno Regional de Lima. (2018). *Plan Regional de Saneamiento*.

<http://direccionsaneamiento.vivienda.gob.pe/Planes%20Regionales%20de%20Saneamiento/PRS%20Lima.pdf>

González Toro, C. (2020). *El peligro de un sistema séptico en mal funcionamiento*. <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-229/sistemaseptico.pdf>

Gutierrez Saez, T. L. (2020, Abril). *Intercambio de información virtual* [Correo electrónico]. Lima, Perú.

INEI. (2017). *Instituto nacional de estadística e informática*. Población y vivienda. <https://www.inei.gov.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>

INEI. (2020, Junio). *Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico*. INEI. [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_agua\\_junio2020.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf)

INEI - Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_agua\\_junio2020.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf)

Info Inundaciones. (2015). *Huaicos: ¿Por qué se producen?* Noticias. <https://infoinundaciones.com/noticias/huaicos-por-que-se-producen>

INGEMMET. (2014). *Reporte de zonas críticas por peligros geológicos en la cuenca del Río Chillón*. Repositorio Institucional INGEMMET. [https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/1506/1/A6647-Reporte\\_zonas\\_criticas\\_cuenca\\_Lurin-Lima.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/1506/1/A6647-Reporte_zonas_criticas_cuenca_Lurin-Lima.pdf)

INGEMMET. (2014). *Zonas críticas por peligros geológicos en la región Lima - Primer reporte*. Repositorio Institucional INGEMMET. [https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2018/1/2014-Zonas\\_cr%C3%A9ticas\\_peligros\\_geol%C3%B3gicos\\_Lima.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2018/1/2014-Zonas_cr%C3%A9ticas_peligros_geol%C3%B3gicos_Lima.pdf)

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET. (2019). *Actividad minera artesanal en la región Lima* (Vol. Boletín Serie E: Minería N°14). Lima, Lima, Perú. <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/rimac/rimac5.pdf>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Características de la población*. (Capítulo 1). [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1539/cap01.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/cap01.pdf)

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2002, Marzo). *Informe Técnico* (001) [Las Proyecciones de Población revelan que hay 13 millones 294 Mil Mujeres en el Perú]. Perú. <https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/4348.pdf>

Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI. (2020, Enero 17). La población de Lima supera los nueve millones y medio de habitantes. *INEI, Nota de prensa*. <http://m.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/noticias/notadeprensa006.pdf>

Instituto Nacional de Salud, Cayetano Terrel, P., & Romaní Romaní, F. (2019). Tecnologías para la recuperación de agua contaminada con metales pesados: Plomo, Cadmio, Mercurio y Arsénico. *Boletín Tecnológico*, (3).

Kumar, S., & Nayara, M. (2012). Meeting Bottom of the Pyramid (BOP) needs by engineering sustainable solutions.

La Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico del Lago Titicaca. (n.d.). *Características físicas de la cuenca*. Características físicas del lago Titicaca. Retrieved 2021, from [http://www.alt-perubolivia.org/web\\_lago/WEB\\_LT/Finales/2\\_carac\\_fisicas/CARAC\\_2.htm](http://www.alt-perubolivia.org/web_lago/WEB_LT/Finales/2_carac_fisicas/CARAC_2.htm)

La República. (2017, Marzo 19). Huaicos: ¿Por qué se producen? *La República*. <https://larepublica.pe/sociedad/857809-huaicos-por-que-se-producen/>

Lesikar, B., Enciso, J., & AgriLife Extension. (n.d.). *Filtro de arena*. [https://www.researchgate.net/profile/Juan-Enciso/publication/26904355\\_On-Site\\_Wastewater\\_Treatment\\_Systems\\_Sand\\_Filters\\_Spanish/links/55f87d2508ae07629dd71005/On-Site-Wastewater-Treatment-Systems-Sand-Filters-Spanish.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juan-Enciso/publication/26904355_On-Site_Wastewater_Treatment_Systems_Sand_Filters_Spanish/links/55f87d2508ae07629dd71005/On-Site-Wastewater-Treatment-Systems-Sand-Filters-Spanish.pdf)

Life ETAD. (2016, Septiembre 1). *Proyecto LIFE ETAD, sobre depuración de aguas con residuos derivados de la actividad minera*.

Lipiec, M. (2019, MARzo 21). *Beyond the Double Diamond: thinking about a better design process model*. <https://uxdesign.cc/beyond-the-double-diamond-thinking-about-a-better-design-process-model-de4fdb902cf>

Lorenzo, M. (2019, Junio 30). *¿Cómo contamina el uso de fertilizantes y pesticidas? OK Diario*. <https://okdiario.com/naturaleza/como-contamina-uso-fertilizantes-pesticidas-4315152>

Lufadeju, Y., & Osseiran, N. (2019). *1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso a agua potable*. UNICEF. <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3-personas-en-el-mundo-no-tiene-acceso-a-agua-potabl>

Manzini, E. (2015). *Cuando Todos Diseñan*. FEDRIGONI.

Margolin, V. (1999). La cultura de mercado consume vorazmente la calidad de vida y del medio ambiente. Para mejorar esta frágil situación es inminente la aplicación de una política de sustentabilidad. *TipoGráfica*, (38), 36 - 40. [https://www.revistatipografica.com/themencode-pdf-viewer-4/?file=https://www.revistatipografica.com/wp-content/uploads/2019/03/tpg\\_38.pdf](https://www.revistatipografica.com/themencode-pdf-viewer-4/?file=https://www.revistatipografica.com/wp-content/uploads/2019/03/tpg_38.pdf)

Margolin, V. (2006, Noviembre). El ciudadano diseñador. *TipoGráfica*, 24 - 25. [https://www.revistatipografica.com/themencode-pdf-viewer-4/?file=https://www.revistatipografica.com/wp-content/uploads/2019/02/tpg\\_73.pdf](https://www.revistatipografica.com/themencode-pdf-viewer-4/?file=https://www.revistatipografica.com/wp-content/uploads/2019/02/tpg_73.pdf)

Margolin, V., & Margolin, S. (2012). Un “modelo social” de diseño: cuestiones de práctica e investigación. *KEPES*, 9, 61-71.

Maslow, A. (1943). *A Theory of Human Motivation*.

Medicus Mundi Mediterrània. (2017, June). #1 ¿Cómo se extrae el oro de forma artesanal? - LA FIEBRE DEL ORO. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Yd284utfwj0>

Melles, G., de Vere, I., & Misic, V. (2011, Noviembre 23). Socially responsible design: thinking beyond the triple bottom line to socially responsive and sustainable product design. *CoDesign: International Journal of CoCreation in Design and the Arts*.

Melo Hormaza, Y., & Universidad Pedagógica Nacional. (2018). *Totora o Enea (Typha domingensis) – SALIDA DE CAMPO III SEMESTRE*. <https://diversidadbiologica1upn.wordpress.com/2018/11/17/typha-domingensis/>

Millán, R., Lominchar, M. A., Rodríguez-Alonso, J., Schmid, T., & Sierra, M. J. (2014, Mayo). Riparian vegetation role in mercury uptake (Valdeazogues River, Almadén, Spain). *Journal of Geochemical Exploration*, 140, 104-110. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.02.021>

MINEM, Ministerio de Energía y Minas. (2020, Agosto). *Perú, Principales unidades mineras en producción*. Ministerio de Energía y Minas. [http://www.minem.gob.pe/\\_publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=592](http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=592)

Ministerio de Energía y Minas. (n.d.). FUENTES DE CONTAMINACIÓN PROVENIENTE DE LAS UNIDADES MINERAS. *Ministerio de Energía y Minas*. <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/mosna/MOSNA7.pdf>

Ministerio de Energía y Minas. (n.d.). Guía Ambiental de Manejo de Agua en Operaciones Minero-Metalúrgicas.

Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2018). Guía de seguridad y salud en el trabajo para estibadores terrestres y transportistas manuales. [http://www.trabajo.gob.pe/archivos/file/CNSST/GUIA\\_DE%20\\_TIBADORES%20FINAL.pdf](http://www.trabajo.gob.pe/archivos/file/CNSST/GUIA_DE%20_TIBADORES%20FINAL.pdf)

Ministerio del Ambiente. (2016). Aprende a prevenir los efectos del mercurio. *Minería Responsable*, (04). <http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-4.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-4.pdf>

Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social. (2021). *Consumo y Bienestar Social - Consumo - Recomendaciones de consumo de crustáceos para reducir la exposición de cadmio*. Ministerio de Sanidad. <https://www.msbs.gob.es/consumo/pec/recomendacion/crustaceosCd.htm>

Ministerio de Trabajo y Promoción de Empleo. (2015, Enero). *Guía Básica de Autodiagnóstico en Ergonomía para Oficinas*. Lima, Perú. [https://www.trabajo.gob.pe/archivos/file/SST/INTERES/guia\\_autodiagnostico\\_oficinas\\_virtual.pdf](https://www.trabajo.gob.pe/archivos/file/SST/INTERES/guia_autodiagnostico_oficinas_virtual.pdf)

Monisha, J., Tenzin, T., Naresh, A., Blessy B., M., & Krishnamurthy N., B. (2014, Noviembre 15). *Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals*. National Center for Biotechnology Information. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4427717/>

Municipalidad de Miraflores. (2021, Febrero 20). *Un crimen recurrente: la falta de agua potable*. Municipalidad de Miraflores. <https://www.miraflores.gob.pe/un-crimen-recurrente-la-falta-de-agua-potable/>

Naciones Unidas. (2014, Febrero 7). Decenio Internacional para la acción "El agua fuente de vida" 2005-2015. [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml#:~:text=El%20de%20julio%20de,de%20todos%20los%20derechos%20humanos.](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml#:~:text=El%20de%20julio%20de,de%20todos%20los%20derechos%20humanos.)

National Geographic. (2019, Marzo 21). *Así afecta el cambio climático al agua del planeta*. National Geographic España. [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/asi-afecta-el-cambio-climatico-al-agua-del-planeta\\_9947/6](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/asi-afecta-el-cambio-climatico-al-agua-del-planeta_9947/6)

Naupari, M. (2018, Noviembre 21). *Tifoidea, diarrea y hepatitis: Los males que provoca la falta de acceso al alcantarillado*. Vital - RPP Noticias.

<https://rpp.pe/vital/salud/tifoidea-diarrea-y-hepatitis-los-males-que-provoca-la-falta-de-acceso-al-alcantarillado-noticia-1164175>

Nigay, P. M., Salifu, A. A., Obayemi, J. D., White, C. E., Nzihou, A., & Soboyejo, W. O. (2017, July). Assessment of Ceramic Water Filters for the Removal of Bacterial, Chemical, and Viral Contaminants. *Journal of Environmental Engineering*, 146(7). ASCE. 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001749

Nigay, P. M., Salifu, A. A., Obayemi, J. D., White, C. E., Nzihou, A., & Soboyejo, W. O. (2019, Octubre). Ceramic Water Filters for the Removal of Bacterial, Chemical, and Viral Contaminants. *Journal of Environmental Engineering*, 145(10). ASCE. 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001579

NIH Office of Dietary Supplements. (2019, December 17). *Cobre - Datos en español*. NIH Office of Dietary Supplements. <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Copper-DatosEnEspañol/>

NN Group. (2020, Junio 5). *The Changing Role of the Designer: Practical Human-Centered Design*. Youtube. [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=96&v=QewRjNfG1-8&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=96&v=QewRjNfG1-8&feature=emb_logo)

Norman, D. (2003). *Emotional Design*.

OMS. (2021, October 11). *Intoxicación por plomo*. WHO | World Health Organization. Retrieved December 9, 2021, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. 17 objetivos para transformar nuestro mundo. Retrieved 2020, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

Organización Mundial de la Salud. (2017). *Agua, saneamiento e higiene*. Organización Mundial de la Salud. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/coverage/jmp-update-2017-graphics/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/coverage/jmp-update-2017-graphics/es/)

Organización Mundial de la Salud. (2017, Febrero). *Enfermedades transmitidas por el agua*. Agua, saneamiento e higiene. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases-risks/diseases/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/es/)

Organización Mundial de la Salud. (2018, Mayo 24). *Las 10 principales causas de defunción*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>

Organización Mundial de la Salud. (2019, Junio 14). *Agua*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Organización Mundial de la Salud. (2019, Junio 14). *Saneamiento*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>

OXFAM. (2020). *Entre 7 y 8 millones de peruanos no tienen acceso a agua potable*. <https://peru.oxfam.org/>

Patrick, L. (2002, Diciembre). Mercury Toxicity and Antioxidants: Part I: Role of Glutathione and alpha-Lipoic Acid in the Treatment of Mercury Toxicity. *Alternative Medicine Review*, 7(6), 456-471. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12495372/>

Perú21. (2017, Enero 27). *Recortes de Sedapal: ¿Cuál es el proceso que sigue el agua para llegar a los hogares?* Perú21. <https://peru21.pe/lima/recortes-sedapal-proceso-sigue-agua-llegar-hogares-63081-noticia/>

Plataforma Integral de Minería. (2014, Enero). *Mercurio | El costo escondido del oro | PIM - Plataforma Integral de Minería a Pequeña Escala*. Plataforma Integral de Minería a Pequeña Escala (PIM). <https://www.plataformaintegraldemineria.org/es/videos/mercurio-el-costo-escondido-del-oro>

Pontificia Universidad Católica del Perú. (2018, Marzo 26). Informe PuntoEdu sobre estrés hídrico en el Perú. [.edu. https://puntoedu.pucp.edu.pe/noticias/informe-puntoedu-sobre-estres-hidrico-en-el-peru/](https://puntoedu.pucp.edu.pe/noticias/informe-puntoedu-sobre-estres-hidrico-en-el-peru/)

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2012). *Guía Práctica, Reducción del uso de mercurio en la minería de oro artesanal y de pequeña escala*. [https://www.unido.org/sites/default/files/files/2017-11/ASGM\\_Spanish.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/files/2017-11/ASGM_Spanish.pdf)

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2010, Agosto). *El enverdecimiento del derecho de aguas: La gestión de los recursos hídricos para los seres humanos y el medio ambiente*. <http://www.pnuma.org/gobernanza/documentos/Greening%20Water%20Law%20Spanish.pdf>

Proyecto Regional Andino Perú-Bolivia. (2021, June). *Dirigentes exponen las problemáticas en la cuenca del río Lurín que serán consideradas para elaborar propuesta de protección del último valle verde de Lima*. PRATEC.

<https://pratec.org/prablog/2021/06/26/dirigentes-exponen-las-problematicas-en-la-cuenca-del-rio-lurin-que-seran-consideradas-para-elaborar-propuesta-de-proteccion-del-ultimo-valle-verde-de-lima/>

Real Academia Española. (2020). *Huaico*. <https://dle.rae.es/huaico>

Rinker, P. (2014, Abril 15). The clay pot cooler – an appropriate cooling technology.

*Movement*

e.V.

[https://web.archive.org/web/20140714185554/http://www.movement-verein.org/downloads/Movement\\_Clay-pot-cooler\\_english.pdf](https://web.archive.org/web/20140714185554/http://www.movement-verein.org/downloads/Movement_Clay-pot-cooler_english.pdf)

Rodríguez Santos, J., Ortiz Ayoví, D., Rodríguez Baquerizo, E., & Santos Baquerizo, E. (2018). Diseño de un filtro potabilizador ecológico para comunidades rurales, utilizando la Moringa Oleifera. *Universidad de Guayaquil*.

Romero Lara, M. J., & Mejillón Salinas, M. M. (2018, Agosto). *Elaboración de un filtro de barro compuesto de arcilla roja, óxido de grafeno y nanopartículas de plata para el tratamiento de aguas de río Chimbo*. Guayaquil, Ecuador.

RPP Noticias. (2018, Marzo 28). *Uno de cada tres peruanos no tiene acceso a agua potable*.

RPP

Noticias.

<https://rpp.pe/politica/estado/una-de-cada-tres-peruanos-no-tienen-acceso-a-agua-potable-noticia-1113333>

RPP Noticias. (2020, Febrero 13). *Consideran al Perú en un nivel medio alto de estrés de agua*.

RPP

Noticias.

<https://rpp.pe/peru/actualidad/consideran-al-peru-en-un-nivel-medio-alto-de-estres-de-agua-noticia-1245508?ref=rpp>

SACYR. (2021, March 1). *PROYECTO-LIFE ETAD*. Sacyr.

<https://www.sacyr.com/-/proyecto-life-etad>

SEDAPAL. (2017). *Informe de Sostenibilidad*.

[https://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=cbed7d82-b861-453d-8331-c036fd207e87&groupId=10154](https://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=cbed7d82-b861-453d-8331-c036fd207e87&groupId=10154)

SEDAPAL. (2020). *SEDAPAL*. Marco Legal. [www.sedapal.com.pe](http://www.sedapal.com.pe)

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (n.d.). *Los Pantanos de Villa*. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. Retrieved 2021, from <https://www.sernanp.gob.pe/los-pantanos-de-villa>

Sevilla Arias, P. (2017). *Pirámide de Maslow*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/piramide-de-maslow.html>

Teles Gomes, M. V., Rodrigues de Souza, R., Silva Teles, V., & Araújo Mendes, É. (2014, Mayo). Phytoremediation of water contaminated with mercury using *Typha domingensis* in constructed wetland. *Chemosphere*, 103, 228-233. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.11.071>

Torres Parra, C. A., & Villanueva Perdomo, S. (2014). *El Filtro de Arena Lento: Manual para el armado, instalación y monitoreo*. Repositorio Institucional Universidad Piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4457/LFAL16.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

UNICEF. (2019, Junio 18). *Para Cada Niño*. 1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso a agua potable. <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3-personas-en-el-mundo-no-tiene-acceso-a-agua-potable>

Wikipedia. (2020, Setiembre 9). *Corrimientos de tierra en Perú*. Wikipedia, la enciclopedia libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Corrimientos\\_de\\_tierra\\_en\\_Per%C3%BA#cite\\_note-5](https://es.wikipedia.org/wiki/Corrimientos_de_tierra_en_Per%C3%BA#cite_note-5)

World Health Organization. (2018, Febrero 15). *Arsénico*. WHO | World Health Organization. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>

World Health Organization. (2020, March 2). *Helminthiasis transmitidas por el suelo*. WHO | World Health Organization. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/soil-transmitted-helminth-infections>

Yakub, I., Plappally, A., Leftwich, M., Malatesta, K., Friedman, K. C., Obwoya, S., Nyongesa, F., Maiga, A. H., ASCE, M., Soboyejo, A. B.O., Logothetis, S., & Soboyejo, W. (2013, Julio). Porosity, Flow, and Filtration Characteristics of Frustum-Shaped Ceramic Water Filters (American Society of Civil Engineers, Ed.). *Journal of Environmental Engineering*, 139(7), 986-994. ASCE. 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870 .0000669

Zabaleta Fernandez, N. (2021, Noviembre 14). *Entrevista a Nilda Zabaleta, pobladora de Chillaco*.

## Anexos

### Anexo A. Resultados del monitoreo de la calidad de la cuenca del Río Lurín, 2013

25

Fecha de monitoreo	DD/MM/AÑO	14/12/2013	12/11/2013	12/11/2013	12/11/2013	12/11/2013	13/12/2013	13/12/2013
Hora de muestreo	hh:mm	12:45	11:05	15:10	16:10	17:12	13:35	11:00
PUNTOS DE MONITOREO PARAMETROS	Código de los puntos de monitoreo	LTurc1	RLur1	RLur2	RLur3	RLur4	RLur5	RLur8
	Categoría ECA-Agua	4-Ríos Costa y Sierra	Cat.3	Cat.3	Cat.3	Cat.3	Cat.3	Cat.3
Bario	mg/L	0.003	0.008	0.017	0.019	0.03	0.042	0.038
Berilio	mg/L	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Bicarbonatos	mg/L	N.A.	35.92	60.09	85.99	84.03	70.1	322.2
Calcio	mg/L	14.51	23.9	31.22	48.9	60.33	58.83	120.23
Cianuro Libre	mg/L	<0.004	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Cianuro WAD	mg/L	N.A.	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
Cloruros	mg/L	N.A.	29.95	28.14	38.7	52.92	65.72	331.8
Litio	mg/L	<0.003	0.074	0.045	0.052	0.043	0.03	0.091
Magnesio	mg/L	0.88	5.46	4.98	7.352	10.162	10.1	15.85
Selenio	mg/L	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Silicatos	mg/L	7.67	23.32	22.59	34.91	35.93	26.39	53.54
Sodio	mg/L	2.11	15.69	16.84	25.66	27.21	40.6	<b>252.95</b>
Sulfatos	mg/L	N.A.	32.89	35.47	76.71	96.53	110.76	91.64
Sulfuros	mg/L	N.A.	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<b>0.109</b>
<b>NUTRIENTES</b>								
Fosfatos	mg P/L	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030	0.181	<b>6.284</b>
Fósforo total	mg P/L	0.024	0.016	0.003	0.01	0.004	0.113	10.528
Nitratos	mg N/L	<0.03	0.135	0.606	0.978	0.401	0.296	0.064
Nitritos	mg N/L	N.A.	<0.003	<0.003	0.005	<0.003	0.01	<0.003
Nitrógeno Kjeldahl total	mg N/L	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	51.44
<b>METALES Y METALOIDES</b>								
Aluminio total	mg/L	0.12	0.03	<0.01	0.01	0.03	0.03	0.16
Antimonio total	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Arsénico total	mg/L	0.003	<0.001	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001
Boro total	mg/L	0.042	0.357	0.301	0.383	0.364	0.375	0.455
Cadmio total	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Cobalto total	mg/L	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	0.0012
Cobre total	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.0014	0.0373
Cromo total	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.0091
Hierro total	mg/L	0.28	0.047	0.012	0.026	0.047	0.022	0.197
Manganeso total	mg/L	0.0537	0.0037	0.0019	0.0053	0.016	0.0258	0.0906
Mercurio total	mg/L	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Níquel total	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.0058
Plata total	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Plomo total	mg/L	<b>0.0012</b>	<0.0004	<0.0004	0.0016	0.0022	0.0024	0.0115
Talio total	mg/L	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003

Anexo B. Informe técnico de resultados del monitoreo de la calidad de agua superficial en la cuenca del Río Lurín 2020-1



"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año de la universalización de la salud"

CUADRO N° 9.2: Resultados de los parámetros de Calidad de Agua en el río Lurín

FECHA DE MONITOREO HORA DEL MONITOREO Código del punto de monitoreo	ECA-Agua Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebidas de Animales		D1: Riego de Vegetales		D2: Bebidas de Animales		07/05/2020		07/05/2020		07/05/2020		07/05/2020	
	Este	Norte	Agua para riego restringido	Agua para riego restringido	Bebidas de Animales	Bebidas de Animales	RLur1	RLur2	RLur3	RLur4	RLur5	RLur6	RLur7	RLur8
Coordenadas UTM WGS 84							347 834	342 068	336 834	323 176	306 656	297 994	293 915	293 324
Parámetros / Informes de Ensayo	Unidad						8 673 893	8 662 180	8 663 061	8 669 448	8 662 379	8 662 748	8 644 703	8 642 906
Plata (Ag)	mg/l		***	***	***	***	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,00008
Aluminio (Al)	mg/l		5	5	5	5	0,081	0,134	0,115	0,059	0,051	0,080	0,052	0,052
Arsénico (As)	mg/l		0,1	0,1	0,2	0,2	0,0148	0,0055	0,0054	0,0050	0,0043	0,0047	0,0038	0,0038
Boro (B)	mg/l		1	1	5	5	0,260	0,207	0,224	0,220	0,225	0,249	0,303	0,303
Bario (Ba)	mg/l		0,7	0,7	**	**	0,0108	0,0118	0,0155	0,0207	0,0270	0,0291	0,0299	0,0299
Berilio (Be)	mg/l		0,1	0,1	0,1	0,1	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Bismuto (Bi)	mg/l		***	***	***	***	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Calcio (Ca)	mg/l		***	***	***	***	41,58	19,59	31,27	34,39	42,50	50,85	71,09	71,09
Cadmio (Cd)	mg/l		0,01	0,01	0,05	0,05	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010
Cobalto (Co)	mg/l		0,05	0,05	1	1	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Cromo (Cr)	mg/l		0,1	0,1	1	1	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007
Cromo VI Hexavalente	mg/l		***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Cobre (Cu)	mg/l		0,2	0,2	0,5	0,5	0,0007	0,0012	0,0009	0,0055	0,0011	0,0017	0,0030	0,0030
Hierro (Fe)	mg/l		5	5	**	**	0,038	0,094	0,078	0,048	0,042	0,071	0,081	0,081
Mercurio (Hg)	mg/l		0,001	0,001	0,01	0,01	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005
Potasio (K)	mg/l		***	***	***	***	0,73	0,99	1,14	1,46	1,82	4,07	11,63	11,63
Litio (Li)	mg/l		2,5	2,5	2,5	2,5	0,0185	0,0487	0,0466	0,0414	0,0377	0,0413	0,0625	0,0625
Magnesio (Mg)	mg/l		***	***	250	250	7,399	2,925	4,127	4,749	5,523	7,074	10,86	10,86
Manganeso (Mn)	mg/l		0,2	0,2	0,2	0,2	0,0044	0,0074	0,0117	0,0058	0,0046	0,0081	0,0201	0,0201
Molibdeno (Mo)	mg/l		***	***	***	***	0,0069	0,0015	0,0016	0,0018	0,0020	0,0024	0,0026	0,0026
Sodio (Na)	mg/l		0,2	0,2	1	1	35,27	13,50	17,27	18,08	21,33	32,01	79,69	79,69
Níquel (Ni)	mg/l		***	***	***	***	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Fósforo (P)	mg/l		***	***	***	***	0,06	0,06	< 0,05	< 0,05	0,09	0,95	3,60	3,60
Plomo (Pb)	mg/l		0,05	0,05	0,05	0,05	< 0,0002	0,0004	0,0003	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Antimonio (Sb)	mg/l		***	***	***	***	0,0004	0,0009	0,0007	0,0006	0,0007	0,0007	0,0010	0,0010
Selenio (Se)	mg/l		0,02	0,02	0,05	0,05	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006
Silicio (Si)	mg/l		***	***	***	***	12,00	6,70	7,00	6,60	5,90	6,40	8,10	8,10
Estiario (Sn)	mg/l		***	***	***	***	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Estroncio (Sr)	mg/l		***	***	***	***	0,16520	0,10680	0,15820	0,17480	0,20850	0,26820	0,5300	0,5300
Titanio (Ti)	mg/l		***	***	***	***	0,0029	0,0049	0,0037	0,0021	0,0019	0,0027	0,0022	0,0022
Talio (Tl)	mg/l		***	***	***	***	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Uranio (U)	mg/l		***	***	***	***	0,0025	< 0,0002	0,0004	0,0006	0,0008	0,0010	0,0010	0,0010
Vanadio (V)	mg/l		***	***	***	***	0,0049	0,0012	0,0014	0,0015	0,0015	0,0018	0,0018	0,0018
Zinc (Zn)	mg/l		2	2	24	24	0,012	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,012	0,012

ANÁLISIS: ALS AMBIENTAL- Laboratorio - Informes de Ensayo N°: 22669-2020, 22671-2020  
Mayor al ECA-Agua Categoría 1: "Poblacional Recreacional" Subcategoría A2. Mayor al ECA-Agua Categoría 3: "Riego de Vegetales y Bebidas de Animales"





**Tabla A.1.**

Instrumento para etapa de inducción: entrevista a usuario 1 - sobre acceso al agua			
Partes	Descripción	Objetivos	Preguntas
Introducción	Inicio de entrevista: preguntas personales e introducción al tema	Conocer al usuario	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Saludo y presentación</li> <li>2. ¿Puedo grabar esta entrevista?</li> <li>3. Información del usuario</li> </ol>
Desarrollo	Sobre el acceso al agua	Conocer el sistema utilizado para la gestión del agua	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿En su casa cuentan con sistema de tuberías para el ingreso y salida de agua?</li> <li>2. ¿Las tuberías proporcionan agua las 24h del día?</li> <li>3. ¿Tiene un máximo de agua que puede usar al mes o a la semana?</li> <li>4. ¿Cómo llegaron a construir el sistema de tuberías?</li> <li>5. ¿De dónde viene el agua? ¿Es agua potable?</li> <li>6. ¿Alguien que viva con usted va a recoger agua al río?</li> </ol>
	Sobre el uso del agua	Conocer actividades y usos del y con el agua en la vida cotidiana del usuario	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿El agua es potable?</li> <li>2. ¿En su casa cuentan con algún almacén de agua?</li> <li>3. ¿Durante su uso tiene alguna inconveniencia con su traslado?</li> </ol>
Cierre	Fin de la entrevista: agradecimiento y despedida	Agradecer la información y terminar la entrevista	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Algún otro dato que le parezca importante del que me pueda comentar?</li> <li>2. Agradecimiento</li> <li>3. ¿Podría volver a comunicarme con usted?</li> <li>4. ¿En qué momento del día o qué días se le acomoda mejor?</li> </ol>

**Tabla A.2.**

Instrumento para etapa de inducción: entrevista a usuario 2 - sobre acceso al agua			
Partes	Descripción	Objetivos	Preguntas
Introducción	Inicio de entrevista: preguntas personales e introducción al tema	Conocer al usuario	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Saludo y presentación</li> <li>2. ¿Puedo grabar esta entrevista?</li> <li>3. Información del usuario</li> </ol>

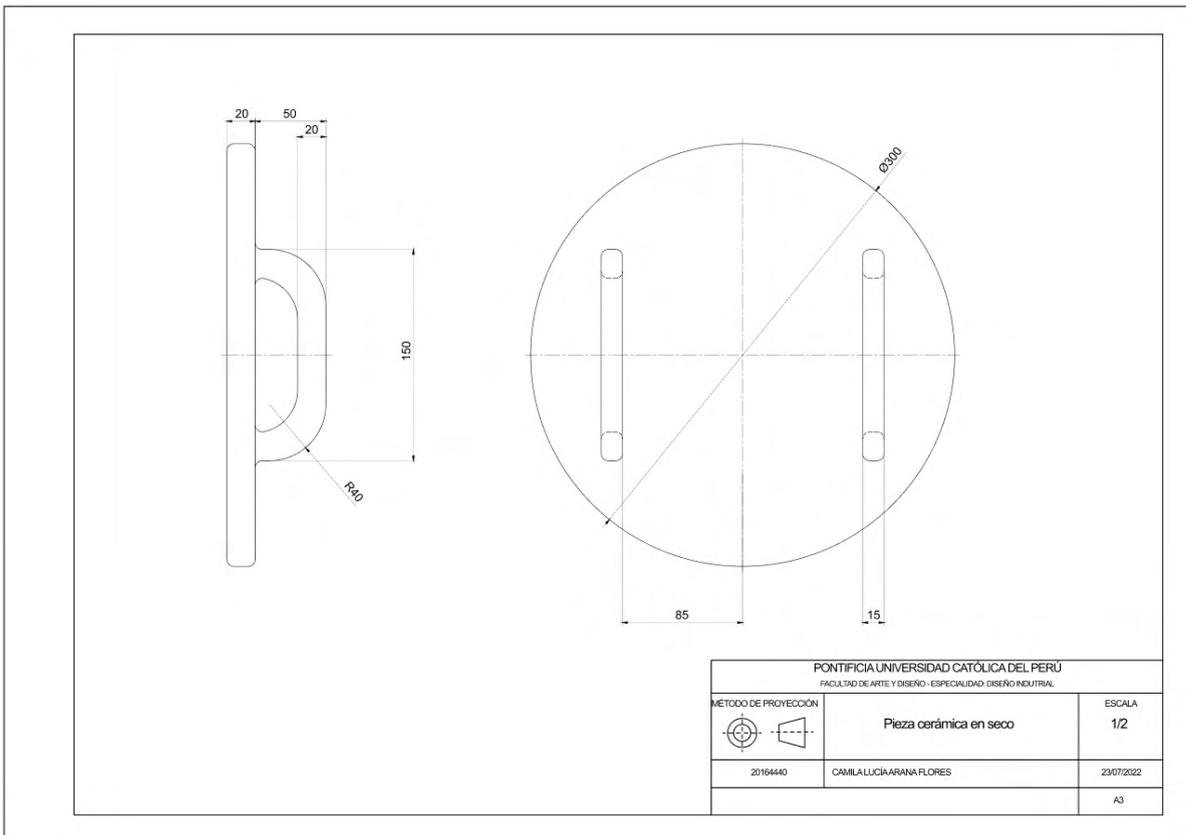
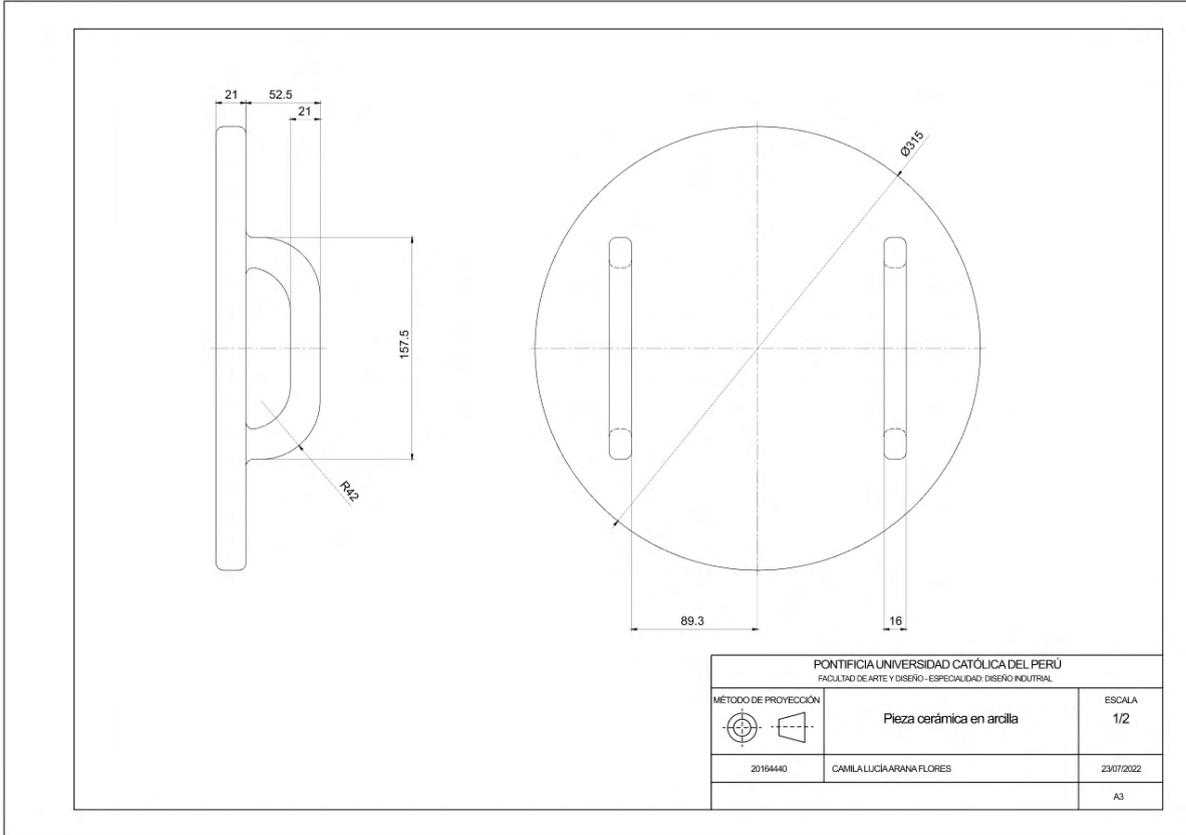
	Sobre el consumo de agua embotellada	Si la respuesta es SÍ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Dónde la compra?</li> <li>2. ¿Es fácil de conseguir?</li> <li>3. ¿Qué marca compra?</li> <li>4. ¿Qué precio tiene?</li> <li>5. ¿La considera costosa?</li> <li>6. ¿Para beber, solo consume esta agua o también agua hervida del caño?</li> </ol>
		si la respuesta es NO	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Consume agua de sus tuberías o depósito?</li> <li>2. ¿Antes de consumirla, pasa por un proceso de purificación? ¿Cuál?</li> <li>3. ¿Utiliza algún químico o sustancia para eso?</li> <li>4. ¿Cuánto tiempo le toma desde que tiene el agua no potable, hasta que puede tomarla?</li> <li>5. ¿Alguna vez le pasa que el agua sabe raro, metálico? ¿o que bota espuma cuando hierve?</li> <li>6. ¿Y le molestan estos sabores? ¿Cómo se siente?</li> <li>7. ¿Y cuando cocina, se cocina normal con esta agua?</li> <li>8. ¿Y sus familiares comentan algo sobre esto? ¿Qué dicen?</li> <li>9. ¿Y huele diferente?</li> </ol>
	Desarrollo	sobre enfermedades	conocer casos enfermedades hídricas, o sus síntomas
	Sobre el servicio médico disponible	saber la accesibilidad al servicio tanto geográfica como de tiempo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cual es el servicio de salud más cercano?</li> <li>2. ¿Algún miembro de su familia ha acudido al servicio de salud?</li> <li>3. ¿Cómo fue esa experiencia? (tiempo, movilización)</li> <li>4. ¿Le tomó todo el día o gran parte de su día?</li> <li>5. ¿Tuvo que dejar de hacer otras actividades para poder ir?</li> <li>6. ¿Pudo ir a penas lo necesitaba o tuvo que esperar otro día u otra hora para poder ir?</li> </ol>
Cierre	Fin de la entrevista: agradecimiento y despedida	Agradecer la información y terminar la entrevista	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Algún otro dato que le parezca importante del que me pueda comentar?</li> <li>2. Agradecimiento</li> <li>3. ¿Podría volver a comunicarme con usted?</li> <li>4. ¿En qué momento del día o qué días se le acomoda mejor?</li> </ol>

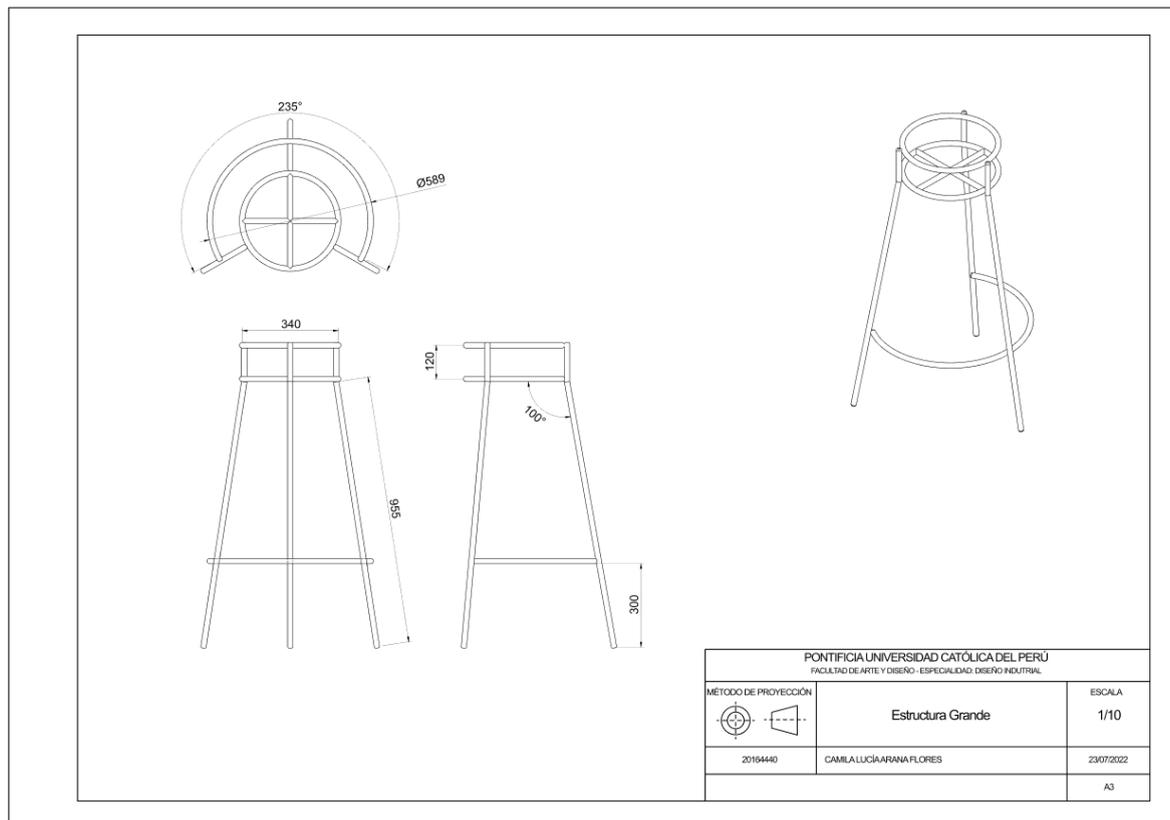
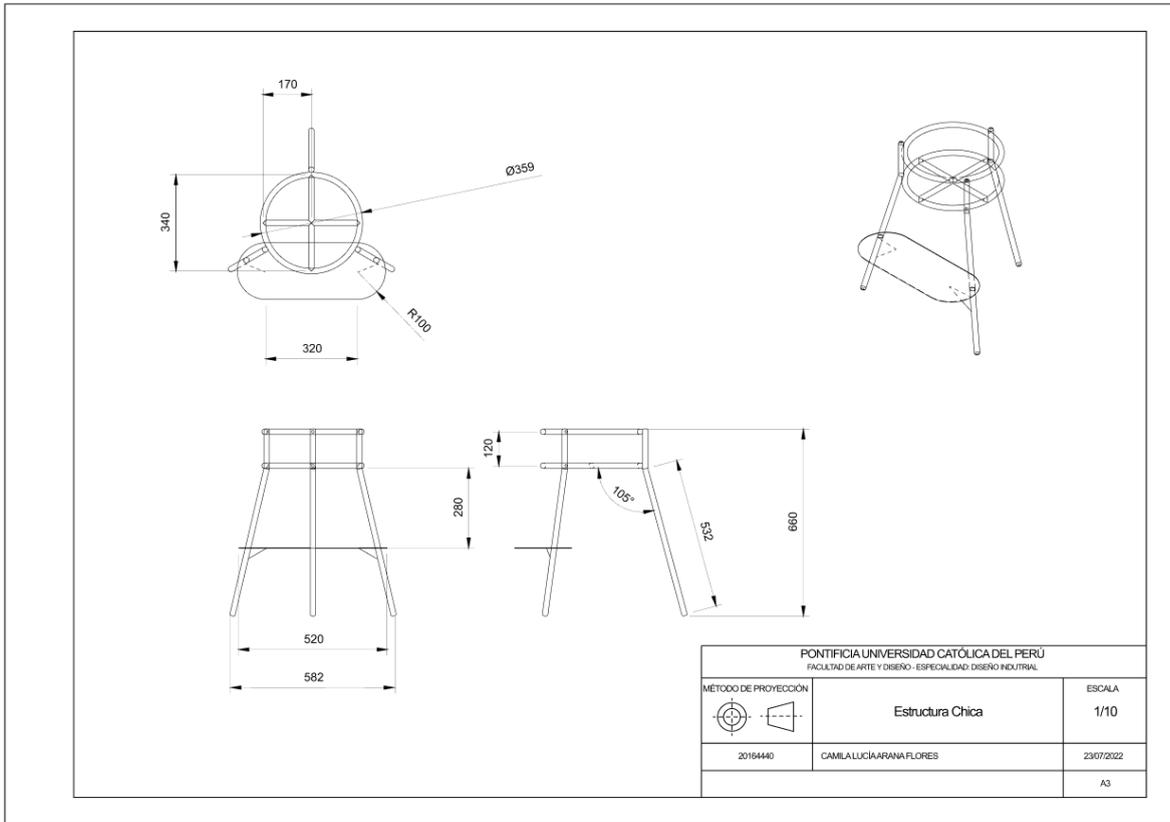
Encuesta sociodemográfica		
Pregunta	Posibilidades de respuesta	Cantidad de respuestas por posibilidad (x/18)
Personas por casa	1	4
	2	3
	3	2
	4	5
	5	2
	6	-
	7 - 8	2
Género de jefe de familia	Masculino	16
	Femenino	2
Material de vivienda	Adobe	16
	Material noble	1
	No responde	1
Tipo de piso	Concreto	7
	Tierra	10
	No responde	1
Almacenamiento de agua	Tanque de concreto	3
	Bidones	7
	Otro	-
	No responde	8
Servicios básicos	Wi-Fi	-
	Señal de celular	-
	Teléfono	2
	Tuberías	6
	Desagüe	3
	Energía eléctrica	12
Principal actividad económica	Agricultura	17
	Otro	1
Ingreso mensual promedio (en soles)	0 - 300	5
	301 - 700	11
	701 - 1000	1
	No responde	1

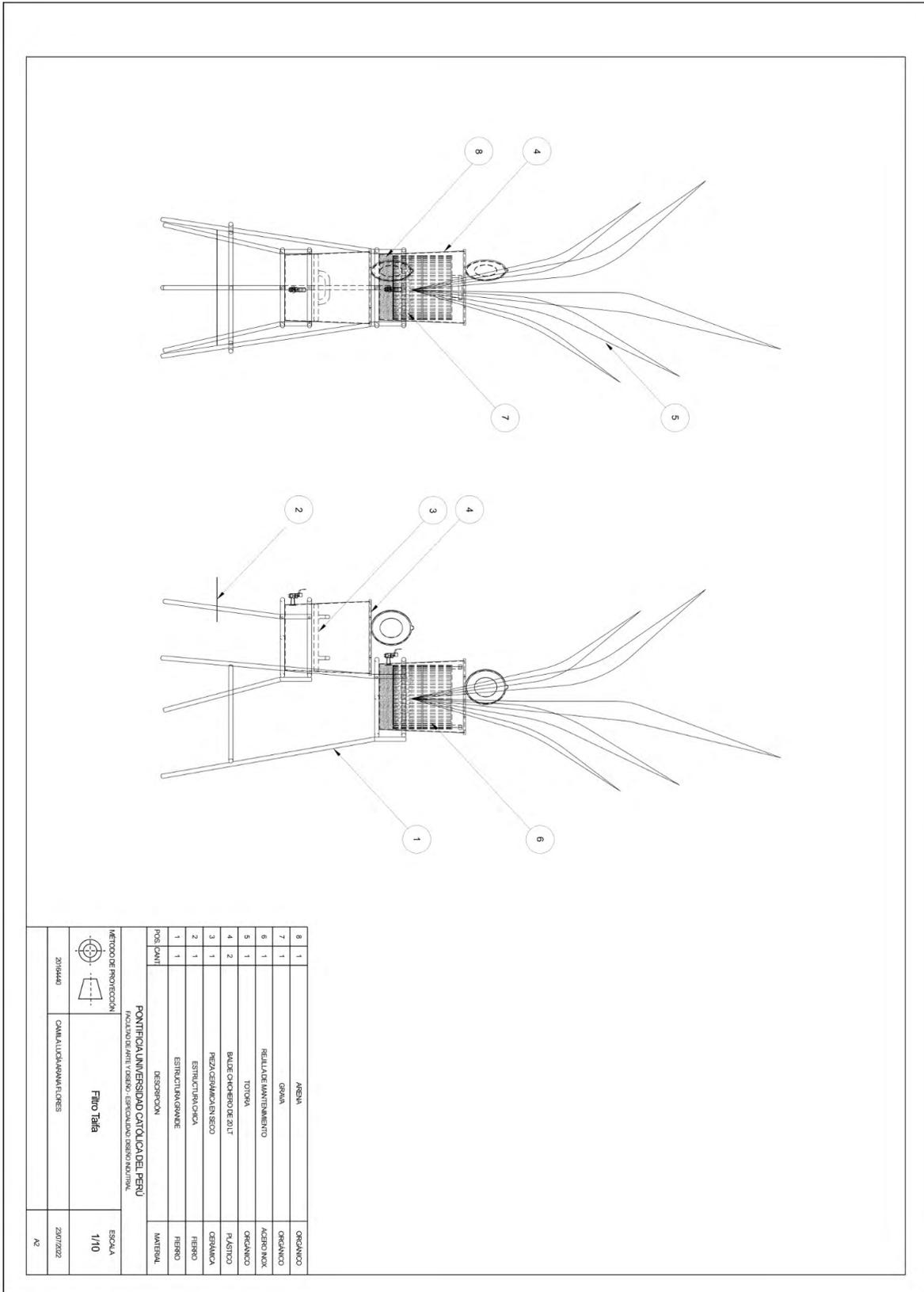
**Anexo F. Instrumento para etapa de inducción: entrevista a experto 1 - sobre filtros de olla cerámica**

59

Instrumento para etapa de inducción: entrevista a experto 1 - sobre filtros de olla cerámica			
Partes	Descripción	Objetivos	Preguntas
Intr oducción	Inicio de entrevista: preguntas personales e introducción al tema	Conocer al experto	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Saludo y presentación</li> <li>2. ¿Puedo grabar esta entrevista?</li> <li>3. ¿Ha trabajado con filtro cerámicos antes?</li> </ol> <p>¿Cómo comenzó el proyecto?</p>
Des arrollo	sobre el filtro	Conocer los materiales, dimensiones y proceso de desarrollo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cuál era la forma de este filtro?</li> <li>2. ¿Cómo fue la producción de estos filtros a detalle?</li> <li>3. ¿De qué materiales además de la cerámica estaban hechos estos filtros?</li> <li>4. ¿En cuánto tiempo podría tener un filtro listo empezando desde 0?</li> </ol>
	sobre el funcionamiento del filtro	Conocer el uso y funcionamiento del filtro	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cuanta capacidad tienen estos filtros?</li> <li>2. ¿Cuánta agua podría filtrar por hora?</li> <li>3. ¿El filtro potabiliza agua solo de fuentes de agua dulce?</li> <li>4. ¿Alguna vez se intentó filtrar agua con mayores niveles de contaminación? ¿Tal vez por minería?</li> </ol>
	con respecto a temas sociales	Conocer el impacto social	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Los filtros tenían un público en específico?</li> <li>2. ¿Los filtros eran accesibles en cuestión de tecnología y capacidad de desarrollo?</li> </ol>
Cier re	Fin de la entrevista: agradecimiento y despedida	Agradecer la información y terminar la entrevista	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Agradecimiento</li> <li>2. ¿Podría volver a comunicarte con usted?</li> <li>3. ¿En qué momento del día o qué días se le acomoda mejor?</li> </ol>

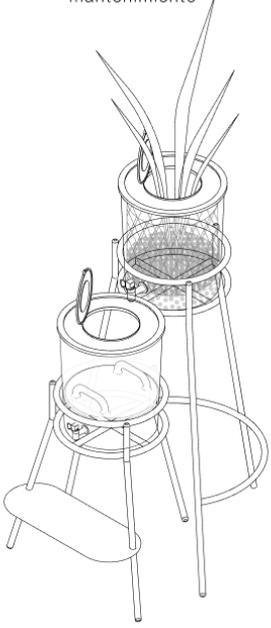






# Taifa

Manual de fabricación, construcción y mantenimiento



## Índice

	Página
¿Qué es Taifa y cómo funciona?	02
Las partes	04
¿Qué necesito para construir mi filtro?	06
Recolección y adaptación de la totora	08
Construcción de las estructuras metálicas	12
Armado de todo el filtro	28
Uso del filtro Taifa	38
Mantenimiento de Taifa cada 2 meses	46
Registro de limpieza y mantenimiento	51

01

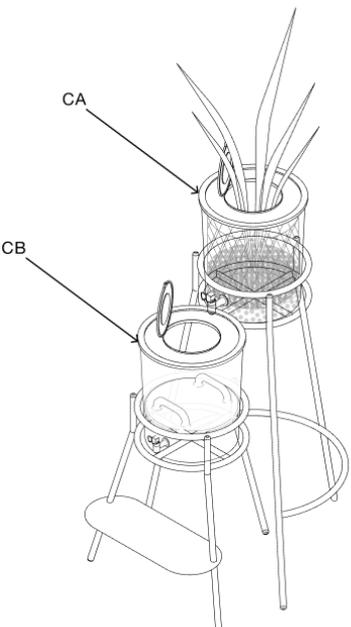
A4 - 3

## ¿Qué es Taifa y cómo funciona?

Taifa es un biofiltro de agua, que gracias a las propiedades de la totora, permitirá tomar agua libre de contaminación ya sus raíces absorben los elementos contaminantes. Es un filtro doméstico auto construible que podrás tener en casa y usarlo constantemente.

Taifa tiene 2 partes, la del contenedor alto (CA), y la del contenedor bajo (CB). El contendor alto (CA) contiene una totora, grava y arena. Estas filtran cualquier elemento grande como ramitas, tierra y polvo, y los metales contaminantes que puedan encontrarse en el agua.

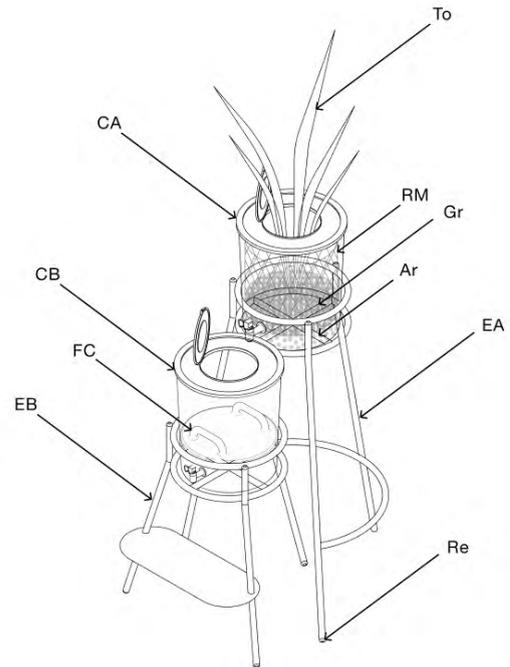
El contenedor bajo (CB) contiene una pieza cerámica circular, que filtrará bacterias y otros elementos contaminantes que resten.



02
03

## Las partes

Contenedor Alto:	CA
Totora	To
Rejilla de Mantenimiento	RM
Grava	Gr
Arena	Ar
Contenedor Bajo	CB
Filtro Cerámico	FC
Estructura Alta	EA
Estructura Baja	EB
Regatones	Re



04

05

A4 - 5

## ¿Qué necesito para contruir mi filtro?

### Lista de materiales

#### PARA LAS ESTRUCTURAS:

- Ac** 12m de barras de acero de 1/2 pulgada
- Re** 6 regatones de 1/2 pulgada
- PI** Plancha de acero de 52cm x 20cm, de 1.5mm espesor

#### FILTRO CERÁMICO

- FC** Un filtro cerámico hecho de arcilla porter y aserrín
- RM** Rejilla de mantenimiento (28.8cm diámetro, 30cm alto)
- BC** 2 Baldes chicheros con caño y tapas dobles
- 2 Bolsas plásticas de 50lt
- To** 1 Planta de totora
- Gr** 3kg de grava
- Ar** 3kg de arena gruesa



Ac



Re



PI



FC



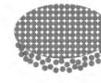
RM



x2  
BC



To



2kg  
Gr



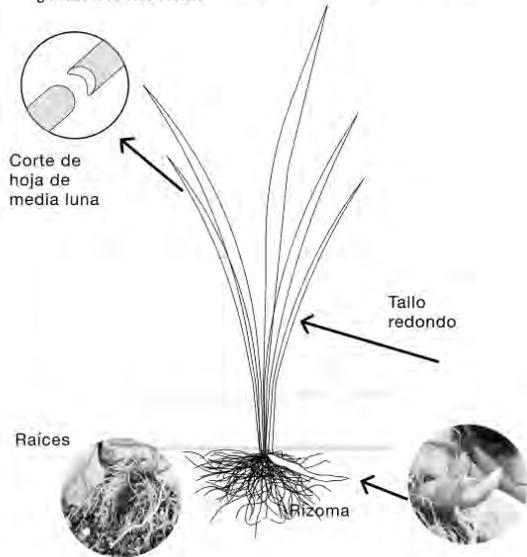
3kg  
Ar

06

07

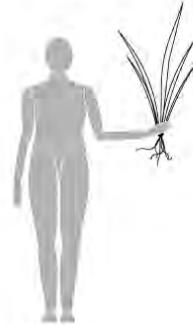
## Recolección y adaptación de la Totora

La totora a recolectar es la Totora Typha Domingensis, ¿cómo reconocerla?



08

Extrae una totora de aproximadamente 50cm a 1m de altura, desde la raíz. Liévela a casa y enjuágala para eliminar cualquier residuo de barro, tierra o polvo, tanto de las raíces como de las hojas.



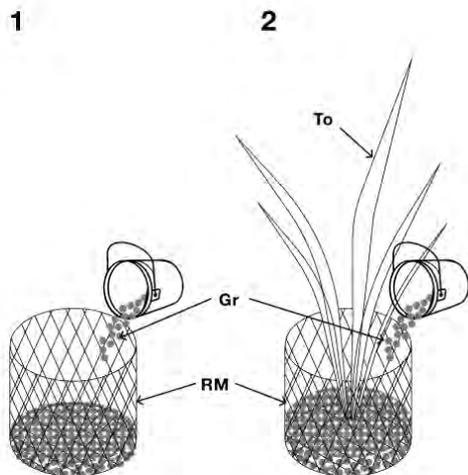
Además, recolecta grava y arena de la zona. La grava no deberá medir más de 1 cm por piedra.



09

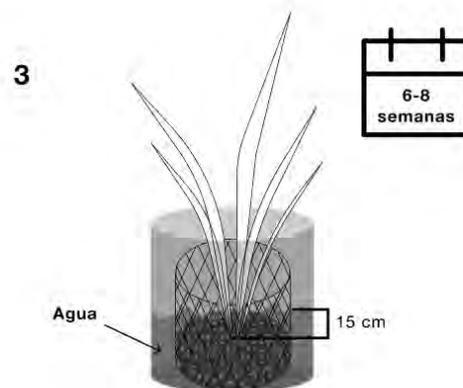
44-7

Una vez recolectados los elementos, colocar la totora en la rejilla de mantenimiento junto a la grava. Colocarla de tal manera que la totora quede erguida en el centro.



10

Colocar la rejilla con la grava y totora en un contenedor grande y limpio, donde podamos llenarlo de agua hasta 15 cm sobrepasando el nivel de la grava.



La totora deberá permanecer aquí entre 6 y 8 semanas. Esto con el propósito de que la totora se adapte a su nuevo ambiente y le crezcan raíces. Notará que la totora comenzará primero a secarse, para luego surgir nuevas hojas verdes. Recuerde mantener el nivel del agua a unos 15 cm de la superficie.

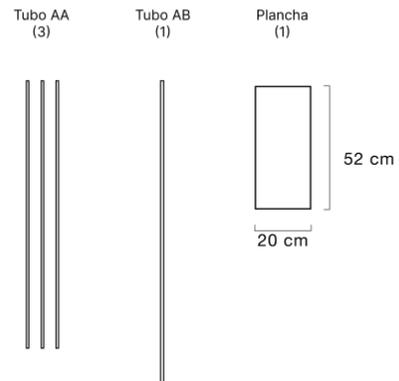
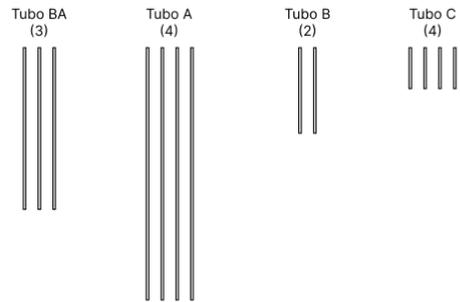
11

## Construcción de las estructuras metálicas

Necesito:

- Plancha de metal de 52cm x 20cm, de 1mm de espesor.
- 6 regatones de 1/2 pulgada
- 12 m de barra de acero de 1/2 pulgada cortada en las siguientes medidas:

Nombre	Cantidad	Medida
Tubo BA	3	65.2cm
Tubo A	4	112.8cm
Tubo B	2	34.7cm
Tubo C	4	16.8cm
Tubo AA	3	107.6cm
Tubo AB	1	121.3cm

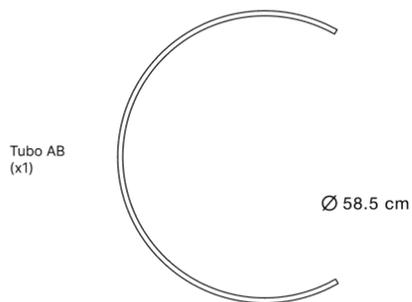
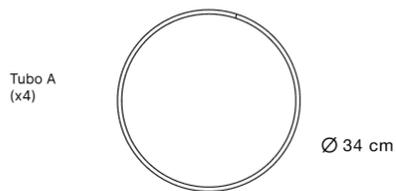


12

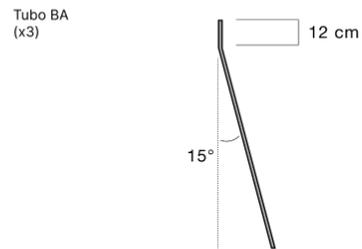
13

A4 - 9

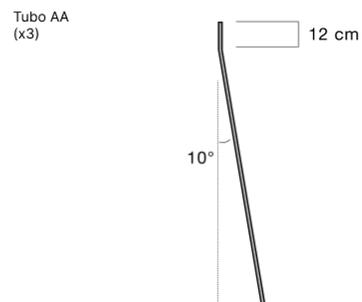
Los tubos A y GB serán curvados hasta lograr tener un diámetro de 34 cm y 58.5 cm respectivamente



Los tubos BA deberán doblarse 15° a 12 cm de un extremo.



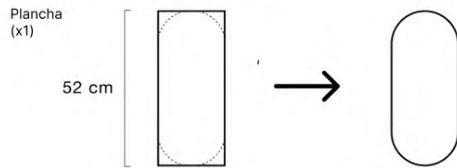
Los tubos AA deberán doblarse 10° a 12 cm de un extremo.



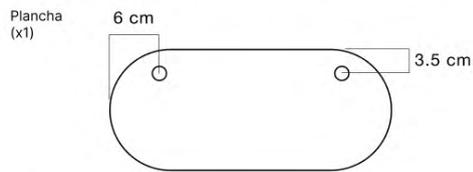
14

15

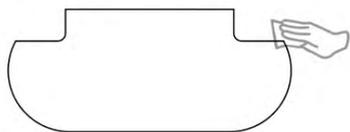
La plancha deberá ser redondeada por cada esquina a un radio de 10 cm.



Realizar 2 orificios de ½ pulg. a 6 cm del lado superior y a 3.5 cm de los lados laterales como indicado:

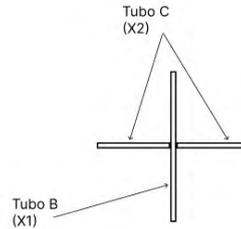


Cortamos las esquinas y limamos las puntas



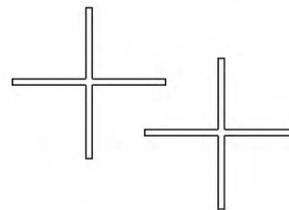
16

Formemos las cruces, estas serán la base para los contenedores. Con un Tubo C y dos Tubos B, formamos una cruz y soldamos



Repetir esto para tener 2 cruces

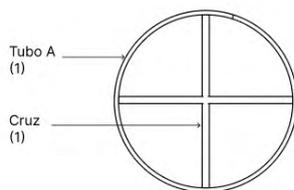
Cruces (2)



17

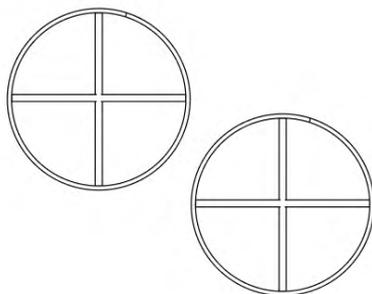
A4 - 10

Soldemos las dos cruces a 2 de los tubos A (rolados), formando la Base:



Repetir esto para tener 2 bases

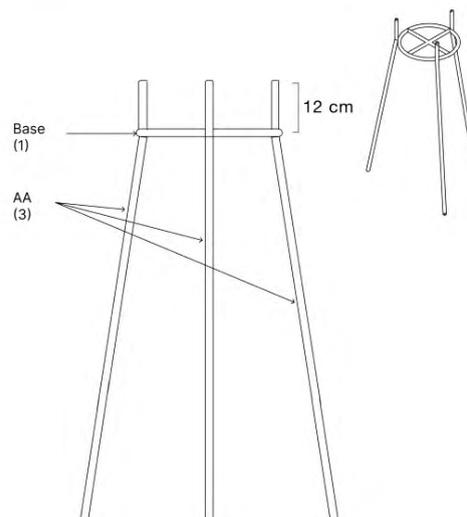
Bases (2)



18

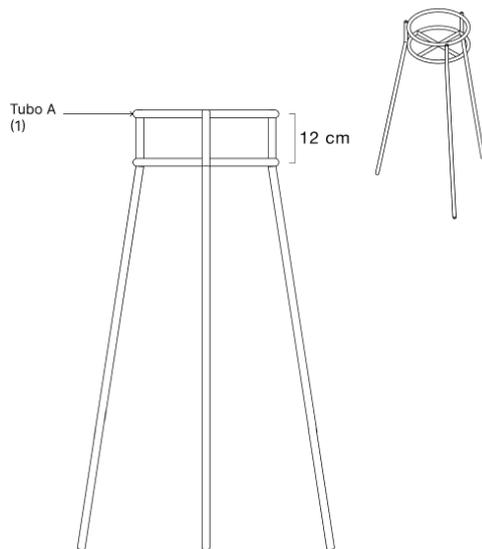
### Contrucción de la Estructura Alta

Soldamos los 3 tubos AA a una base. Asegurándonos de que los 12 cm desde el doblé, queden perpendiculares a la base.



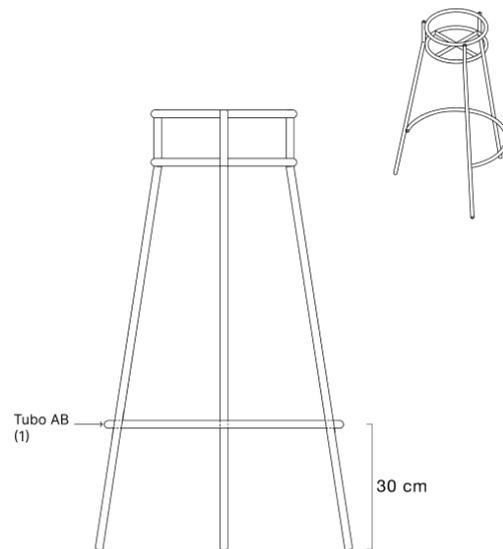
19

Agregamos el Tubo A (rolado) en la parte superior. Soldamos.



20

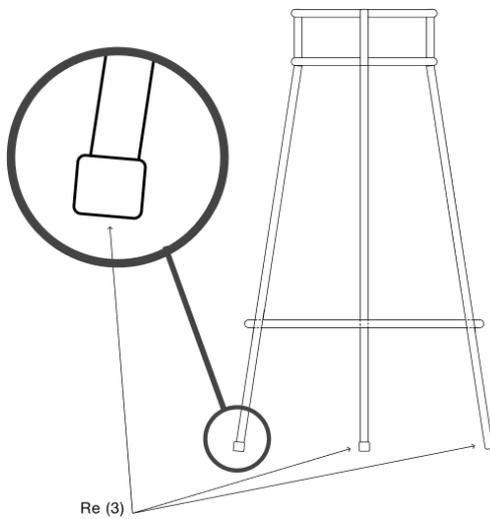
Agregamos el Tubo AB (rolado) Como travesaño a 30cm del suelo. Soldamos.



21

A4 - 12

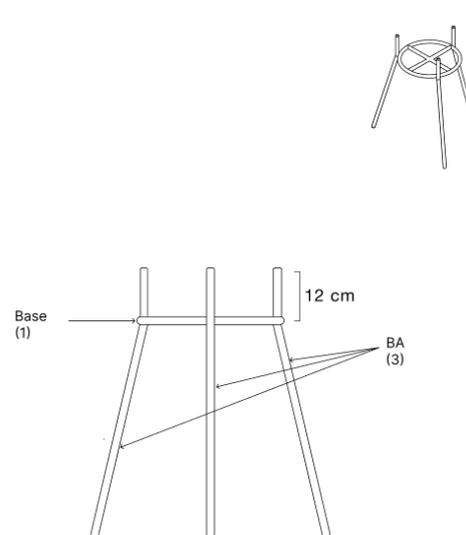
Agregamos los regatones a las 3 patas de la estructura. Tenemos como resultado nuestra Estructura Alta (EA).



22

#### Construcción de la Estructura Baja

Soldamos los 3 tubos BA a una base. Asegurándonos de que los 12 cm desde el doblé, queden perpendiculares a la base.

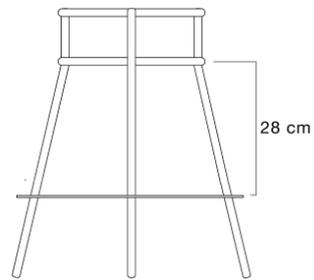
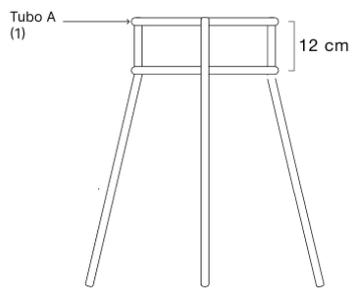


23

Agregamos el Tubo A (rolado) en la parte superior.  
Soldamos.



Agregamos la plancha insertándola entre dos patas a través de los orificios, levantándola hasta alcanzar los 28cm desde la base.

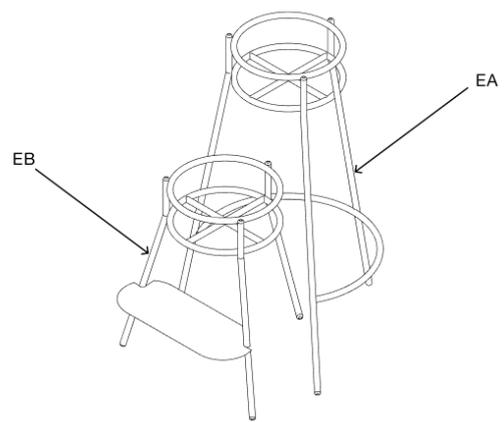
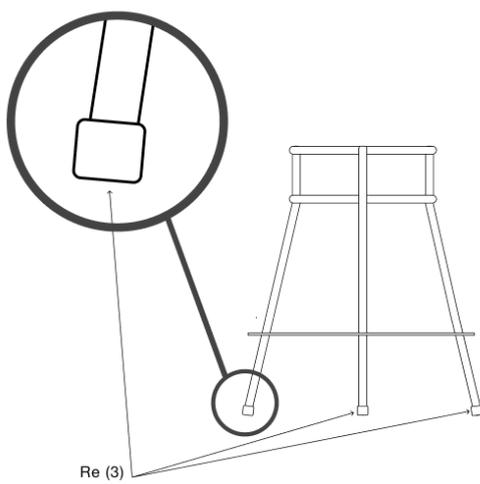


24

25

A4 - 14

Agregamos los regatones a las 3 patas de la estructura.  
Tenemos como resultado nuestra Estructura Alta (**EB**).



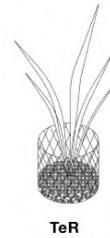
26

27

## Armado del filtro Taifa

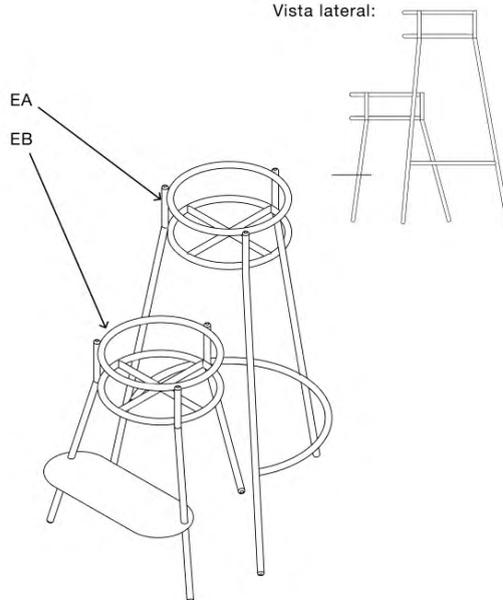
### Lista de materiales

- EB** Estructura Baja
- EA** Estructura Alta
- TeR** Totora en Rejilla
- BC** 2 Baldes chicheros con caño y tapa doble
- FC** Filtro Cerámica
- Ar** 3kg de arena

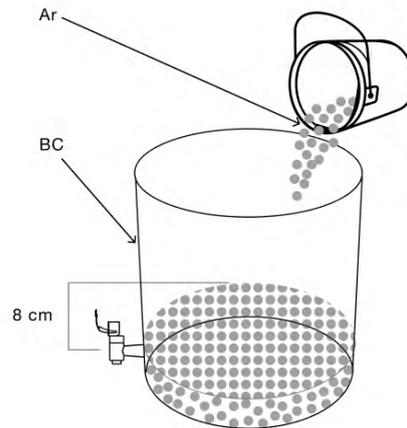


Coloca las estructuras en el la ubicación donde deseas tener el filtro. Colocala la EB delante y ligeramente debajo de la EA como indica la imagen.

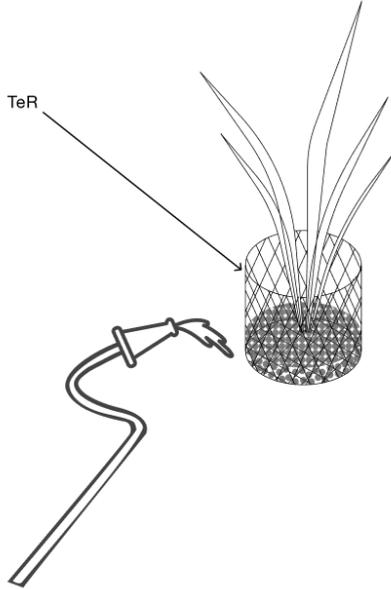
Vista lateral:



Por otro lado, sacamos uno de los baldes chicheros de la bolsa que lo mantenía limpio y vertemos la arena hasta que tenga una altura de 8 cm sobre el nivel del caño.

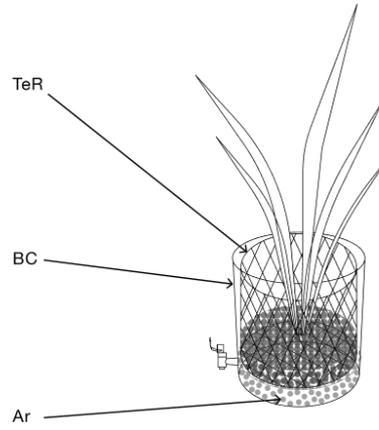


Extrae la rejilla con la totora y la grava del recipiente en el que estaban y enjuaga sin desarmarlo con una manguera a presión.



32

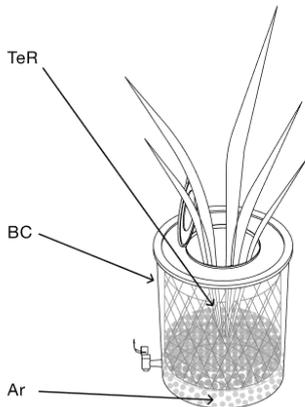
Colocamos la rejilla con la totora y la grava.



33

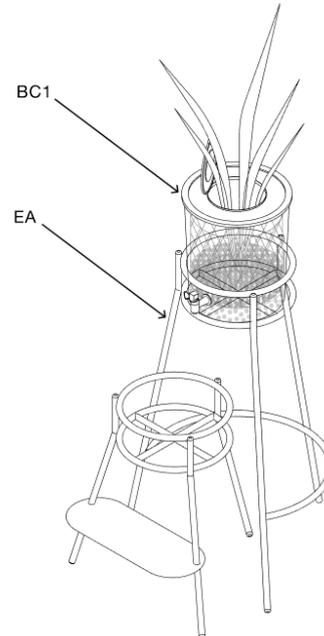
Tapamos el balde dejando el orificio central de la tapa abierto, es por aquí por donde debe salir la totora. Tenemos nuestro **BC1**.

**BC1:**



34

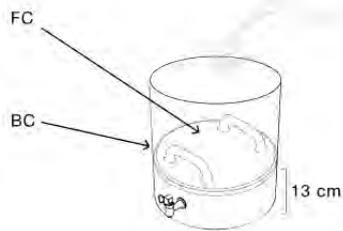
Colocamos este primer Balde Chichero 1 (BC1) sobre la Estructura Alta (EA) insertando primero el caño y luego el resto del balde, el caño apuntando hacia el frente, sobre la EB



35

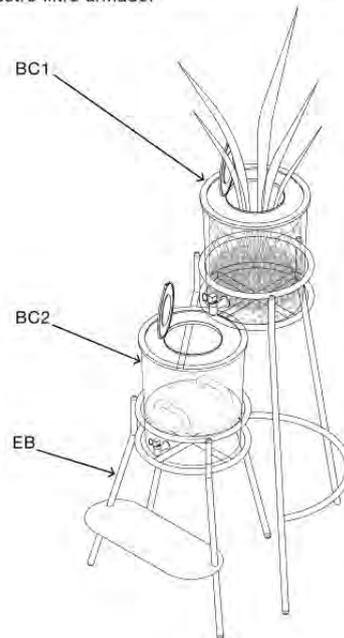
Retira el segundo balde de su bolsa y coloca el filtro cerámico con las asas hacia arriba hasta que esté a aproximadamente 13 cm de la base del balde. de manera que a futuro sea fácil de retirar. Tenemos nuestro **BC2**.

**BC2:**



36

Tapamos el balde (BC2) y lo colocamos sobre la Estructura Baja (EB) con el caño apuntando hacia el frente, sobre la placa. El caño del BC1 deberá estar alineando con el orificio de la tapa del BC2. Tenemos nuestro filtro armado.



37

A1-20

## Uso del filtro Taifa

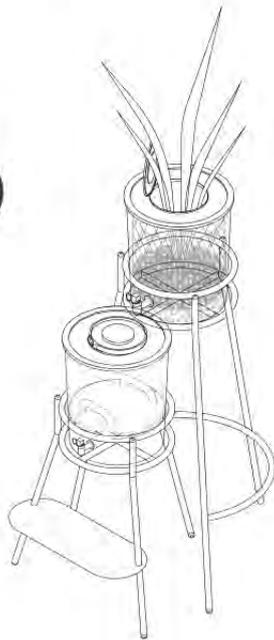
El filtro Taifa está listo para empezar a ser utilizado. Cerramos la tapa del BC2. Llenamos lentamente el BC1 de agua hasta el tope, de modo que no levantemos arena.



38

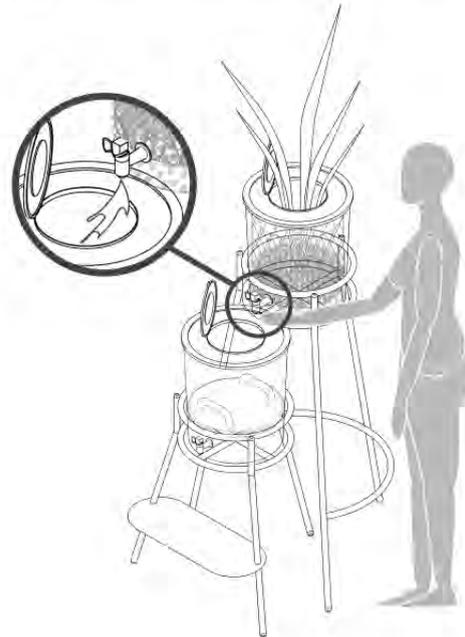
39

Esperamos 24 horas.



40

Abrir la tapa central del BC2, luego abrir el caño del primer balde BC1 para que caiga por el centro hacia el BC2.

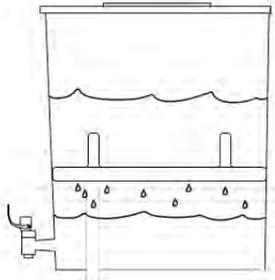


41

44 - 22

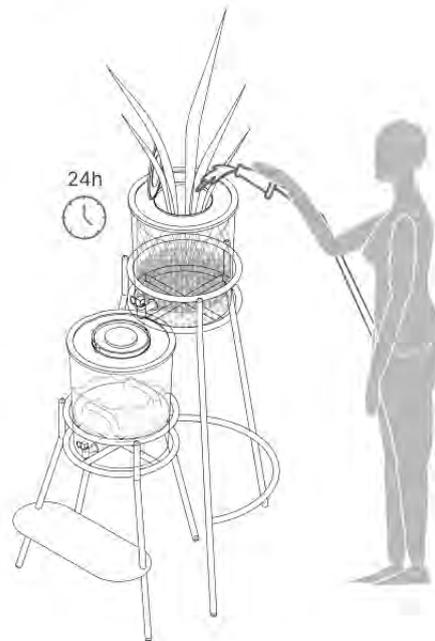
Una vez todo vaciado, cerramos la tapa del BC2 y esperamos que el agua empiece a filtrar por la cerámica.

BC2



42

Mientras el agua en el BC2 filtra, podemos rellenar el BC1 para que pasadas las 24h, podamos filtrar más agua en el BC2.



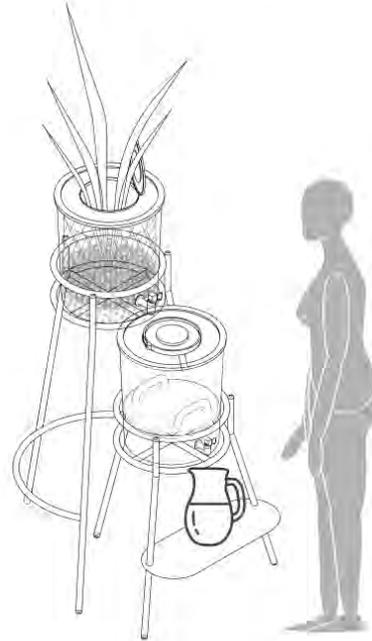
43

El agua que atraviesa la cerámica ya está lista para tomar, podemos abrir el caño y tomar de frente,



44

o usar la base para apollar una olla o jarra.

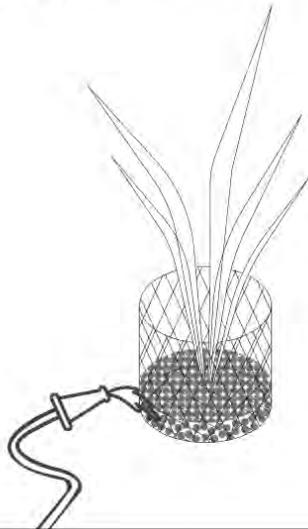


45

## Mantenimiento de Taifa cada 2 meses

### Mantenimiento de la totora, grava y arena

Vaciar el BC1. Retirar la Totora en Rejilla (TeR) y enjuagar con una manguera y agua a presión por todos los lados para limpiar impurezas.



46

Enjuagar la arena con abundante agua, en un recipiente limpio. **No usar químicos ni detergentes.**

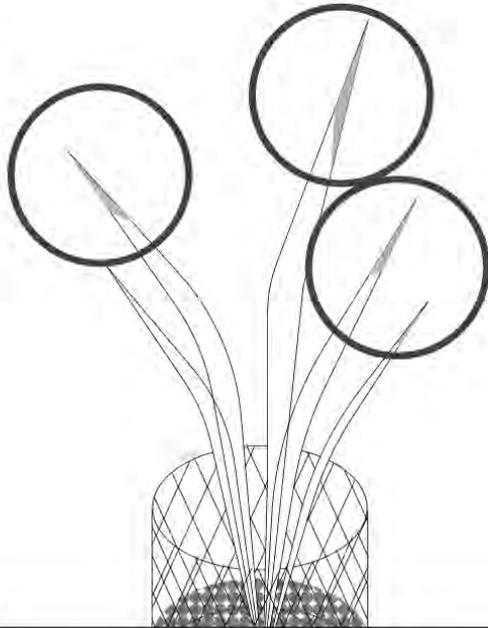


Lavar el balde BC1 con una esponja suave, agua y jabón, y enjuágalo bien. Evita usar detergentes o químicos abrasivos para no dañar el plástico. Rellena nuevamente con la arena limpia y la TeR encima.



47

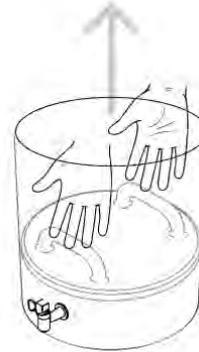
Cada 6-8 semanas, podar las hojas de la totora haciendo un corte en diagonal de las puntas secas 1 cm por debajo de la línea seca. Desechar estas hojas a la basura. No darles otro uso por estar contaminadas.



48

### Mantenimiento de la cerámica

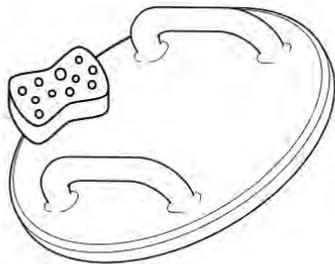
Vaciar el BC2, conservar el agua ya filtrada. Retirar el filtro cerámico jalando hacia arriba con ambas manos de las 2 asas.



49

48-28

Enjuagar el filtro con una esponja y el agua filtrada. No usar químicos ni detergentes. Volver a colocar en el BC2 y tapar.



Reemplazar el filtro cada 2 años.

50

### Registro de limpieza y mantenimiento

Último mantenimiento	Fecha
<input type="checkbox"/> Podado de totora <input type="checkbox"/> Lavado de totora y grava <input type="checkbox"/> Lavado de arena <input type="checkbox"/> Lavado de cerámica	
<input type="checkbox"/> Podado de totora <input type="checkbox"/> Lavado de totora y grava <input type="checkbox"/> Lavado de arena <input type="checkbox"/> Lavado de cerámica	
<input type="checkbox"/> Podado de totora <input type="checkbox"/> Lavado de totora y grava <input type="checkbox"/> Lavado de arena <input type="checkbox"/> Lavado de cerámica	
<input type="checkbox"/> Podado de totora <input type="checkbox"/> Lavado de totora y grava <input type="checkbox"/> Lavado de arena <input type="checkbox"/> Lavado de cerámica	
<input type="checkbox"/> Podado de totora <input type="checkbox"/> Lavado de totora y grava <input type="checkbox"/> Lavado de arena <input type="checkbox"/> Lavado de cerámica	
<input type="checkbox"/> Podado de totora <input type="checkbox"/> Lavado de totora y grava <input type="checkbox"/> Lavado de arena <input type="checkbox"/> Lavado de cerámica	

51